

Obtención y Filtrado Digital de la Posición y Velocidad de un Robot Cartesiano de Dos Grados de Libertad por Medio de un Sistema Embebido en Plataforma FPGA

Lic. Luis Arturo Alcantar Vergara¹, Dra. María Aurora Diozcora Vargas Treviño², Dr. Sergio Vergara Limon³, Dr. Jesús López Gómez⁴, Dra. Amparo Palomino Merino⁵, Dra. Olga Guadalupe Félix Beltrán⁶, MC. Margarita Carmina García López⁷

Resumen—En el presente artículo se presenta el modelo dinámico de un robot cartesiano con 2 grados de libertad (2GDL) obtenido con la metodología de parámetros agrupados, se empieza por generar un diagrama del sistema, en el cual se representa cada elemento donde se tenga un cambio de energía, se generan sus ecuaciones; posteriormente se realiza una simulación del modelo empleando la herramienta Simulink en el programa de Matlab. Se realizan los experimentos con el robot real utilizando un sistema embebido en plataforma FPGA para poder realizar control de posición y velocidad, se da una explicación de la metodología propuesta para filtrar digitalmente las señales obtenidas utilizando filtros digitales de tipo Bessel y estimación MT mostrando finalmente los resultados, las conclusiones y el trabajo a futuro de esta investigación.

Palabras clave— Modelado matemático, parámetros agrupados, control, FPGA.

Introducción

La Ingeniería de control es una disciplina que se focaliza en modelar matemáticamente una gama diversa de sistemas dinámicos y el diseño de controladores que harán que estos sistemas se comporten de la manera deseada. El modelo matemático consiste en un sistema mecánico modelado acoplado el modelo eléctrico de los motores. Se utiliza la metodología parámetros agrupados con el objetivo de tener un sistema más detallado. Se emplea la ecuación de Lagrange basado en el análisis de las energías cinética y potencial de un sistema rígido para obtener el modelo dinámico del sistema mecánico [1]. Con el modelo dinámico de la transmisión mecánica y el modelo eléctrico del motor se obtendrá el modelo matemático general para evaluar mediante simulaciones la respuesta dinámica del sistema. El sistema de posicionamiento consiste en aplicar un voltaje o torque modulado por ancho de pulso (PWM) controlado en la entrada del motor de DC en el que se agrupa a un reductor, un acoplamiento, un eje de tornillo de bola, una tuerca y el bloque deslizante. Los sistemas mecatrónicos de posicionamiento requieren un algoritmo de control para realizar trayectorias o posiciones de alta precisión. Por otro lado, la adquisición de datos y el diseño del sistema embebido configurable es una parte muy importante para garantizar el procesamiento en hardware, alto rendimiento, recepción y envío de datos que generalmente está definido por las aplicaciones a las que se destina. Con la finalidad de obtener señales lo más limpias posibles en los sistemas mecatrónicos, se utilizan diferentes tipos de acondicionamiento de dichas señales, uno de estos son el filtrado y así suavizar las señales, esto permite obtener mejora en la lectura de los datos, esto lleva a poder emplear de mejor forma los datos obtenidos pues se vuelven fiables permitiendo que se usen para sistemas de control. En el presente trabajo se explica la implementación de un filtro tipo Bessel dentro del sistema embebido que nos permite tener más limpias las señales que vienen del robot, así como la instrumentación del método MT para eliminar el error de cuantificación en la velocidad.

¹ Lic. Luis Arturo Alcantar Vergara estudiante de Maestría en Electrónica Opción en Automatización en la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Puebla, luis.alcantar@alumno.buap.mx.

² Dra. María Aurora Diozcora Vargas Treviño Profesora investigadora en la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Puebla. aurora.vargas@correo.buap.mx.

³ Dr. Sergio Vergara Limon Profesor investigador en la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Puebla. sergio.vergara@correo.buap.mx.

⁴ Dr. Jesús López Gómez, Profesor investigador en la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, DAIA-UJAT, Tabasco, México. jesuslopez.asaf@gmail.com.

⁵ Dra. Amparo Palomino Merino Profesora investigadora en la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Puebla. amparo.palomino@correo.buap.mx.

⁶ Dra. Olga Guadalupe Félix Beltrán, Profesor investigador en la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Puebla. olga.felix@correo.buap.mx.

⁷ MC. Margarita Carmina García López, estudiante de Doctorado en ingeniería del lenguaje y del conocimiento en la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, margaritacarmina.garcialopez@viep.com.mx.

Descripción del Método

Para el modelado del robot se empleó la metodología de parámetros agrupados en la cual representa cada cambio de la energía del sistema en cada elemento que lo conforma, se obtiene la energía cinética (E_c), la energía potencial (E_p), la energía disipativa (D_t) y el trabajo virtual (w), también se considera la dependencia del eje Y al X con relación a las masas y gravedad, después se aplica Euler Lagrange para obtener las ecuaciones características del sistema [1].

Las ecuaciones resultantes son las siguientes [2]:

$$L\dot{I}_i + RI_i + k_{ei}\dot{\theta}_{mi} = E_i \tag{1}$$

$$J_{mi}\ddot{\theta}_{mi} + b_{mi}\dot{\theta}_{mi} + b_{gi}[G\dot{\theta}_{gi} - \dot{\theta}_{mi}] - \tau_{gi} = \tau_{mi} \tag{2}$$

$$G^2J_{gi}\ddot{\theta}_{gi} - k_{ci}[\theta_{ci} - \theta_{gi}] + b_{gi}G(\dot{\theta}_{gi} - \dot{\theta}_{mi}) + b_{ci}(\dot{\theta}_{gi} - \dot{\theta}_{ci}) = G\tau_{gi} \tag{3}$$

$$J_{ci}\ddot{\theta}_{ci} + k_{ci}(\theta_{ci} - \theta_{gi}) - k_{si}(\theta_{si} - \theta_{ci}) + b_{ci}(\dot{\theta}_{gi} - \dot{\theta}_{ci}) - b_{si}(\dot{\theta}_{ci} - \dot{\theta}_{si}) = 0 \tag{4}$$

$$J_{si}\ddot{\theta}_{si} + K_{si}(\theta_{si} - \theta_{ci}) - b_{si}(\dot{\theta}_{ci} - \dot{\theta}_{si}) - Rnb_{ni}(\dot{X}_{ti} - (\dot{X}_{si} + Rn\dot{\theta}_{si})) = RnFn \tag{5}$$

$$(m_{si})\ddot{X}_{si} + (k_{ri}X_{si}) + b_{ri}\dot{X}_{si} - b_{ni}[\dot{X}_{ti}(\dot{X}_{si} + Rn\dot{\theta}_{si})] = Fn \tag{6}$$

$$((m_{ti})\ddot{X}_{ti} + b_{ni}(\dot{X}_{ti}(\dot{X}_{si} + Rn\dot{\theta}_{si}))) = -Fn - Ff \tag{7}$$

Donde i indica el grado de libertad del robot. Así mismo los términos m_{si} y m_{ti} denotan las masas totales que carga cada eje del robot; en la Tabla 1 se describen las variables del sistema y su correspondiente definición.

S	Significado	S	Significado
I_i	Corriente eléctrica del motor [A]	E_i	Voltaje aplicado al motor [V]
J_{mi}	Inercia del motor [kgm ²]	b_{gi}	Coefficiente de Fricción caja engranajes [Nm s/rad]
J_{gi}	Inercia de la caja de engranajes [kgm ²]	b_{ci}	Coefficiente de Fricción cople [Nms/rad]
J_{ci}	Inercia de cople [kgm ²]	b_{si}	Coefficiente de Fricción t. tornillo embalado [Nms/rad]
J_{si}	Inercia del tornillo embalado [kgm ²]	b_{ri}	Coefficiente de Fricción a. tornillo embalado [Ns/m]
m_{si}	Masa del tornillo embalado [m]	b_{ni}	Coefficiente de Fricción mesa trabajo [Nm/s]
m_{ti}	Masa de la mesa trabajo [m]	G_i	Caja engranajes
R_i	Resistencia motor [Ohm]	θ_{mi}	Posición angular eje del motor [rad]
L_i	Inductancia del motor [H]	θ_{gi}	Posición angular Eje de la caja del motor [rad]
k_{gi}	Rigidez de caja de engranajes [Nm/rad]	θ_{ci}	Posición angular eje del cople [rad]
k_{ci}	Rigidez de cople [Nm/rad]	θ_{si}	Posición angular del tornillo embalado [rad]
k_{si}	Rigidez de t. tornillo embalado [Nm/rad]	X_{si}	Posición axial del tornillo embalado [m]
F_{ni}	Rigidez mesa de trabajo [N]	X_{ti}	Posición axial de la mesa de trabajo [m]
k_{ri}	Rigidez de a. tornillo embalado [N/m]	q_i	Carga en el motor [C]

Tabla 1.- Constantes y variables del sistema

Diagrama general del sistema

La arquitectura del robot se instrumenta en un procesador desarrollado en el laboratorio de Automatización. Este microprocesador está interconectado con “núcleos de propiedad intelectual” (IP Core, por sus siglas en inglés) a través del puerto de entrada y salida (Figura 1), con tareas para leer y escribir datos de propósito específico, contiene un módulo de administración de datos WIFI, administrador de datos en memoria RAM y EEPROM, un módulo generador de señal PWM, decodificador de posición de motor, entre otros. Para el control del robot es necesario decodificar la señal de posición de cada uno de los motores, saber si alguno de las articulaciones ha llegado a su fin de carrera, además de mandar la acción de control a través de cada uno de los motores con la señal PWM. Cabe mencionar que el sistema embebido cuenta con memoria RAM y en ella se cuentan con miles de direcciones de 32 bits disponibles con el fin de almacenar diferentes variables y cálculos necesarios en el lazo de control [3]. El microprocesador implementado dentro de la tarjeta de desarrollo FPGA contiene una unidad aritmética lógica (ALU). Es posible ejecutar las diferentes funciones del microprocesador acorde a las necesidades de nuestro algoritmo a implementar, para lograrlo, se ha desarrollado un compilador que “traduce” el lenguaje de programación de alto nivel propio y llamado lenguaje D a lenguaje máquina [4]. El procesador trabaja de forma nativa en punto flotante, lo que significa que, para hacer operaciones matemáticas y comparaciones, estas se ejecutarán en punto flotante, no obstante, existe la posibilidad de convertir un dato de punto flotante a entero y viceversa.

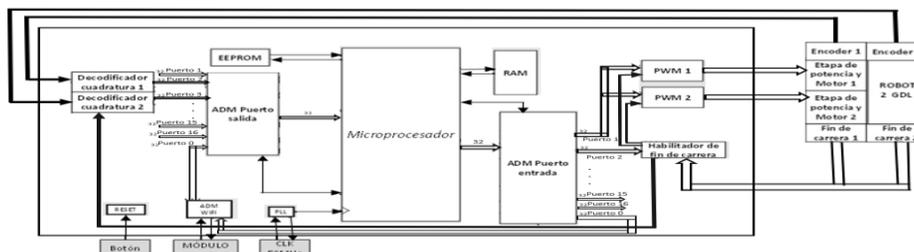


Figura 1. Diagrama general del sistema

Sistema Embebido

El sistema embebido consta de las siguientes partes: Tarjeta FPGA DE0-CV [5], dispositivo WiFi, codificador acondicionamiento de señal y circuito controlador de motor para el movimiento mando de dirección (Puente H). Se cuenta con un software de adquisición con comunicación WiFi que se utiliza como una interfaz para enviar parámetros de posiciones y ganancias para el controlador propuesto. La tarjeta FPGA DE0-CV utiliza un Cyclone V FPGA 5CEBA4F23C7N y posee un microprocesador integrado. El Firmware se desarrolla en la programación AHDL (Altera Hardware Description Language) y consta de bloques de instrucciones para fines específicos que se graban en una memoria ROM. Las memorias RAM y ROM son dispositivos externos al FPGA. La memoria ROM está destinada a almacenar la instrucción que interpreta y ejecuta el microprocesador. Sin embargo, los datos de almacenamiento de la memoria RAM están destinados a ser procesados. Además, el firmware de control comprende la implementación en la FPGA de un microprocesador RISC de 32 bits con una arquitectura Harvard, un conjunto de 32 bits con 15 instrucciones basadas en MIPS, 16 registros de propósito general, una unidad aritmética de precisión simple IEEE 754 de punto flotante que controla el sistema de accionamiento del husillo de bolas. El sistema embebido conectado con todas sus partes al robot se muestra en la Figura 2.

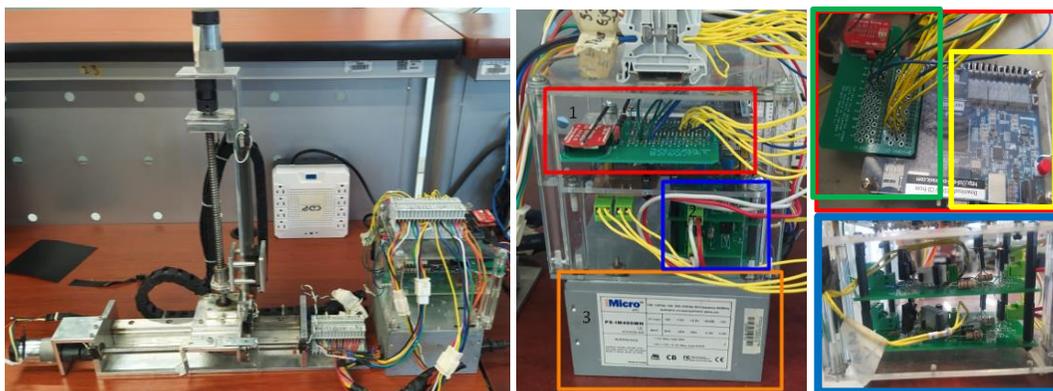


Figura 2.- Sistema embebido: tarjetas acopladas, tarjeta de comunicación con modulo Wifly (roja), Puentes H (azul) y Tarjeta De Desarrollo FPGA Cyclone V Intel DE0-CV (amarillo)

El firmware posee diversos bloques que resultan necesarios para los procesos requeridos por el funcionamiento del mecanismo. Los principales son: Administrador de Wi-Fi que permite al FPGA comunicarse con protocolo serial al módulo WiFly, el cual conecta de forma inalámbrica con la computadora. De esta forma se tiene comunicación entre la computadora y la tarjeta del robot por medio del software de control. Administrador de SDRAM que consta de un bloque de control de memoria que permite enviar comandos para escribir y leer datos de 32 bits en forma paralela y se encarga de comunicarse con los datos que manda el administrador Wi-Fi enviados por la computadora. Decodificador de señales que procesa las señales de los encoders de los motores que controlan los ejes del motor. Los encoders incrementales de cuadratura determinan la posición actual en cada eje, para interpretar las señales A y B de los encoders, que están desfasadas 90°, al firmware se le agregaron bloques para decodificar dichas señales, donde se lleva a cabo el conteo de los pulsos de los encoders para poder determinar la posición actual de cada eje y mediante dichos conteos se puede determinar el sentido de giro de cada motor. En las señales A y B se encuentra codificada la información correspondiente al avance y su dirección, a partir de ese valor cualquier cambio que haga el encoder genera un cambio en las combinaciones lógicas de la señal y según el cambio que se genere se puede saber si el giro del motor es en sentido horario o en sentido antihorario. El firmware genera la señal de PWM y controla la velocidad de los motores. Se puede recalcar que el funcionamiento general del sistema estudiado se basa en la manipulación por

parte del usuario a través de una interfaz de LabView donde es posible visualizar y modificar los parámetros del sistema, como lo son las posiciones deseadas para los motores y las ganancias de ajuste de los controles usados en cada eje del mecanismo.

Metodología

Con la finalidad de obtener señales lo más limpias posibles en los sistemas mecatrónicos, se utilizan diferentes tipos de acondicionamiento de dichas señales, uno de estos son el filtrado definiéndose como la eliminación de frecuencias que se presentan en los sistemas como ruido no deseable. Existen diferentes tipos de filtros dependiendo de la frecuencia que se desea eliminar. Los filtros digitales se diseñan dentro del sistema embebido de tal manera que se obtienen las señales ya sin ruido permitiendo obtener mejora en la lectura de los datos, se ha comprobado que su aplicación ayuda a disminuir los errores en las respuestas de los sistemas controlados. Para lograr tener las señales limpias se corrige el efecto de muestreo en la posición, implementado un filtro tipo Bessel dentro del microprocesador, después se elimina el error de cuantificación en la velocidad por medio del método MT, implementado en el firmware del sistema embebido. Con esta metodología las señales que obtenemos del movimiento del robot son lo más limpias posibles.

Filtro digital

Para poder obtener los valores reales se debe aplicar un filtro que elimine la repetición de espectros que se genera al digitalizar una señal, este proceso se realiza con frecuencia de forma externa empleando un filtro analógico, pero si requerimos los datos reales en procesos internos del FPGA se requiere emplear un filtro digital. La frecuencia sobre la cual se debe desarrollar el filtro Bessel es con una frecuencia de corte de 20Hz. Este filtro está instrumentado dentro del microprocesador y tiene la siguiente estructura:

$$H(s) = \frac{1}{(1 + 0.07071s + 0.0025s^2)} \quad (8)$$

La función de transferencia de la ecuación 8 ha sido transformada a tiempo discreto tal como se muestra en [5]. Posteriormente se obtiene una ecuación en función del muestreo de la señal y después haciendo uso del lenguaje D se instrumenta directamente en el sistema embebido.

Corrección de error de cuantificación empelando el método MT

La estimación de la velocidad es realizada con diversos métodos como la resta de la posición actual menos la anterior dividida entre el tiempo de muestreo: $\dot{x}_i \approx (x_i - x_{i-1})/h$. Este método es conocido como M y se considera que el tiempo de muestreo h es fijo. Sin embargo, debido a que el encoder cuantifica la posición, este método no estima adecuadamente la velocidad. En la Figura 3 se observa una señal de posición que ha sido cuantificada. Utilizando el método M, se observa que la velocidad obtenida consiste un tren de impulsos de distinta amplitud, tal y como se muestra en la Figura 3. El método MT reportado en [6] considera el tiempo que transcurre entre cada cambio de valor en la señal de posición. De este modo, se obtiene una señal estimada de velocidad que no contiene los impulsos de la Figura 3. El módulo de firmware instrumentado en el FPGA para estimar la velocidad con este método consiste en, un detector de flancos de la señal de posición del encoder, un contador y un detector de signo para la velocidad: el contador determina el tiempo transcurrido entre cada cambio del encoder y el signo determina el sentido de la velocidad. La señal del contador es enviada al procesador embebido en el FPGA para implementar el método MT.

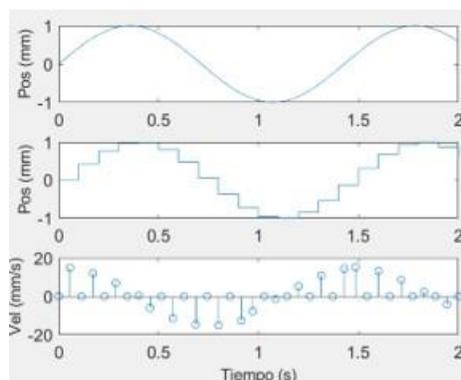


Figura 3. Estimación de velocidad con el método M.

Control de posición y velocidad.

Es necesario mencionar que entre los controles existentes más usados y que son capaces de llenar los requerimientos necesarios para su uso de manera industrial el más conocido es el algoritmo de control PD clásico y algunas de sus variaciones, el cual constituye una buena base para el diseño y mejora de un modelo de control adecuado. Una diferencia fundamental entre un control de posición y un control de trayectoria o de movimiento, es que este último incluye la dinámica completa del robot manipulador en la estructura matemática del controlador, es decir, se basa en el modelo dinámico del robot. Es por esto, que el diseño y realización de uno de estos controladores es mucho más complejo y es por esto también por lo que la nueva ley de control adquiere una exactitud, desempeño y robustez que dependen del grado de precisión con que se conozcan los parámetros dinámicos que se involucran en la descripción matemática del modelo dinámico del robot. Es importante notar, que mientras del control de posición depende de la posición del motor (encoder), la propuesta de los términos de fricción depende de la velocidad lineal de la mesa de trabajo, por lo que se controla la posición final del tornillo embalado (la cual se da en mm) que permitirá tener la posición y velocidad de la mesa de trabajo y basar el control de posición en dicha información, con lo que el torque inyectado en el sistema será una función que depende de la posición y velocidad de dicha variable. Por este motivo el control que se tiene implementado se basa en la posición deseada de la mesa de trabajo, dada en mm, para lo cual el programa y el firmware del robot realizan la conversión entre la posición del motor y la posición de la parte final, por lo que es posible adoptar dicha propuesta de control. Con esto, nuestra función de torque propuesto para el control de posición a implementar quedaría como:

$$\tau_i = K_{pi}(q_{di} - q_i) + K_{vi}(\dot{q}_{di} - \dot{q}_i) + J_i\ddot{q}_{di} + \tau_{cfi} \quad (9)$$

$$\tau_{cfi} = \frac{1}{2}([1 + \text{signo}(\dot{q}_{di})][k_{pi}\tanh(\lambda_i\dot{q}_{di}) + b_{pi}\dot{q}_{di}] - [\text{signo}(\dot{q}_{di}) - 1][k_{ni}\tanh(\lambda_i\dot{q}_{di}) + b_{ni}\dot{q}_{di}]) \quad (10)$$

donde τ_i es el torque de control, K_{pi} y K_v son las ganancias proporcional y derivativa, q_{di} es la posición deseada, J_i es el momento total de inercia, k_{pi} y k_{ni} son los coeficientes de la fricción de Coulomb, b_{pi} y b_{ni} son los coeficientes de fricción viscosa, λ_i es el coeficiente de acondicionamiento de la fricción de Coulomb: el subíndice n de negativo y p de positivo de los coeficientes k_{pi} , k_{ni} , b_{pi} y b_{ni} indican el sentido de la velocidad donde son usados. Con esto, se tiene que el torque total que se provee por medio del funcionamiento del PWM está regulado por las compensaciones de fricción correspondientes a la función de fricción de coulomb, la función correspondiente a la fricción viscosa de la mesa de trabajo. La estabilidad de estas leyes de control se demuestra que son asintóticamente estables [7].

Resultados

A continuación en la Figura 4 se encuentran los resultados de la simulación del modelo dinámico obtenido con la metodología de parámetros agrupados correspondientes a el valor de la posición y la velocidad, realizando un movimiento senoidal de con amplitud de 45 mm con centro en 90mm: Se ha comparado las señales experimentales con las de simulación. Podemos observar que hay en la posición un 97% de coincidencia entre la simulación y los datos obtenidos experimentalmente y en la velocidad se obtuvo un 98%.

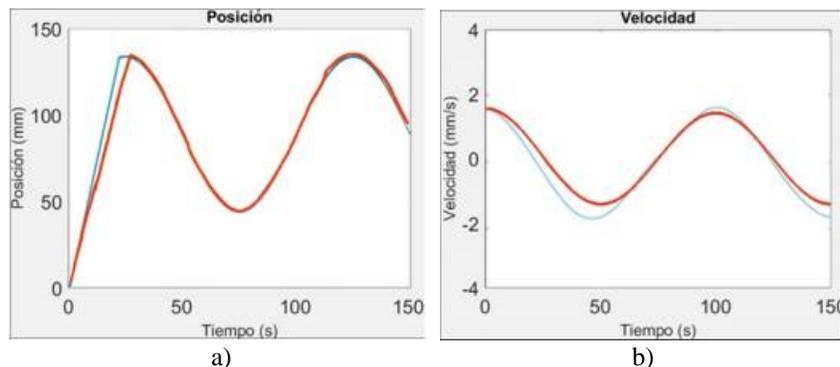
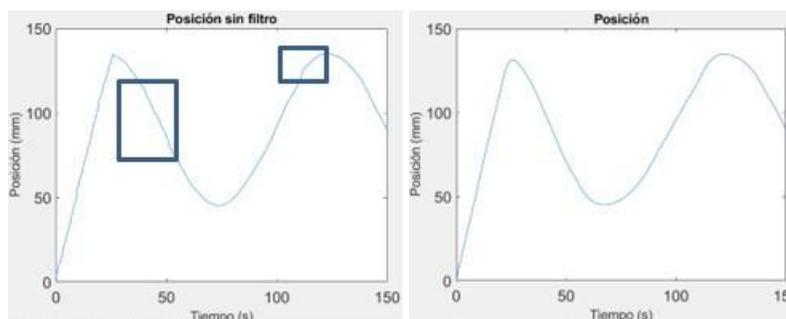


Figura 4.-a) Posición experimental (roja), posición simulación (azul) y b) Velocidad experimental (roja), Velocidad de simulación (Azul)

En la Figura 5 se compara la posición sin el proceso de filtrado y la posición con el filtro implementado, se puede observar en los recuadros deformaciones causadas por el efecto de muestreo, con la implementación en el

sistema embebido del filtro tipo Bessel dentro del microprocesador se limpia la señal como se observa en la Figura 5-b:

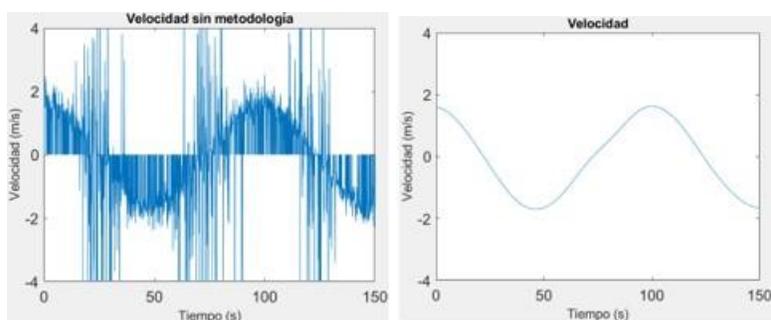


a)

b)

Figura 5.- Posición obtenida: a) Posición sin filtrado, b) Posición con proceso de filtrado.

En la figura 6 se compara la velocidad obtenida sin el método MT, en donde se observa el efecto de la información obtenida con el encoder del sistema con la generada aplicando la metodología propuesta, es decir con el método MT instrumentado en el microprocesador, se puede ver una clara diferencia entre el resultado de ambas gráficas, teniendo una señal al final limpia.



a)

b)

Figura 6.- Velocidad obtenida: a) velocidad obtenida sin método MT ni proceso de filtrado, b) velocidad obtenida tras aplicar método MT y filtrado.

Conclusiones

Los resultados de las simulaciones del modelo dinámico obtenido con la metodología de parámetros agrupados realizando la simulación en Simulink de Matlab, y los resultados experimentales presentaron una correlación del 97% en la posición y un 98% en la velocidad, de acuerdo con la masa que tienen que mover estos dos ejes se considera una buena aproximación. Al instrumentar dentro del sistema embebido el filtro tipo Bessel para poder suavizar la señal que se obtiene de la posición tiene un buen desempeño ya que se elimina satisfactoriamente el efecto de muestreo obteniendo una señal mucho más limpia. La implementación en firmware del método MT para eliminar los errores de cuantificación cuando obtenemos la velocidad a partir de la posición del robot fue muy satisfactoria pues se logró tener una señal de la velocidad limpia y con esto tener una mejor respuesta.

Referencias

1. B. Fabien. Analytical System Dynamics: Modeling and Simulation. Springer US, 2008.
2. Vargas-Trevino, M.A., Lopez-Gomez, J., et al., "A mechatronic approach for ball screw drive system: modeling, control, and validation on an FPGA based architecture", Int. J. Adv. Manuf. Technol., vol. 104, pp. 2329- 2346, Jul 2019.
3. G. Zepeda Arce, "Diseño de un microprocesador de arquitectura RISC de 32 bits", tesis de maestría, Maestría en Ciencias de la Electrónica opción Automatización, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Puebla, 2017.
4. D. M. Gonzalez Arriaga, M.A.D. Vargas Treviño, S. Vergara Limon "Lenguaje D" Programas de computacion, Registro Publico del Derecho de Autor, numero de registro: 03-2021-120110454200-01, 2021
5. Manual de usuario, "DE0-CV User Manual". [En línea]. Disponible en: https://www2.pcs.usp.br/~labdig/material/DE0_CV_User_Manual.pdf. [Accedido: octubre 2021].

6. Se-Han Lee & Jae-Bok Song. (2001); "Acceleration Estimator for Low-Velocity and Low-Acceleration Regions Based on Encoder Position Data", IEEE/ASME TRANSACTIONS ON MECHATRONICS, VOL. 6, NO. 1.
7. R. Kelly, V. Santibáñez, *Control de Movimiento de Robots Manipuladores*, Madrid: Pearson Education, 2003.

Propuesta de Desarrollo de Bastón Inteligente mediante una Aplicación Móvil Utilizando la Tecnología Beacon

Mildred Ollin Ángeles Domínguez¹, José Eduardo Bernal Hernández²,
Ing. Sandra Magali García García³ y Dr. María Eugenia Ruano Mendoza³

Resumen- Se pretende desarrollar un bastón inteligente mediante una aplicación móvil en Android utilizando los dispositivos beacons, con la finalidad que permita detectar el entorno de las personas con discapacidad visual y así poder evitar ciertos obstáculos con la ayuda de la tecnología actual.

Por esta razón la importancia de desarrollar un bastón inteligente que podrá ser de gran ayuda para este sector de la población y así poder beneficiarlos, al evitar accidentes y permitirles trasladarse con mayor facilidad.

También se planea aprovechar el potencial de los beacons implementándolo al bastón, de esta manera poder avisarles a los transeúntes por medio del bluetooth que una persona con discapacidad visual está cerca para que tengan cuidado y si es necesario poder auxiliarla, a su vez se buscan tecnologías que puedan sustituir los beacons como lo sería la red WI-FI e implementar la opción de carga mediante NFC.

Palabras clave— Discapacidad, Aplicación Móvil, Android, Beacon, Bastón Inteligente, Bluetooth, WI-FI, NFC.

Introducción

Estudios del INEGI. (2 de febrero de 2021), muestran que en México el rubro de discapacidad es de 20 millones 838 mil 108 personas, una cifra que representa el 16.5% de la población de México, de las cuales, las personas que cuentan con discapacidad visual son de 12 millones 727 mil 653 personas, esta cifra representa un 61.0% de la cantidad total de personas discapacitadas en México.

Actualmente la tecnología y el uso de dispositivos ha incrementado en todo el mundo haciendo una fusión de dispositivos móviles, hardware e Inteligencia Artificial, entre otros.

El dispositivo Beacon es un modelo basado en el Internet de las Cosas (IoT), una arquitectura de datos en la nube que ayuda a recolectar datos de los dispositivos que son vinculados, según la entrevista aplicada a (Hans, V. 2016) CEO de Ericsson rescatada del portal web de la revista "muyinteresante.es" dice que las repercusiones serán muy considerables ya que "si una persona se conecta a la red, le cambia la vida. Pero si todas las cosas y objetos se conectan, es el mundo el que cambia.

Internet de las Cosas está aquí, a nuestro alrededor, se ha hecho visible con la incorporación de los teléfonos inteligentes (smartphones) a nuestra vida diaria. Internet de las Cosas tiene que ver sobre todo con sensores, estos diminutos dispositivos capaces de detectar todo lo que ocurre a nuestro alrededor, y con Internet. La nueva generación de hardware móvil viene repleta de sensores: movimiento, ubicación, velocidad, humedad, luz ambiental, audio, imagen, etc., etc. Con un smartphone podemos medir nuestro pulso cardíaco, reconocer imágenes, localizar objetos o personas, medir condiciones ambientales, saber cuánto hemos corrido, controlar todos los electrodomésticos del hogar y mil cosas más. También se están incorporando sensores en ropa y accesorios como las gafas.

Descripción del Método

Usuario

La propuesta de uso del bastón inteligente es la siguiente, se divide en dos casos de acuerdo con las necesidades más relevantes las cuales son: Cruzar la avenida y Orientación la zona braille en el metro de la Ciudad de México, las cuales se describen a continuación.

Carga del bastón

La carga del bastón sería mediante la red NFC, como las personas con discapacidad visual no podrían conectar con facilidad el bastón, sería beneficioso poder recargar la batería sin tener que conectarla, solo acercándolo al dispositivo que emite el campo magnético se recargará el bastón.

Activar el botón de encendido del bastón

El botón se encuentra en la parte de arriba del bastón, la cercanía ayuda a activar con un solo toque se activa el bastón lo cual será muy fácil para las personas con esta discapacidad.

Conexión por medio de la aplicación móvil:

La propuesta de la aplicación pretende ser accesible y tenga confort para las personas por ello la primera vez que está en la aplicación llenara unos formularios (teclado, comando de voz) lo cual nos dará cierta información del usuario ; en el caso que este usuario llene los formularios por comando de voz; esté partir de esa conexión se conectara automáticamente; en el caso que el usuario llene los formularios por teclado; la conexión no se hará automáticamente; cabe mencionar que la conexión depende del usuario y sus necesidades de discapacidad

En el momento que se conecte el bastón al dispositivo se encenderá el beacon y al oprimir algún botón se enviará la notificación.

Tomar un autobús:

El primer botón se encargará de mandar un mensaje cuando el usuario desee tomar el transporte público, dicho botón mandará el mensaje a las personas que se encuentran cerca y las personas a su alrededor les ayuden a tomar el transporte correcto.

Cruzar la avenida:

Se oprime el segundo botón el cual mandará el mensaje a las personas que se encuentran cerca y podrán brindar ayuda al usuario.

Orientación en la zona braille dentro del metro de la CDMX:

Sería la persona que desorienta dentro del metro de la CDMX, buscando el mapa de braille para leer en qué estación se encuentra y a dónde quiere llegar.

Notificar a las personas de su alrededor para que le brinden su ayuda:

Las personas que brindaran la ayuda a las personas con discapacidad deberán tener activado el bluetooth de su celular para que así les llegue la notificación y así ellos puedan ayudar a estas personas.

El bastón contendrá 3 botones, los cuales llegarán al beacon para notificar a las personas de su alrededor para solicitar ayuda,

El bastón Mapa de caso de uso

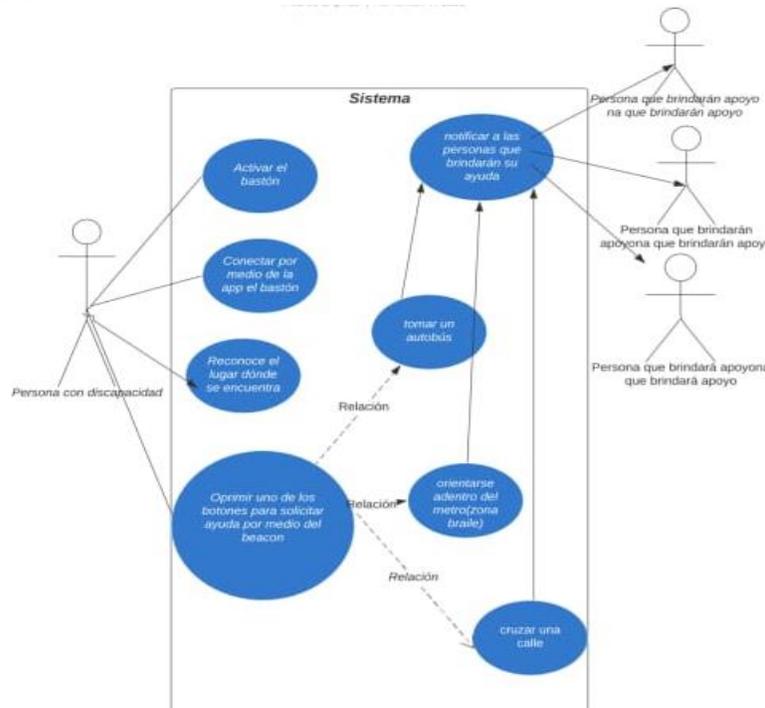


Figura 1: Caso de Uso Usuario

Persona con discapacidad

Está realizando las peticiones mediante una aplicación y sus 3 botones los cuales son:

Aplicación Móvil.

Está enfocada para la instalación de las personas con discapacidad visual se propone un dispositivo de versión instalada mayor a lollypop hasta 11.

Tipos de Bastones

Hay diferentes tipos de bastones para las personas ciegas, los cuales son de color rojo y blanco, verde y amarillo, también existen los bastones electrónicos, pero no son inteligentes.

La Federación Mundial de Sordociegos estableció el bastón rojo y negro como el símbolo que identifica a las personas con sordoceguera. No se han establecido normas estrictas sobre cómo deben ser estos bastones, aunque en España normalmente el tramo final, el más cercano al suelo, es blanco y luego se van alternando los colores rojo y blanco. Así que cuando vemos a alguien con un bastón con estos colores, ya podemos identificar que es una persona con sordoceguera y prestarle ayuda de acuerdo con sus circunstancias, y es que no es igual ser invidente que no ver ni oír.

IoT

Internet of Things que por sus siglas en inglés IoT, que traducimos como el Internet de las Cosas, la cual describe la red de objetos físicos (cosas) que incorporan sensores, software y otras tecnologías con el fin de conectar e intercambiar datos con otros dispositivos y sistemas a través de Internet. Estos dispositivos van desde objetos domésticos comunes hasta herramientas industriales sofisticadas.

En este mundo hiperconectado, los sistemas digitales pueden grabar, supervisar y ajustar cada interacción entre las cosas conectadas. El mundo físico y el mundo digital van de la mano y cooperan entre sí. El objetivo de una red IoT es conectar la realidad y sus objetos físicos con internet y aplicaciones en la nube.

Mediante la informática de bajo coste, la nube, big data, analítica y tecnologías móviles, las cosas físicas pueden compartir y recopilar datos con una mínima intervención humana.

Es importante mencionar que los Beacon son parte de la tecnología de Internet de las Cosas.

Dispositivos Beacon

Los beacons son pequeños dispositivos de bajo consumo que se conectan con nuestro teléfono o cualquier otro aparato tecnológico a través del Bluetooth y envían cierta información a los dispositivos que se encuentran cerca de ellos. Pueden tener entre un rango de distancia de entre 10 y 40 metros así que cuando nuestro móvil o tablet se acerca a esta zona recibe un mensaje con la información que esté beacon está programado para enviar.

No es necesario que ambos dispositivos se vinculen previamente como sí pasa con los auriculares o los relojes inteligentes, aunque sea la primera vez que pasas por esa zona recibirás el mensaje en el móvil, esto sucede porque la conexión es de un solo sentido, el beacon emite y tu móvil lo recibe.

Para que este sistema sea seguro y no transmita ningún malware, se han creado una serie de protocolos que hacen que nuestro móvil reciba un código identificador del beacon y lo consulte con un servidor, una vez se ha verificado su autenticidad, el móvil permite que el beacon se comunique con él.

Notificaciones Push

Las notificaciones push son los mensajes que se envían desde un servidor remoto hasta los dispositivos que tienen instalados la aplicación. Son inmediatas por lo que no es necesario que el usuario esté continuamente actualizando la información para recibir novedades.

El destinatario no tiene por qué estar utilizando la aplicación para que reciba una notificación de esta, cada vez que el dispositivo reciba una información nueva, avisará de ello. Esto permite que la relación entre el usuario y la propia App sea mucho más cómoda y cercana.

El uso que se le da a las notificaciones push es muy amplio y depende del objetivo y las necesidades que se tengan. Algunos ejemplos de usos que le dan las aplicaciones a este tipo de notificaciones son: para avisar de nuevos mensajes (sobre todo en las Apps de comunicación instantánea o correo electrónico), alertar de noticias de última hora (frecuente en los periódicos digitales), informar del tiempo o del tráfico que hay en la ciudad donde vive el usuario (muy propio de Google).

Carga inalámbrica mediante NFC

NFC son las siglas de Near-field communication, su significado en español es “comunicación de campo cercano”, lo que significa que podemos establecer una conexión inalámbrica entre dispositivos que se encuentran muy próximos.

A diferencia de otras tecnologías de redes inalámbricas con el NFC tendremos un alcance muy limitado. De hecho lo normal es que no funcione más allá de unos 10 o 15 centímetros. La comunicación se realiza mediante inducción y genera un campo magnético entre los dos dispositivos cuando se acercan.

Una diferencia importante frente a otras tecnologías es que no requiere licencia, ya que no va a interferir en otras comunicaciones.

Software Utilizado

Las aplicaciones nativas (Native App) son aquellas en las que se lleva a cabo específicamente un desarrollo para cada una de las plataformas. En el caso de los móviles: Android, iOS

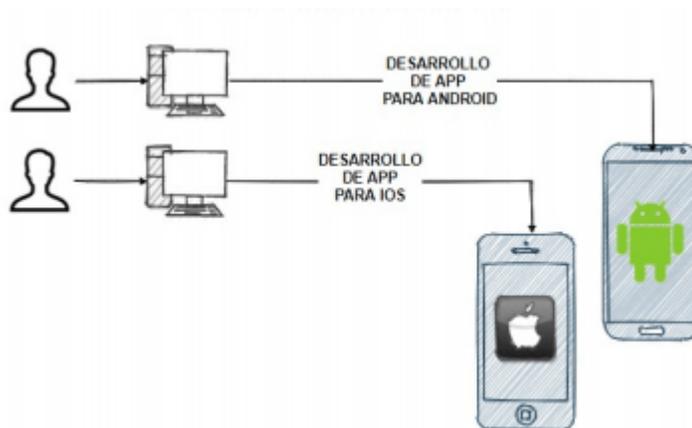


Figura 2: Software a utilizar

Resumen de Resultados

Los investigadores que deseen continuar con nuestra investigación podrían enfocarse principalmente en investigar otras alternativas a esta propuesta, ya que no hay tantos antecedentes en esta investigación y la información sobre proyectos similares es muy escasa, por lo cual se busca que allá mejoras de este mismo, se recomienda una investigación de los sistemas operativos ya que han salido nuevas versiones de Android y por lo regular cada 6 meses van actualizando los sistemas, por lo mismo la aplicación puede que falle o marque errores y no permita que la aplicación funcione correctamente, de este modo es esencial tener la información actualizada, como también se trabaja con el internet de las cosas no debería centrarse en los dispositivos beacons, puede que existan otras soluciones o alternativas de esta tecnología, pudiendo ser una alternativa la red Wi-Fi.

Conclusiones

Ya que a las personas con discapacidad visual les resulta muy complicado el poder trasladarse de un sitio a otro y que la sociedad no es consciente en muchas ocasiones o no se percatan de que hay personas que necesitan ayuda cerca de ellos, por tal motivo, el buscar una manera de implementar esta tecnología a una herramienta de mucha utilidad como lo es el bastón nos pareció que resolvería los problemas antes mencionados, así poder lograr que dichas personas puedan moverse por las calles de manera más sencilla y sin tantas complicaciones, como también que en caso de necesitar ayuda puedan pedirla más fácilmente y que el mensaje no solo le llegue a una persona, si no que le llegue a más personas y con esto que puedan brindarles ayuda.

Referencias

- Carrillo, M. (7 de octubre de 2021). *El Dictamen*. Obtenido de <https://www.eldictamen.mx/nacional/en-mexico-millones-de-personas-con-discapacidad-visual/>
- División de Educación General del Ministerio de Educación de Chile. (diciembre de 2007). *Guía de apoyo técnico-pedagógico: necesidades educativas especiales en el nivel de educación parvularia*. Obtenido de <https://especial.mineduc.cl/wp-content/uploads/sites/31/2016/08/GuiaVisual.pdf>
- INEGI. (2 de febrero de 2021). *DIS-CAPACIDAD*. Obtenido de <https://dis-capacidad.com/2021/01/30/censo-2020-16-5-de-la-poblacion-en-mexico-son-personas-con-discapacidad/>

ONCE. (9 de diciembre de 2013). *discapacidad visual*. Obtenido de <https://www.once.es/dejanos-ayudarte/la-discapacidad-visual>
Oracle. (2021). *¿Qué es Internet of Things (IoT)?* Obtenido de <https://www.oracle.com/mx/internet-of-things/what-is-iot/>
Hans, V. (2016). Muy interesante. Obtenido de Muy interesante: www.muyinteresante.es
Romero, M. S. (24 de 08 de 2019). compute hoy. Obtenido de <https://computerhoy.com/reportajes/tecnologia/que-es-beacon-477901>
Websa100. (s.f.). SEOptimizer. Obtenido de <https://www.seoptimizer.com/es/blog/notificaciones-push-que-son-por-que-usarlas/>
redeszone.(17 de abril de 2022).Qué es NFC, usos en casa y cómo usarlo con el móvil.Obtenido de <https://www.redeszone.net/tutoriales/redes-wifi/que-es-tecnologia-nfc/>

Design and Construction of an Experimental Filter for Sustainable Usage of Water on Tilapia's Culture

Dra. Rocío del Carmen Antonio Cruz¹, MIPA. María Berzabé Vázquez González², Dra. Nora Alicia Purata Pérez³, M. en V. Carlos Rodríguez Jiménez⁴, Dra. Noemi Méndez de los Santos⁵ y Ing. Nelson de Jesús López Acopa⁶

Summary--- Aquaculture on a global level is one of the economic activities with highest growth thanks to the ease in which it can be developed; this is why the search of methods that bring it closer to friendly state with the environment in terms of handling the water is important.

Its usage of big volumes of water is the reason for the development of this project; which looks forward for the development of an efficient filter with accessible and eco-friendly materials like the oyster shell or coco nut fiber, which will allow the reduction of the consumption of water in this activity compared to the traditional methods (water change).

The project contemplates the implementation of vertical filters with upflow to promote the remotion of the suspended solid particles in the water, product of the cultivation of Tilapia influencing the water consumption.

Key words--- aquaculture, water, filters, tilapia, environment.

Introduction

The tilapia is considered a food source of high nutritive value for humanity, this is why a lot of people affirm that fish is an ideal food source for the human being in all ages due to its easy digestion, high collagen and protein content (DINARA & INFOPECA, 2014). Due to the above fish have been a food source for the human being during many centuries, to the point of being overexploited to satisfy the food demand. In 1995 a conduct code was set in motion for fishing, being an inflection point for the fishing industry. That's why the countries with high demand of fish as a food source saw themselves in the need of substitute the source of this product, allowing aquaculture to be a viable option in the last years (FAO, 2020). Since then, the aquaculture has seen an exponential growth worldwide. Just in Mexico this activity provides the 80.52% of the production of tilapia and is cultured in the entire national territory. The state of Tabasco has the register of 599 units of aquaculture production in accordance with Anuario Estadístico de Acuicultura y Pesca 2018 (Aquaculture and Fishing Statistic Yearbook) (CONAPESCA, 2018).

Like every activity in its way to achieving an optimal development it has generated important subjects of study. A lot of them are aimed to a rational usage of water in this activity due to the fact that in order to carry out this activity it is needed high volumes of this vital liquid.

Some of this studies and technological improvements are the recirculating aquaculture systems (RAS), that broadly speaking are made up by several elements and processes. In a RAS the water circulates through a system that is made up of external, mechanical and biological filters and later, the water is oxygenated or aired constantly before it is returned to the culture containers (Amparo, 2019).

In most cases in which this systems are implemented it is observed favorable results in terms of production by cubic meter. It is worth saying that in order to obtain these results it is needed a considerable economic inversion and other aspects such as: highly qualified personal for an optimal operation of the facilities (Basualdo et al, 2012).

Another technology applied to aquaculture are the Biofloc systems which are based on the creation and development of microorganism colonies that feed on the wastes produced by the fish in the culture and the remains of the aliment generated by overfeeding, the Biofloc is the creation of a cycle in which these microorganisms feed on these generated wastes and the fish feed on the microorganisms at the same time, closing this cycle that offers advantages like the reduction of the food consumption rate that is a big importance factor economically speaking on the fish culture and the decrease of important water volumes (Amparo, 2019).

¹ Dra. Rocío del Carmen Antonio Cruz es Profesora Investigadora de Bioquímica en el Tecnológico Nacional de México Campus Villahermosa, Villahermosa, Tabasco. rocio.ac@villahermosa.tecnm.mx

² MIPA. María Berzabé Vázquez Gonzalez es Profesora Investigadora de Bioquímica en el Tecnológico Nacional de México Campus Villahermosa, Villahermosa, Tabasco. maria.vazquezg@villahermosa.tecnm.mx

³ Dra. Nora Alicia Purata Pérez es Profesora Investigadora de Bioquímica en el tecnológico Nacional de México Campus Villahermosa, Villahermosa, Tabasco. nora.puratap@villahermosa.tecnm.mx

⁴ M. en V. Carlos Rodríguez Jiménez es Profesor Investigador de Ciencias de la Tierra en el Tecnológico Nacional de México campus Villahermosa, Villahermosa, Tabasco. carlos.rj@villahermosa.tecnm.mx

⁵ Dra. Noemi Méndez de los Santos es Profesora Investigadora de Ingeniería de Ciencias de la Tierra en el Tecnológico Nacional de México Campus Villahermosa, Villahermosa, México noemi.ms@villahermosa.tecnm.mx

⁶ Ing. Nelson de Jesús López Acopa es estudiante de la Maestría en Ingeniería del Tecnológico Nacional de México Campus Villahermosa, Villahermosa, Tabasco, México nelsondj964@gmail.com (autor corresponsal)

On the other hand it also shows disadvantages such as the permanent consumption of electric energy for the equipment to continue working on the aeration necessary to keep high levels of oxygen concentration in the water due to the large amount of suspended solid particles in the water, which makes this technique susceptible of having important losses if there isn't the backup machinery for the generation of electric energy, even more so that it requires more sources of carbon. Which turns into the need of new inputs for its development (Basualdo et al, 2012).

The aquaponics are the integration of fish culture with hydroponic cultivation which is a culture method that involves aqueous solutions with chemical nutrients in a mostly sterile environment, this integration of both technologies is achieved by making water from the fish culture tank go through the hydroponic system, which benefits the generated nutrients by the aquaculture activity, being absorbed by the plants on growth that provide a filtration medium for the previously generated contaminants (Amparo, 2019).

This technology offers advantages such as saving on water consumption, due to the fact that the water is filtered it eliminates the suspended particles in it, this way promoting its reutilization, on the other hand, it offers disadvantages similar to the Biofloc technology, namely, it requires the maintenance of the control of a large number of variables alongside the dependence of a constant large supply of electric energy.

Other types of studies are those developed by some Mexican researchers who proposed a recirculating tilapia culture model, with low environmental impact and high productivity, and they used medicinal plants and probiotics to prevent or correct pathologies and systems of floating plant modules and the sludge biodigestion (Ornelas et al., 2017).

Godínez in 2010 proposed the design and implementation of wastewater treatment in aquaculture systems, in a first phase: sedimentation. For which he implemented a sedimentation module that consisted of a 160-liter container, another of the same capacity as a pumping station, three 40-liter containers, and a 1/16 Hp pump. The monitoring of this system was carried out for 15 days in which data was collected, such as; temperature, pH, turbidity, oxygen and percentage of sedimentation, these results were compared with those mentioned in the Manual de Producción de Tilapia con Especificaciones de Calidad e Inocuidad de la Tilapia (Tilapia Production Manual with Tilapia Quality and Safety Specifications) (SAGARPA, 2010), of which only oxygen was reported within of the recommended range.

Although some of these aforementioned techniques have achieved significant advances in the sustainable use of water in aquaculture, they have focused their attention on large-scale productions with significant economic investment opportunities, leaving aside small producers trying to venture into activity at a forced march.

This does not mean that some of the technological developments generated previously cannot be taken into account in this project, but rather that they must be applied by implementing a certain level of important adaptability, since the central idea of it is to provide a new sustainable alternative in terms of water to small-scale fish farmers and scarce economic resources who see in the activity an opportunity for development, implementing the use of filtering materials of low economic cost and easy access in the region such as coconut fiber and oyster shell.

Method Description

Proposal: "Design of a Recirculation System"

The proposed water recirculation system for tilapia culture consists of a container of approximately 1 m³ of capacity in which the tilapia specimens will be introduced, a vertical container of approximately 0.20 m³ of capacity to be used as a primary settler, 2 containers of 0.20 m³ of capacity to be used as filters, where they will contain the filter material (coconut fiber and crushed oyster shell) seeking the proliferation of colonies of microorganisms for biofiltration.

Crop Density and Age

The proposed culture density is 33 tilapia specimens with an average age of 20 to 21 weeks and an average weight of 250 grams, to reach a term of 500 grams or 29 to 30 weeks of age, since it seeks to measure the efficiency of the system in the most critical stages of tilapia culture.

Obtaining the Filtering Material

Low-cost materials will be collected, such as: coconut fiber and oyster shell, which are generally waste produced in food and beverage marketing activities, trying to put these materials to practical use as filter medium in a recirculation system water.

Measurement of Filter Parameters and Crop Health

During the development of the experimentation and implementation of the recirculation system, essential data will be collected to measure the efficiency of the proposed system, such as the amount of total suspended solids,

pH, temperature, turbidity, dissolved oxygen, ammonium and nitrates. In addition, an adequate monitoring of the health of the culture, carrying out a sampling and statistical control that allows the deep analysis of the experiment.

Expected results

The proliferation of aquaculture in the world is important, which is why it is expected with the conclusion of this project to obtain favorable results in experiments that can help to reduce the environmental impact of the activity in terms of water care, being able to replicate and adapt to the different scales and developments throughout the planet. Bringing the activity closer to a state that is friendly to the environment and, most of all, to the care of water.

Conclusions

As is well known nowadays, access to fresh water is increasingly scarce throughout the planet, which is why it is important to pay attention to aquaculture due to the high volumes of water it requires, therefore offering alternatives that can help it. Approaching sustainability in terms of water would be an important achievement in that direction.

References

- Manual de Producción de Tilapia con especificaciones de Calidad e Inocuidad (SAGARPA, 2010).
Godínez-Morales, F. (2010). Tratamiento de aguas residuales en sistemas acuícolas, primera fase: sedimentación.
Basualdo-Ramírez, L. J., Jiménez-Guzmán, F., Jiménez-Saavedra, A. C., Macal Niño, F. J., Quintero-Marmol, E. A. M., Montañó-Aguilar, D. M. A., & Gutiérrez U. E. (2012). Criterios Técnicos y Económicos para la Producción Sustentable de Tilapia en México. México. Soltar impresiones.
AVDALOV NATHAN, NELSON. 2014. Beneficios del consumo de pescado. Montevideo: DINARA – INFOPECA. 30 P
Amparo Venegas, A. O. (2019). Aplicación de la tecnología de biofloc (BFT) al cultivo de *Totoaba macdonaldi*. Ensenada, México. CICESE. Instituto de Acuicultura del Estado de Sonora (IADC). 2016. Programa Institucional.
Ornelas-Luna, Ricardo, Aguilar-Palomino, Bernabé, Hernández-Díaz, Arnulfo, Hinojosa-Larios, José Ángel, & Godínez-Siardia, Daniel Enrique. (2017). Un enfoque sustentable al cultivo de tilapia. *Acta universitaria*, 27(5), 19-25. <https://doi.org/10.15174/au.2017.1231>
CONAPESCA (2018). Anuario Estadístico de Acuicultura y Pesca 2018.
Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2020). El estado mundial de la pesca y la acuicultura- La sostenibilidad en acción, Roma.

Bibliographic notes

Dr. Rocío del Carmen Antonio Cruz. Industrial Chemical Engineer graduated from the Technological Institute of Villahermosa, she completed a Master of Science in Petroleum and Petrochemical Technology and a Doctorate of Science in Chemical Engineering at the Technological Institute of Ciudad Madero, she is a Research Professor from 2000 to the present. Dr. Antonio has published 30 extensive memoirs in national and international conferences, 25 articles in prestigious journals, three book chapters, has directed 16 master's level theses and 5 doctoral level theses. In addition, she has directed 20 research projects as manager and 10 as a collaborator, she has participated in 30 conferences and advised 50 undergraduate students in Chemical Engineering to carry out their professional residency project.

MIPA. María Berzabé Vázquez González is a Professor at the Instituto Tecnológico Nacional de México Campus Villahermosa, Tabasco. He completed a master's degree in Engineering and Environmental Protection at the Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. She has directed theses, funded projects and as a collaborator of these, as well as publications of articles in refereed and indexed journals.

Dr. Nora Alicia Purata Pérez, is a Professor at the Tecnológico Nacional de México Campus Villahermosa. M. in V. Carlos Rodríguez Jiménez. Master in Valuation and Civil Engineer, full-time professor attached to the Department of Earth Sciences of the Tecnológico Nacional de México campus Villahermosa, Tabasco; He has published scientific articles in national and international magazines; PRODEP Desirable Profile. August 2017 to August 2020, October 2020 to October 2023; is a member of an academic research body. He has directed and carried out award-winning research at a national and international level and is a speaker at national and international science and engineering forums.

Dr. Noemi Mendez de los Santos. Civil Engineer, Master in Engineering and Environmental Protection obtains the degree with honorable mention by the synods and the Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (UJAT), Doctor of Science in Ecology and Management of Tropical Systems obtaining the degree with honorable mention by the synods. She is a full-time professor at the Tecnológico Nacional de México Campus Villahermosa. It is a PRODEP Desirable Profile valid until 2025, she currently directs the Academic Body in Consolidation ITVIHE-CA-7. She has directed and collaborated in research financed and awarded nationally and internationally. She has been visiting professor at the Francisco de Paula Santander University in Ocaña Colombia. She has directed award-winning bachelor's and master's theses. She is a jury member and speaker at national and international events. She has publications in recognized magazines.

Eng. Nelson de Jesús López Acopa. He is a Petroleum Chemical Engineer graduated from the Popular University of Chontalpa (UPCH). Partial professor of the Earth Science area of the Tecnológico Nacional de México Campus Villahermosa. He is finishing the fourth semester of the Master's Degree in Engineering at the Tecnológico Nacional de México-Villahermosa Campus.

Design and Construction of an Experimental Constructed Wetland with Ecological Blocks of Stone Dust and High Density Polyethylene (HDPE)

Dra. Rocío del Carmen Antonio Cruz¹, Dra. Noemi Méndez de los Santos²,
MV. Carlos Rodríguez Jiménez³, Dr. Mario José Romellon Cerino⁴, MIPA. José Reyes Osorio⁵, Dr. Rudy Solís
Silván⁶ y Ing. María Elena Cárdenas Córdova⁷

Abstract— Wastewater treatment is usually very expensive, difficult to operate and requires large dimensions to install, in rural areas it is not feasible. Analyzing the Sustainable Development Goals (SDG) 16 (2030 agenda) that seeks to reduce pollution and reduce the percentage of untreated wastewater that is mostly discharged into bodies of water; Constructed wetland is considered a sustainable technology to treat wastewater because it is an acceptable construction, easy to operate, and good removal efficiencies. This study presents the bases to design and build artificial wetlands to be implemented in rural areas. Documentary and experimental study, consisting of; 1) literature review and selection of design equations; 2) construction: cleaning, staking, excavation, structure, distribution of plumbing input, finishes and closure, 3) planting and stabilization of vegetation, 4) run with wastewater. It is expected to obtain removal efficiencies > 60% in basic contaminants.

Keywords— Potus, rural area, affordable, HDPE, basic contaminants.

Introduction

Domestic wastewater from rural communities continues to be a source of infection for serious diseases today. In 2022, the World Health Organization (WHO) stresses that geographic, sociocultural and economic inequalities continue to exist between rural and urban areas, but also in the central parts of cities; which is reflected in less access to supply sources. In addition, they affirm that non-existent, insufficient or poorly managed water and sanitation services are key problems for human health; relating it to the transmission of diseases such as cholera, diarrhea, dysentery, hepatitis A, typhoid fever and poliomyelitis.

Conflicts and suffering are taking place worldwide as a consequence of the water crisis (Barceló et. al, 2008, p.15). More than 80% of domestic wastewater is discharged into rivers or seas without treatment, causing pollution.

In Costa Rica, the researchers Soto-Córdova et al. (2019) through a study found that 100% of rural areas discharge their gray wastewater into the surrounding rivers and that 87% of blackwater is only sent to septic tanks, they also observed contamination in surface sources as a consequence of the population increase and the discharge of wastewater without treatment.

According to the national inventory of municipal potabilization and wastewater treatment plants in operation of the National Water Commission (CONAGUA) in Mexico, 2,786 municipal wastewater treatment plants (PTAR) operate, which can only treat one flow of 144,710 l/s. By December 2020, there were 84 wastewater treatment plants in operation in Tabasco. The treatment capacity of the plants is 2966.4 l/s, but they only treat 2169.4 l/s. there is still more to be implemented, especially in rural areas.

Despite having a WWTP in Tabasco, these are not sufficient for the amount of domestic wastewater currently generated, such is the case of rural areas where the only treatment for wastewater is the septic tank, to then send it through drains to the nearest rivers; causing damage to aquatic ecosystems, limiting uses and putting human health at risk.

¹ Dra. Rocío del Carmen Antonio Cruz es Profesora Investigadora de Bioquímica en el Tecnológico Nacional de México campus Villahermosa, Villahermosa, Tabasco. rocio.ac@villahermosa.tecnm.mx

² Dra. Noemi Méndez de los Santos Profesora Investigadora de Ingeniería de Ciencias de la Tierra en el Tecnológico Nacional de México campus Villahermosa, México noemi.ms@villahermosa.tecnm.mx

³ MV. Carlos Rodríguez Jiménez es Profesor Investigador de Ciencias de la Tierra en el Tecnológico Nacional de México campus Villahermosa, Villahermosa, Tabasco. carlos.rj@villahermosa.tecnm.mx

⁴ Dr. Mario José Romellon Cerino es Profesor Investigador de Ciencias de la Tierra en el Tecnológico Nacional de México campus Villahermosa, Villahermosa, Tabasco. mario.rc@villahermosa.tecnm.mx

⁵ MIPA. José Reyes Osorio es Profesor Investigador de Ciencias de la Tierra en el Tecnológico Nacional de México campus Villahermosa, Villahermosa, Tabasco. jose.reyeso@villahermosa.tecnm.mx

⁶ Dr. Rudy Solís Silván Profesor Investigador de la Academia de Ingeniería Ambiental en el Tecnológico Nacional de México campus Comalcalco, Comalcalco, Tabasco. rudy.solis@comalcalco.tecnm.mx

⁷ Ing. María Elena Cárdenas Córdova Profesora Investigadora de la Academia de Ingeniería Ambiental en el Tecnológico Nacional de México campus Comalcalco, Comalcalco, Tabasco. maria.cardenas@comalcalco.tecnm.mx (autor correspondiente)

The United Nations Organization (UN) emphasizes that it is essential to recognize, measure and express the value of water, as well as incorporate it into decision-making, to achieve sustainable and fair management of water resources and meet the SDGs of the Agenda 2030 (2021).

Therefore, it is important to implement affordable technologies for the treatment of rural wastewater that contribute to improving the discharge of these wastewaters and ensure the health of the population.

At the international level, various research works have been developed for the treatment of wastewater using affordable technologies of artificial wetlands.

In previous studies, such as that of Carvajal et al., (2018), the use of alternative technologies for the treatment of rural wastewater is proposed, highlighting artificial subsurface flow wetlands (HAFS), as one of the best, for its high efficiency in removing coliforms and its contribution to the reduction of diseases caused by this bacterium, producing positive effects on human health.

CONAGUA affirms that in Mexico an evaluation of the effectiveness of artificial wetlands has been carried out as a sustainable technology for the treatment of wastewater with high removal efficiency. But despite these investigations at the Tabasco level, there are only six artificial wetlands (CONAGUA, 2020).

Such is the case of the research by Marín Acosta et al. (2016), who in Tabasco designed and operated 12 subsurface flow tropical artificial wetlands for the treatment of domestic wastewater, finding the best removal efficiencies in the HAFS-Tule, obtaining between 81.10% and 95.44%, second to HAFS-Tule. Carrizo with efficiencies between 53% to 89%, they also ensure that the technology, due to its low cost and easy operation, turns out to be sustainable for the treatment of domestic wastewater.

In this project, artificial wetlands will be experimentally designed and built using blocks made of stone dust and recycled high-density polyethylene (HDPE) for the treatment of domestic wastewater, using as vegetation the ornamental plant Potus (*Epipremnum aureum*) that I helped with. the removal of contaminants and also gave an aesthetic value to the landscape.

Method Description

Kind of investigation

This study begins with a documentary-type investigation; through which it will be determined which is the ideal method for the design of horizontal subsurface flow wetlands (HHSS) taking into consideration the environmental conditions of the study area. Subsequently, experimental research will be carried out, applying the equations for the design, the construction of two HHSS will be carried out on a pilot scale.

Bibliographic review

To date several methods have been developed and introduced to design the constructed wetlands, an exhaustive search will be carried out in published scientific databases: Scielo, Redalyc, Google Scholar, Dialnet. Using keywords as a search strategy such as: constructed wetland design, equations for HHSS, constructed wetlands, treatment wetlands.

Study area

The experiment will be carried out at the facilities of the Tecnológico Nacional de México, Villahermosa campus (N 18° 01'19"; W 92° 34'16") in the state of Tabasco (Fig. 1).



Figure 1. Study area.

Characteristics of the experimental system

The construction will take place at the rear of the “O” building (Figure 2). Two artificial wetlands with the same dimensions will be built; The cells of the wetlands will be made of blocks made of stone dust and recycled high-density polyethylene (HDPE) and tepezil block. River gravel will be used as a filter medium. The ornamental vegetation to be tested in one of the wetlands is the Potus species (*Epipremnum aureum*); and the second with Reed (*Phragmites australis*) with which a comparison will be made regarding the removal efficiencies and adaptation of the species. Lastly, the residual water that will be used will come from the sanitary facilities of the same building and institution.



Figura 2. “O” building.

Characterization of the filter medium

Gravel purchased from Materiales Indeco, S.A de C.V., located at Blvd. Industria Nacional Mexicana 322, Indeco, 86017 Villahermosa, Tab. (N 18° 00' 15''; W 92° 54' 10''), Villahermosa, Tabasco (Figure 3).



Figura 3. Materials Indeco, S.A. de C.V.

Samples of 500 g of gravel will be taken, they will be taken to the Research laboratory of the same institution to determine density, porosity, specific weight and humidity.

Characterization of the vegetation

Pothos (*Epipremnum aureum*) vegetation will be obtained from a home garden located in town c-11, General José María Morelos y Pavón (N 18° 10' 32''; 93° 37' 32''), Cardenas, Tabasco (Fig. 4).

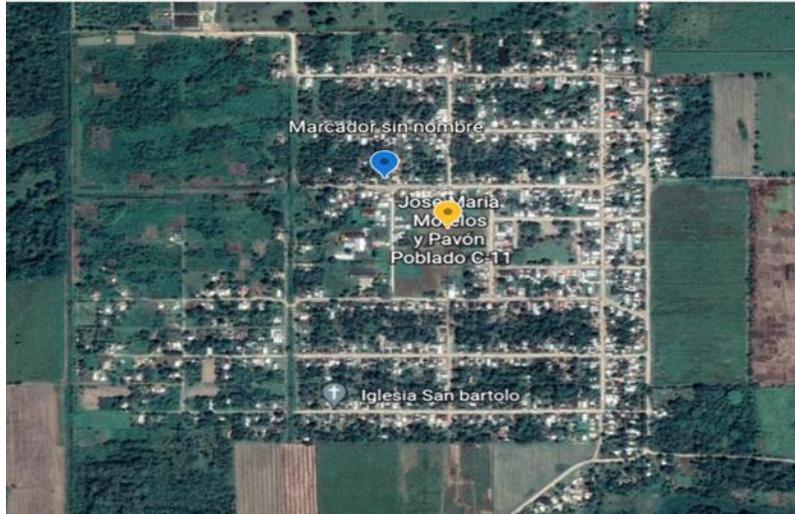


Figura 4. Pob. C-11, Cárdenas, Tabasco.

They will be recorded from the plant; the number of leaves, number of branches, height of the plant, diameter of the stem, length of the leaf, width of the leaf. This record will be made from the transplant until the plant has adapted. Then this record will be made every weekend to monitor its development.

Water characterization

Three characterizations will be made:

- 1) Drinking water: This will be used to inject the wetland initially once the plant has been planted, thus helping with the adaptation of the plant, where physical parameters such as pH, temperature, and EC will be measured.
- 2) Untreated wastewater: It is the water that will enter the wetland once the plant is stabilized. The parameters to be measured are: pH, temperature. EC, TSS, OD, Color, COD, turbidity.
- 3) Treated wastewater: It is the water that will leave the wetland once the hydraulic retention time has expired. The parameters to be measured are: pH, temperature. EC, TSS, OD, Color, COD, turbidity.

Expected results

Currently the percentage of untreated wastewater is large, especially in rural areas. With the completion of this project, it is expected to obtain favorable results in the experimentation that will allow it to be replicated in rural communities, those that are not provided with wastewater treatment and disposal services. Thus, contributing to the fulfillment of the goals for SDG 16 "water and sanitation". Likewise, improve the quality of water bodies, which will facilitate uses and reduce diseases caused by direct and indirect contact with contaminated water.

Conclusions

It is important to address the various problems that rural areas present, artificial wetlands with ornamental vegetation such as Potus (*Epipremnum aureum*) will be an alternative to attack the problem of wastewater in these areas.

References

- Barceló, D., Ayora, C., Carrera, J., Castaño, S., Folch, M., García, E., Gómez-Alday, J. J., Guasch, H., Jofre, J., Lema, J. M., López de Alda, M., Lucena, F., Moreno-Amich, R., Muñoz, I., Nieto, J. M., Omil, F., Ortiz, I., Román, A., Sabater, S., ... Torrens, A. (2008). continental waters. Management of water resources, treatment and quality of water. Superior Council of Scientific Investigations. Retrieved from: <https://digital.csic.es/handle/10261/22637>
- Carvajal Rowan, A., Zapattini Irala, C., & Quintero Zamora, C. (2018). Constructed Wetlands, an alternative for the purification of Wastewater in the Municipality of Mizque, Bolivia. Design and Technology for Development, 0 (5), 88-108. Retrieved from <http://polired.upm.es/index.php/distecd/article/view/3744>
- Marín Acosta, C., Solís Silván, R., López Ocaña, G., Bautista Margulis, R. G., & Romellón Cerino, M. J. (2016). Treatment of wastewater by artificial tropical wetlands in Tabasco, Mexico / Constructed wastewater treatment by tropical -wetlands in Tabasco, Mexico / Treatment of water waste by artificial tropical wetlands in Tabasco. CIBA Ibero-American Journal of Biological and Agricultural Sciences, 5(10), 1. <https://doi.org/10.23913/ciba.v5i10.54>

National Water Commission. (2020). National Inventory of Municipal Potabilization and Wastewater Treatment Plants in Operation. Ministry of the Environment and Natural Resources. <https://files.conagua.gob.mx/conagua/publicaciones/Publicaciones/SGAPDS-2-22-a.pdf>

Soto-Córdoba, S., Gavieria-Montoya, L., & Pino-Gómez, M. (2019). Case study: Disposal of domestic wastewater in rural areas of Costa Rica. *Environment & Society*, 22, 02–20. <https://www.scielo.br/j/asoc/a/ZWYrxmRTrLJtzRZPdQT9bTK/?lang=es&format=pdf>

United Nations. (March 18, 2021). The value of water and its essential role in supporting sustainable development. <https://www.un.org/es/cr/C3%B3nica-onu/the-value-of-water-and-its-essential-role-in-support-for-sustainable-development#:~:text=It%20fundamental%20to%20recognize%2C%20measure%20and,United%20for%20%20Sustainable%20Development.>

World Health Organization. (March 21, 2022). Water for human consumption. <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/drinking-water>

Biographical Notes

Dr. Rocío del Carmen Antonio Cruz. Industrial Chemical Engineer graduated from the Technological Institute of Villahermosa, she completed the Master of Science in Petroleum and Petrochemical Technology and the PhD of Science in Chemical Engineering at the Technological Institute of Ciudad Madero, she is a Research Professor from 2000 to the present.

Dr. Antonio has published 30 extensive memoirs in national and international conferences, 25 articles in prestigious journals, three book chapters, she has directed 16 master's level theses and 5 doctoral level theses. In addition, she has directed 20 research projects as manager and 10 as a collaborator, she has participated in 30 conferences and advised 50 undergraduate students in Chemical Engineering to carry out their professional residency project.

Dr. Noemi Mendez de los Santos. Civil Engineer, Master in Engineering and Environmental Protection obtains the degree with honorable mention by the synods and the Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (UJAT), PhD of Science in Ecology and Management of Tropical Systems obtaining the degree with honorable mention by the synods. She is a full-time professor at the Tecnológico Nacional de México, Villahermosa campus. She is a PRODEP Desirable Profile valid until 2025, she currently directs the Academic Body in Consolidation ITVIHE-CA-7. She has directed and collaborated on nationally and internationally funded and awarded research. She has been a visiting professor at the Francisco de Paula Santander University in Ocaña Colombia. She has directed award-winning bachelor's and master's theses. She is a jury member and speaker at national and international events. She has publications in recognized magazines.

M.V. Carlos Rodriguez Jimenez. Master in Valuation and Civil Engineer, full-time professor attached to the Department of Earth Sciences of the Tecnológico Nacional de México campus Villahermosa, Tabasco; he has published scientific articles in national and international journals; PRODEP Desirable Profile. August 2017 to August 2020, October 2020 to October 2023; he is a member of an academic research body. He has directed and carried out national and international award-winning research and has been a speaker at national and international science and engineering forums.

Dr. Mario José Romellón Cerino. Professor-Researcher of the National Technological Institute of Mexico-Instituto Tecnológico de Villahermosa. Doctorate in Environmental Sciences from the University of XALAPA, Ver., Member of the Academic Body in Innovation in environmental improvement ITVIHE-CA-7, Has a PRODEP Desirable Profile. Member of the State System of Researchers of Tabasco, Diploma in Teaching Competences and Environmental Audits, he has directed Bachelor's and Master's Theses, as well as financed projects.

PhD candidate. José Reyes Osorio. Professor-Researcher of the National Technological Institute of Mexico-Instituto Tecnológico de Villahermosa. Specialist in the area of Process Engineering. Member of the Mexican Institute of Chemical Engineers. Member of the State System of Researchers, he has directed Bachelor's and Master's theses, as well as directed and collaborated in funded projects.

Dr. Rudy Solís Silván is an Environmental Engineer graduated from the University Juárez Autónoma de Tabasco (UJAT). He completed his Master's degree in Environmental Sciences and his Ph.D. in Ecology and Management of Tropical Systems at UJAT, both with honors. During her postgraduate studies she did two research stays, one at the Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional campus Mérida, in the area of Applied Physics, and another at the Instituto Mexicano de Tecnologías del Agua in the area of Wastewater Treatment Plant Design. He has published 8 articles in international journals indexed in jcr and CONACYT as first author. He has participated as a speaker in 15 international congresses in the last three years. He is a member of the State System of Researchers and member of the National System of Researchers. He was Technical Director in Water and Urban Sanitation of the Mexican Association of Engineering, Science and Environmental Management, Mexican Chapter of the Inter-American Association of Sanitary and Environmental Engineering in the year 2021. He is a full time professor and researcher at the National Technology of Mexico, Comalcalco Campus. He has directed 10 Bachelor's theses and two Master's theses.

Translated with www.DeepL.com/Translator (free version)

Ing. María Elena Cárdenas Córdova. Professor-Researcher of the National Technological Institute of Mexico-Comalcalco Higher Technological Institute. With profile of Environmental Engineer. Culminating the fourth semester of the Master's Degree in Engineering at the National Technological Institute of Mexico-Instituto Tecnológico de Villahermosa. Member of the State Register of Researchers. She has directed bachelor's theses and has also directed and collaborated on research projects.

Aletas Cónicas de Aluminio como Removedores de Calor para Aumentar la Eficiencia Eléctrica en Paneles Fotovoltaicos

Esaú Arellano Hernández¹, Dr. Vicente Flores Lara²,
Dr. Jorge Bedolla Hernández³, Ing. Oscar Ismael Pérez Pérez⁴ y Dr. Carlos Bueno Avendaño⁵

Resumen—En el presente trabajo se evalúa el desempeño eléctrico de un panel fotovoltaico policristalino de 150 W basado en su eficiencia y potencia, el cual, es evaluado sin un sistema de remoción de calor, para luego evaluar su eficiencia eléctrica con un sistema de remoción de calor. Se presentan resultados de medición de temperatura superficial del panel y potencia eléctrica del panel sin sistema de remoción de calor, y los resultados de temperatura de superficie del panel, temperatura de aletas, temperatura de aire dentro del sistema, potencia eléctrica del panel y velocidad del aire accionando el ventilador. Finalmente, la eficiencia eléctrica del panel sin el sistema de remoción de calor alcanza un valor de 15.6 % con una radiación de 1004 W/m², al accionar el ventilador con el sistema de remoción de calor, se logra una eficiencia de 17.7 % con una radiación de 994 W/m². Obteniendo un aumento del 1.2 % de la eficiencia eléctrica.

Palabras clave—Panel fotovoltaico, aletas, eficiencia eléctrica, energía, sistema híbrido.

Introducción

Los paneles fotovoltaicos generan electricidad a partir de la radiación solar, por esta razón, al estar expuestos directamente a la radiación solar, los paneles fotovoltaicos presentan un incremento de temperatura el cual genera una baja en la eficiencia del panel. Es por ello que surge la necesidad de desarrollar una forma de remover energía del panel fotovoltaico para enfriarlo y así, mantener o incrementar la eficiencia que esta dada por el fabricante, dicha eficiencia es aquella que el panel fotovoltaico se da a una temperatura de diseño de 25 °C. El uso de un panel fotovoltaico a una temperatura superior a la de su diseño, reduce tanto la capacidad como su vida útil.

Esta característica es fundamental para realizar una corrección al diseño de un sistema híbrido mediante una configuración de obstrucciones para bajar la temperatura del panel y así mejorar la eficiencia del mismo. El concepto de colector termo-fotovoltaicos con el uso de agua o aire como refrigerante fue establecido por Kern y Russell (1970). Un análisis energético y exergético a un colector termo-fotovoltaico de un colector de aire de placas paralelas para climas fríos mostrando eficiencias energéticas y exergética de 55-65% y 12-15% respectivamente, en el que se usó aire y agua como refrigerante, Yosi y Tiwari (2007). Los resultados de un análisis exergético, detallando un análisis térmico y eléctrico típicos de un sistema híbrido de aire. Al incrementar la velocidad del aire se aumenta la eficiencia exergética, en el usaron 2 ventiladores para realizar el movimiento de aire, F. Sarhaddi et al. (2010). Finalmente, Jin-Hee Kima et Al. (2013) obtuvieron en sus resultados experimentales que la temperatura y las eficiencias eléctricas del colector PVT fueron, en promedio, 22% y aproximadamente 15%, respectivamente. Esto significa que el rendimiento del colector de aire PVT fue similar al rendimiento de condición de prueba estándar sin disminución de la eficiencia debido a la temperatura fotovoltaica. Se uso aire como medio de remoción de calor

Descripción del Método

Se realiza una evaluación de eficiencia eléctrica instantánea a un panel fotovoltaico que no tenga ninguna modificación, es decir, sin aletas, para que, posteriormente, se le adhieran aletas de cónicas de aluminio a la parte posterior del panel junto con una cubierta de lámina de acero galvanizado para que se le pueda hacer pasar aire impulsado por un ventilador. Y así finalmente evaluar la eficiencia eléctrica instantánea del panel fotovoltaico con el sistema de remoción de calor. Las pruebas se realizaron en Ocotlán Tlaxcala en el mes de Abril de 2022.

¹ Esaú Arellano Hernández es Estudiante de la Maestría en Ingeniería Mecatrónica del Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Apizaco, Tlaxcala. m20371421@apizaco.tecnm.mx (autor correspondiente)

² El Dr. Vicente Flores Lara es Profesor del Departamento de Metal -Mecánica del Tecnológico Nacional de México/ Instituto Tecnológico de Apizaco, Tlaxcala. vicente.fl@apizaco.tecnm.mx

³ El Dr. Jorge Bedolla Hernández es Profesor del Departamento de Metal -Mecánica del Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Apizaco, Tlaxcala. jorge.bh@apizaco.tecnm.mx

⁴ El Ing. Oscar Ismael Pérez Pérez es Estudiante de la Maestría en Ingeniería Mecatrónica del Tecnológico Nacional de México/ Instituto Tecnológico de Apizaco, Tlaxcala. m20371427@apizaco.tecnm.mx

⁵ El Dr. Carlos Bueno Avendaño es Profesor del Departamento de Metal -Mecánica del Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Apizaco, Tlaxcala. carlos.ba@apizaco.tecnm.mx

Evaluación del panel fotovoltaico sin sistema de remoción de calor

El panel fotovoltaico del experimento es policristalino de silicio con una potencia pico de 150 W al cual se le realizó una caracterización con un adquisidor de datos Fluke modelo hydra el cual cuenta con 15 termopares tipo “T”, los cuales son pegados a la parte frontal del panel como se muestra en la figura 1.



Figura 1 Posición de termopares para adquirir datos.

Obteniendo el comportamiento de temperatura y potencia eléctrica como se muestra en la figura 2. La corriente junto con la tensión eléctrica fue tomada con un multímetro Fluke 115.

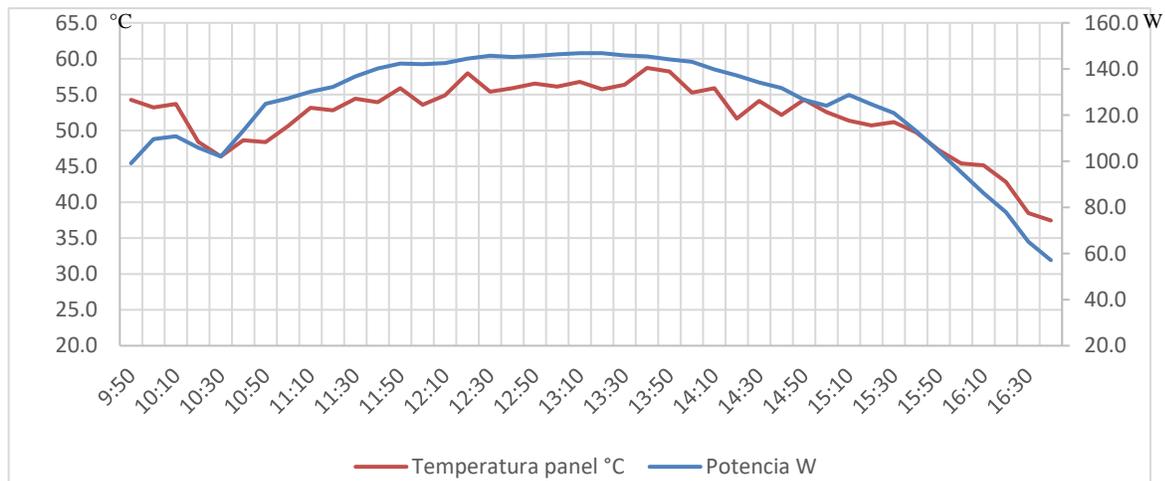


Figura 2 Temperatura del panel vs potencia eléctrica del panel.

Eficiencia eléctrica del panel fotovoltaico sin sistema de remoción de calor

Para obtener la eficiencia eléctrica del panel fotovoltaico se puede emplear la ecuación (1).

$$\eta_e = \frac{P}{EA_c} \cdot 100 \tag{1}$$

Donde p es la potencia del panel solar, E es la radiación solar y, A_c es el área del colector solar. La radiación solar fue tomada en base a los registros que generan las EMA’s del Servicio Meteorológico Nacional, estación Tlaxcala, del municipio de Tlaxcala con una Latitud Norte: 19°.32’, Longitud Oeste: -98°.24’ y una Altitud: 2232 m.s.n.m. El panel fotovoltaico tiene un área de recepción de radiación de 0.91 m². Con toda la información se genera la figura 3 en la cual se muestran los resultados de las 10:00 horas a 15:00 horas de radiación monitoreados.

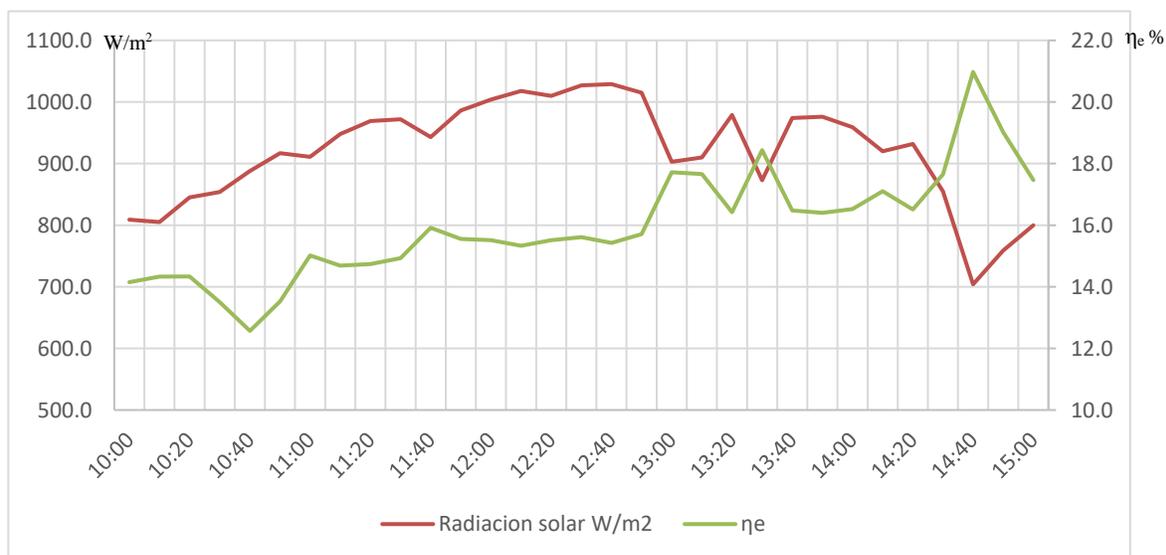


Figura 3 Eficiencia eléctrica del panel fotovoltaico vs radiación solar. Resultados de panel fotovoltaico sin sistema de remoción de calor.

Evaluación del panel fotovoltaico/térmico con sistema de remoción de calor

Los disipadores de calor a menudo son empleados para mejorar la transferencia de calor, esto, tomado en cuenta el material, la geometría y otras propiedades específicas del material, comúnmente los disipadores de calor son también llamados aletas.

La eficiencia de las aletas cónicas se puede calcular con la ecuación (2)

$$\eta_{aletas} = \frac{3}{2mL} \frac{l_1 \left(\frac{4mL}{3} \right)}{l_0 \left(\frac{4mL}{3} \right)} \tag{2}$$

Donde m se obtiene con la ecuación (3), L es la longitud de la aleta, D es el diámetro mayor de la aleta. Para la ecuación (3), h es el coeficiente convectivo y k es el coeficiente de conducción térmico del aluminio.

$$m = \sqrt{\frac{h \cdot \text{perimetro}}{k \cdot A_{aletas}}} = \sqrt{\frac{4h}{kD}} \tag{3}$$

Para el análisis se usa aluminio como material y se midieron temperaturas ambientales y de superficie obteniendo en promedio 28 °C y 62 °C, el coeficiente convectivo obtuvo teóricamente de 51 W/m² °C, el aluminio tiene un coeficiente de conducción térmico de 205 W/m² °C. Se establece un valor de altura de la aleta cónica de 0.04 m y un diámetro de 0.019 m, obteniendo un área de la base de la aleta de 0.0002835 m².

Sustituyendo valores en la ecuación (3), se obtiene un valor de m=7.237. Usando las funciones de Bessel modificadas I₀ e I₁, y el valor de m, en la ecuación (2), obtenemos una eficiencia de la aleta de 98.18 %.

Elaboración del sistema fotovoltaico termico

Se fabrica 110 aletas cónicas de aluminio con una altura de 40 mm, un diámetro en la base de 19 mm y un diámetro superior de 8 mm. Dichas aletas fueron adheridas con un cordón de silicón negro de alta temperatura alrededor de la base de la aleta con el fin de pegarla a la parte posterior del panel fotovoltaico generando un camino de obstrucciones como se muestra en la figura 4. También se realiza una cubierta para la parte trasera del panel con lamina de acero galvanizado con el fin de que, al pasar un flujo de aire impulsado por un ventilador, el aire no escape al ambiente y sea obligado a pasar entre el arreglo de las aletas de aluminio como se puede observar en la figura 5.



Figura 4 Arreglo de aletas en el panel

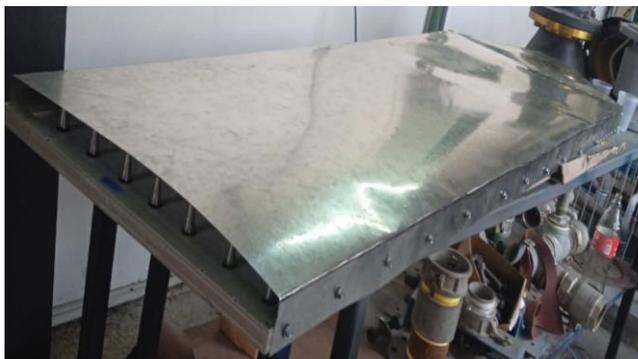


Figura 5 Cubierta trasera de lámina galvanizada

Una vez terminado de ensamblar el panel fotovoltaico con las aletas de aluminio, la cubierta trasera y el ventilador, se procede a agregar un segundo adquisidor de datos de la marca Fluke modelo hydra con 15 termopares tipo "T". Se le hicieron agujeros a la lámina galvanizada en la parte trasera a fin de distribuir los termopares disponibles en el área del panel. Quedando los termopares como se muestran en las figuras 6 y 7. En la figura 6 se puede observar que 8 termopares están adheridos con un poco de cinta a las aletas cónicas con el fin de obtener temperatura de las aletas.

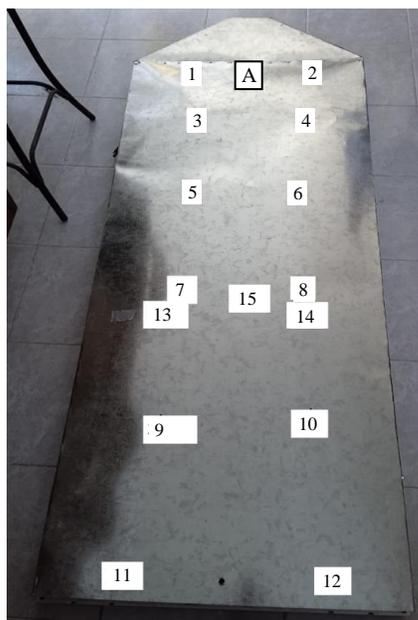


Figura 6 Disposición de termopares



Figura 7 Termopares en aletas

Una vez colocado todo el sistema y hacer funcionar el ventilador durante 80 minutos se puede observar el comportamiento de la temperatura de las aletas, temperatura del aire dentro del panel, la temperatura frontal del panel

y la potencia eléctrica, como se muestra en la figura 8. El accionamiento del ventilador esta mostrado entre las dos barras azules en la figura 8.

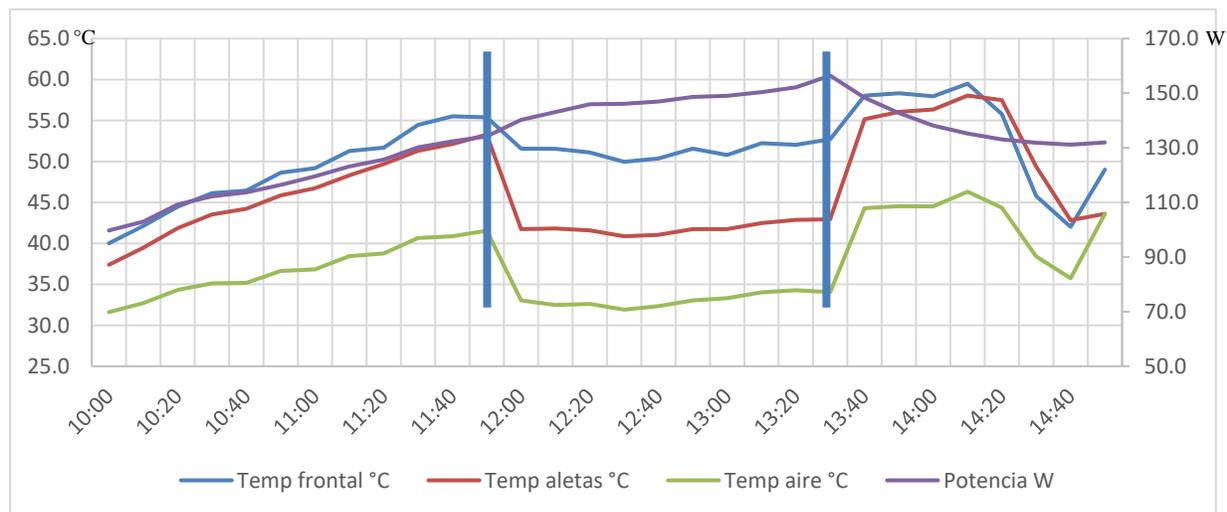


Figura 8 Potencia eléctrica vs temperaturas promedio del panel fotovoltaico

Eficiencia eléctrica del panel fotovoltaico con sistema de remoción de calor

En la figura 9 se muestran los resultados de la eficiencia eléctrica del panel fotovoltaico modificado de las 10:00 horas a 15:50 horas.

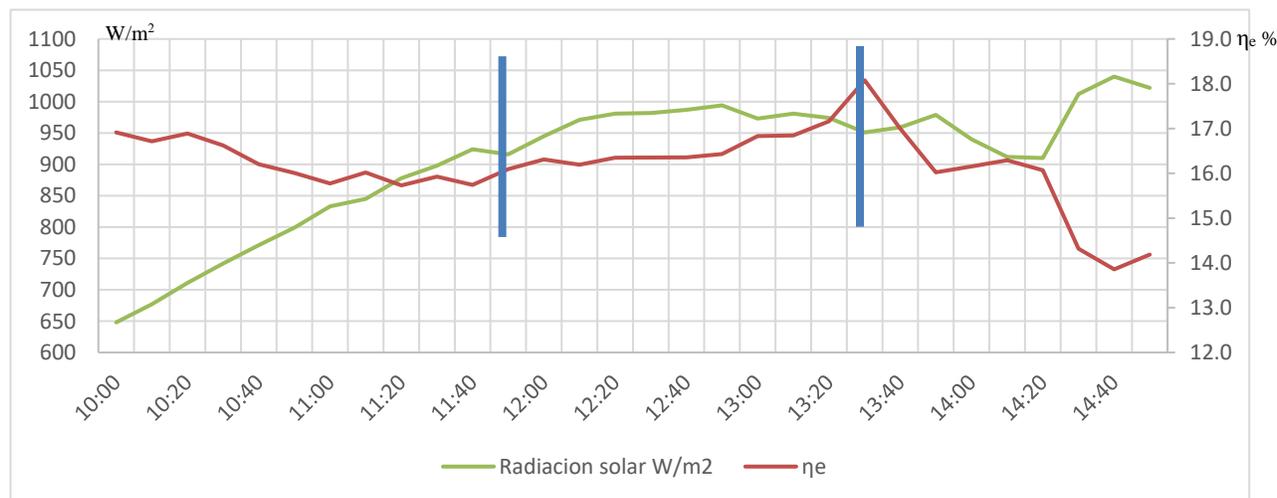


Figura 9 Eficiencia eléctrica del panel vs radiación solar. Resultados de panel fotovoltaico con sistema de remoción de calor.

La variable de la radiación solar no se puede controlar, es por ello que se tomaron resultados de días similares de radiación. La temperatura interna del aire dentro del panel es de 29.9 °C y la temperatura ambiental es de 25.6 °C. El ventilador es accionado por una alimentación domestica de 120 V AC, el cual, al estar funcionando genero una velocidad del aire promedio de 0.8 m/s. El anemómetro con el que obtuvieron las velocidades está colocado en el orificio (A) que esta entre el orificio de los termopares 1 y 2, que se pueden observar en la figura (2), el mismo anemómetro midió un flujo volumétrico promedio de 1.8 m³/min.

Resumen de resultados

La evaluación de la eficiencia eléctrica del panel fotovoltaico con la ecuación (1), fue aplicada al panel que no presenta un sistema de remoción de calor, y, también, a ese mismo panel con el sistema de remoción de calor, generando un aumento en la eficiencia eléctrica máxima del 1.2 % en eventos en que la radiación solar era similar entre ambas pruebas (aunque en diferentes días) y a su vez, cercanas a los 1000 W/m² de diseño.

Incertidumbre de medición

Se usará una incertidumbre estándar, con una evaluación tipo A; la cual es mediante un análisis estadístico, así como la incertidumbre combinada, y una incertidumbre expandida para una confianza de 95% de veracidad en los resultados. Se usa la ley de propagación de incertidumbre la cual se representa como la ecuación (4), aplicado a cada instrumento, para los hidras, multímetro y anemómetro.

$$L_{\text{corregida}} = L_{\text{instrumento}} - \text{Error} \tag{4}$$

Aplicando la ecuación (4) se estima la incertidumbre de medición del hydra, contemplando la resolución, deriva, repetibilidad y la contribución del instrumento patrón.

La tabla 1 muestra las estimaciones de incertidumbre de los 4 instrumentos de medición con un factor k=2.

Hydra 1 Usado para monitorear la superficie del panel fotovoltaico														
T ₁ (°C)	T ₂ (°C)	T ₃ (°C)	T ₄ (°C)	T ₆ (°C)	T ₇ (°C)	T ₈ (°C)	T ₉ (°C)	T ₁₀ (°C)	T ₁₁ (°C)	T ₁₂ (°C)	T ₁₃ (°C)	T ₁₄ (°C)	T ₁₅ (°C)	T ₁₆ (°C)
0.39	0.44	0.43	0.43	0.63	0.44	0.50	0.50	0.52	0.57	0.62	0.79	0.61	0.79	0.52
Hydra 2 Usado para monitorear las aletas y aire dentro del panel fotovoltaico														
T ₁ (°C)	T ₂ (°C)	T ₃ (°C)	T ₄ (°C)	T ₆ (°C)	T ₇ (°C)	T ₈ (°C)	T ₉ (°C)	T ₁₀ (°C)	T ₁₁ (°C)	T ₁₂ (°C)	T ₁₃ (°C)	T ₁₄ (°C)	T ₁₅ (°C)	T ₁₆ (°C)
0.47	0.51	0.53	0.61	0.69	0.69	0.61	0.55	0.55	0.38	0.46	0.57	0.53	0.57	0.58

Tabla 1 Incertidumbre de los 2 Hydras.

La incertidumbre del anemómetro en velocidad del aire es 0.0942 m/s, la incertidumbre en flujo volumétrico es 0.1318 m³/min. El multímetro tiene como incertidumbre en tensión eléctrica 0.0393 V, y, en corriente eléctrica 0.0046 A.

Conclusiones

Los resultados demuestran un aumento de 1.2 % en la eficiencia eléctrica del panel fotovoltaico al momento de hacer funcionar el ventilador, el cual ingresa aire ambiental de la parte superior del panel hacia dentro del mismo, para hacer pasar aire a través de las aletas de aluminio, con respecto al mismo panel fotovoltaico que no tenía el sistema de remoción de calor, lo cual ocurre porque al conducir calor del panel solar a las aletas de aluminio, estas últimas son enfriadas por el flujo de aire que se le hace pasar por medio de. Al existir variaciones en la radiación solar, las mediciones de los días no coinciden en su totalidad.

Recomendaciones

Se propone aumentar el flujo volumétrico para mejorar la transferencia de calor entre las aletas y el aire impulsado por el ventilador y así, obtener una eficiencia eléctrica mayor, de igual forma se propone usar un arreglo diferente en el aletado del panel.

Referencias

A.S. Joshi, A. Tiwari. “Energy and exergy efficiencies of a hybrid photovoltaicthermal (PV/T) air collector, Renewable Energy”, 32 (13),2007.
 E.C. Kern Jr., M.C. Russell. “Combined photovoltaic and thermal hybrid collector systems, in: Proceedings of 13th IEEE photovoltaic Specialists”, Washington, DC, USA, 1978.
 F. Sarhaddi , S. Farahat, H. Ajam, A. Behzadmehr. “Exergetic performance assessment of a solar photovoltaic thermal (PV/T) air collector”, 2010.
 Jin-Hee Kima, Se-Hyeon Parkb, Jun-Tae Kimc. “Experimental performance of a photovoltaic-thermal air collector, SHC, 2013, International Conference on Solar Heating and Cooling for Buildings and Industry September 23-25”, 2013, Freiburg, Germany

Respuesta de dos Cultivares del Tomate (*Solanum lycopersicum* L.) a la Aplicación de QuitoMax® en Condiciones de Salinidad

Carlos Ávila Amador¹, Dr. Leandris Argente Martínez²,
Dra. Ofelda Peñuelas Rubio³, M.C. Julio César García Urias, M.C. José Aurelio Leyva Ponce, Dr. Raúl Carlos López Sánchez⁴

Resumen— Se evaluó el efecto bioestimulante de QuitoMax® en plantas de tomate var. Vyta y Campbell-28 en condiciones de salinidad. El experimento se desarrolló en Cauto Cristo, Granma, Cuba, en un suelo salino sódico (CE 4 dS m⁻¹). El diseño experimental fue de bloques al azar, con arreglo factorial, con cuatro réplicas. Los tratamientos se aplicaron a los 12 días después del trasplante (DDT) a razón de 300 y 400 mg ha⁻¹ y control (agua destilada). A los 45 DDT, se evaluó altura de la planta, longitud de raíz, número de frutos, número de racimos por planta, diámetro ecuatorial, diámetro polar y rendimiento. La aplicación del QuitoMax® incrementó el número de racimos por planta y la masa de frutos comparados con el control. Los mejores resultados se obtuvieron al aplicar la dosis de 300 mg ha⁻¹.

Palabras clave— Vyta, bioestimulante, Campbell-28, conductividad eléctrica.

Introducción

El tomate (*Solanum lycopersicum* L.) constituye, a nivel mundial, uno de los cultivos de mayor importancia por su extensión, demanda y formas de consumo. Su producción global, en el 2020, fue de más de 186 millones de toneladas métricas, en una superficie de 5 millones de hectáreas y un rendimiento promedio de 36 t ha⁻¹. En Cuba, es cultivada en casi todas sus regiones, llegando a ocupar el 22 % de las áreas dedicadas a la producción de hortalizas (FAOSTAT, 2020).

El rendimiento agrícola del tomate se afecta por factores abióticos y bióticos que causan una disminución considerable en las cosechas (Carvalho et al., 2020; Rodrigues et al., 2020). Cuando es cultivado en suelos salinos disminuye el rendimiento, puesto que es una especie glicófita, medianamente sensible a las sales. La mayor sensibilidad de este cultivo a la salinidad se presenta cuando la conductividad eléctrica del extracto de saturación del suelo supera los 2.5 dSm⁻¹ (Alam et al., 2021).

Entre los efectos que la salinidad provoca en las plantas se tienen: efectos morfológicos, fisiológicos y bioquímicos, tales como disminución de la fotosíntesis, una menor masa de los frutos (Bacha et al., 2017). Más de un millón de hectáreas, dedicadas a la agricultura, se encuentran afectadas por sales en Cuba y de ellas el 14 % se localizan en zonas de importancia agrícola (Abellón-Molina et al., 2021). En las provincias orientales el 65% de los suelos agrícolas son catalogados como salinizados (Vázquez-Glaría et al., 2021).

Los bioestimulantes son una variedad de productos que contienen principios activos. Estos, promueven el desarrollo, la productividad y contribuyen a mejorar la resistencia de las especies vegetales, a enfermedades e incremento de los rendimientos (Chele et al., 2021). Aunque se ha probado el efecto promotor del desarrollo en algunos cultivos (Rodríguez-Pedroso et al., 2017), hasta el momento no se conoce la respuesta de la planta en condiciones de salinidad por efecto del bioestimulante QuitoMax® en el cultivo del tomate en suelos salinos; ni de su resultado en la estimulación del crecimiento y rendimiento bajo estas condiciones de estrés. El presente trabajo tuvo como objetivo evaluar la respuesta de dos cultivares de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) Vyta y Campbell-28, a la aplicación de QuitoMax® en un suelo salino con una conductividad eléctrica del extracto de saturación del suelo de 4 dS m⁻¹, al oriente de Cuba.

Descripción del Método

Ubicación del área experimental

El experimento se desarrolló en el municipio Cauto Cristo provincia de Granma, Cuba, en el período de octubre del 2019 a febrero del 2020, en un suelo clasificado como salino sódico (Hernández-Jiménez et al., 2019) con

¹ En M.C. Carlos Ávila Amador es estudiante doctoral en la Universidad de Granma, Cuba. cavilaamador76@gmail.com

² El Dr. Leandris Argente Martínez es profesor investigador del Tecnológico Nacional de México campus Valle del Yaqui, (autor correspondiente) oleinismora@gmail.com

³ La Dra. Ofelda Peñuelas Rubio es profesora del Tecnológico Nacional de México campus Valle del Yaqui, Bácum, Sonora. openuelas.rubio@itvy.edu.mx

⁴ El Dr. Raúl Carlos López Sánchez es profesor de la Universidad, Granma, Cuba. rlopezs@udg.co.cu

una conductividad eléctrica del extracto de saturación de $CE=4 \text{ dS m}^{-1}$. Dicha clasificación se correlaciona con la establecida por la Wold Reference Base, para la clasificación genética de los suelos a nivel internacional (Zádorová et al., 2021). Durante la realización del experimento (promedio de cinco meses) las variables climáticas registraron valores promedios de 17.45 mm de precipitaciones, 73.55% de humedad relativa y 24.94°C de temperatura.

Variedades evaluadas

Se utilizaron los genotipos de tomate Vyta y Campbell-28, Estas variedades clasifican como tolerante y susceptible respectivamente, a la salinidad (Álvarez et al., 2008). La variedad Vyta procedente del Instituto de Investigaciones Hortícolas “Liliana Dimitrova” y la variedad comercial Campbell-28, introducida de los EEUU a dicho Instituto, ambas de crecimiento determinado.

Tratamientos y diseño experimental

Para el montaje del experimento se siguió un diseño experimental de bloques al azar, con arreglo factorial (2x3), replicando cuatro veces cada tratamiento. Los tratamientos consistieron en la combinación de las variedades Vyta y Campbell-28 y tres dosis del biostimulante QuitoMax® (0 mg ha⁻¹; 300 mg ha⁻¹ y 400 mg ha⁻¹) para un total de seis tratamientos (T1-Vyta-0 mg ha⁻¹; T2-Vyta-300 mg ha⁻¹; T3-Vyta-400 mg ha⁻¹; T4-Campbell-28-0 mg ha⁻¹; T5-Campbell-28-300 mg ha⁻¹ y T6-Campbell-28-400 mg ha⁻¹). Estos tratamientos fueron distribuidos en parcelas experimentales de 4x4 m, a un marco de plantación de 0.80 m entre hileras y de 0.30 m entre plantas. El trasplante se realizó a los 30 días después de la emergencia cuando las plantas cumplían con las características para ser trasplantadas. El bioestimulante se aplicó de forma foliar a los 12 días después del trasplante (DDT) todos a la misma hora de la mañana (08:00 h) y para el tratamiento control se aplicó agua destilada en la misma proporción de los tratamientos. La aplicación se realizó con una mochila MATABI con capacidad para 20 litros. A los 45 DDT se evaluó en cada parcela experimental, en un total de 30 plantas, la altura de la planta (AP, cm), longitud de la raíz (LR, cm), el número de frutos por plantas (NFP, unidad), el número de racimos por plantas (NRP, unidad), diámetro ecuatorial (DE, mm) y polar de los frutos (DP, mm), y el rendimiento agrícola (RA, t ha⁻¹) al final de la cosecha (145 DDT).

Análisis estadísticos

Se comprobó el cumplimiento de los supuestos teóricos de normalidad y homogeneidad de varianzas (Kolmogorov, 1933) y se realizó un análisis de varianza de clasificación doble, basado en un modelo lineal de efectos fijos (Fisher, 1937) para cada variable evaluada. Se empleó la prueba de comparación múltiple de Tukey para un nivel de significación del 1% (Tukey, 1960). Todos los análisis se desarrollaron mediante el uso del paquete estadístico profesional STATISTICA versión 14.0 para WINDOWS (StatSoft, 2014).

Comentarios Finales

Resumen de resultados

La aplicación de QuitoMax® tuvo un efecto positivo en el desarrollo de las plantas de tomate en condiciones de estrés por salinidad (Figura1). La aplicación del QuitoMax® incrementa tanto la longitud de la raíz como la altura de la planta (Figura 2) en ambas variedades y los tratamientos en los que se aplica el bioestimulante fue superior respecto al control con cero aplicaciones (T1 y T4).

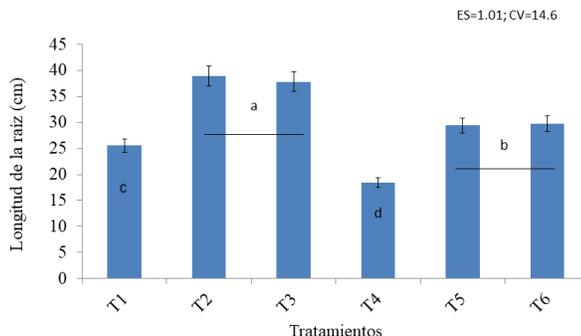


Figura 1. Longitud de la Raíz (LR) obtenidos al evaluar la combinación de cultivares de tomate y dosis de QuitoMax®. [T1- Vyta-0 mg ha⁻¹; T2-Vyta-300 mg ha⁻¹; T3-Vyta-400 mg ha⁻¹; T4-Campbell-0 mg ha⁻¹; T5-Campbell-300 mg ha⁻¹

y T6-Campbell-28-400 mg ha⁻¹]. Columnas con letras iguales no difieren significativamente por la prueba de comparación de Tukey para un nivel de significación del 1%. ES: error estándar. CV: coeficiente de variación.

La longitud de la raíz en la variedad Vyta mostró los mejores resultados al aplicar 300 mg ha⁻¹ con 29.4 cm (Figura 1), sin embargo, a 400 mg ha⁻¹ disminuyó. En la variedad Cambell-28 este indicador respondió al aumento de la concentración del bioestimulante, con diferencias significativas entre los tratamientos con bioestimulante ($p=0.00123$), con superioridad para la dosis de 400 mg ha⁻¹, obteniéndose valores de 24.6 cm (Figura 1). Estos resultados concuerdan con lo planteado por Malerba y Cerana (2016), quienes verificaron que se estimula la actividad de las enzimas relacionadas con la protección de oxidaciones biológicas causadas por la salinidad como la polifenoloxidasas, y la síntesis de metabolitos que tributan al desarrollo de las plantas.

Estos resultados se pueden explicar considerando que el quitosano, ingrediente activo de QuitoMax®, ha sido reconocido como un bioestimulante del crecimiento vegetal (Pichyangkura y Chadchawanb, 2015). También se ha reportado que ejercen diversos efectos beneficiosos en las plantas, tales como, la inducción de mecanismos defensivos y la estimulación del crecimiento vegetal, además de tener la ventaja de no ser dañinos a las plantas ni al medio ambiente (Terry et al., 2017). Por otra parte, Rodríguez-Pedroso et al. (2017) informaron que la aplicación de quitosano estimula el crecimiento del cultivo *Oryza sativa* L., con un aumento en la longitud de la raíz incluso en condiciones salinas, y que tal respuesta se relaciona con la mayor activación de los sistemas antioxidantes de las plantas.

La altura de la planta en la variedad Vyta mostró los mejores resultados al aplicar 300 mg ha⁻¹ con 58.4 cm (Figura 2), sin embargo, a 400 mg ha⁻¹ disminuyó. En la variedad Claudia el indicador altura de la planta respondió al aumento de la concentración del bioestimulante, con diferencias significativas entre los tratamientos con bioestimulante ($p=0.00123$), con superioridad para la dosis de 400 mg ha⁻¹, obteniéndose valores de 56.6 cm (Figura 2).

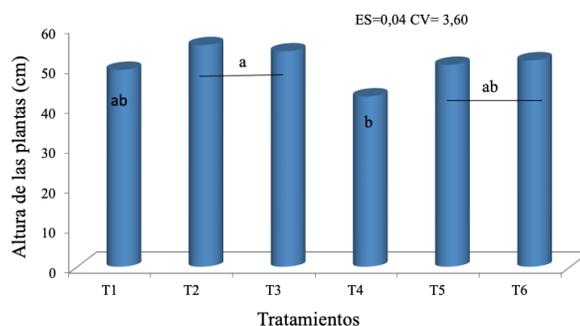


Figura 2. Altura de la planta (AP) obtenidos al evaluar la combinación de cultivares de tomate y dosis de QuitoMax®. [T1- Vyta-0 mg ha⁻¹; T2-Vyta-300 mg ha⁻¹; T3-Vyta-400 mg ha⁻¹; T4-Campbell-0 mg ha⁻¹; T5-Campbell-300 mg ha⁻¹ y T6-Campbell-28-400 mg ha⁻¹]. Columnas con letras iguales no difieren significativamente por la prueba de comparación de Tukey para un nivel de significación del 1%. ES: error estándar. CV: coeficiente de variación.

La respuesta obtenida podría estar relacionada con la variabilidad de la respuesta varietal ante estas condiciones de estrés abiótico. Estos resultados concuerdan con lo planteado por Malerba y Cerana (2016), que al evaluar el efecto de biostimulantes a base de quitosano verificaron que se estimula la actividad de las enzimas relacionadas con la protección de oxidaciones biológicas causadas por la salinidad como la polifenoloxidasas, y la síntesis de metabolitos que tributan al desarrollo de las plantas. Por otra parte, Molina et al. (2017) señala que las plantas tratadas con quitosano en una dosis de 350 mg ha⁻¹ presentan alturas mayores, con incrementos de altura hasta de 16,57% en comparación al control. El incremento en el área foliar es de gran importancia debido a que favorece una mayor asimilación de energía solar para el proceso de fotosíntesis y provocar una mayor producción de fotoasimilados (Bhargava y Khalatkar, 2004).

En las variables número de frutos por plantas (NFP) número de racimos florales (NRF) y número de frutos por planta (NFP) Se evidencia un efecto positivo al aplicar el bioestimulante, el tratamiento sin aplicación del bioestimulante muestra niveles inferiores a los que se le aplicó el QuitoMax® (Cuadro 1).

Tratamientos	NFP	NRF	NFrP
T1	38.14	10.98	30.46
T2	61.10	16.76	55.21

T3	55.38	13.00	45.46
T4	20.66	7.52	21.33
T5	29.66	9.58	39.73
T6	32.80	11.02	38.93

Cuadro 1. Efecto del QuitoMax® en el número de flores (NFP), número de racimos florales (NRF) y número de frutos por planta (NFP) de tomate.

Resultados similares reportaron, Ruiz et al. (2009), al observar un aumento en el número de racimos, frutos y en el rendimiento por planta, en ese mismo cultivar, al asperjar 10 mg ha⁻¹ del producto BB-16 a los 15 días DDT. Alarcón et al., (2011), señalaron una influencia positiva del BB-16 en el rendimiento de plantas de tomate cv. ‘Campbell-28’ con la concentración de 0,01 mg L⁻¹, en un suelo Fluvisol típico aunque en ambos casos sin la presencia de sales.

Al evaluar el número de racimos y frutos por plantas mostró los mayores valores en ambas variedades a la concentración de 300 mg ha⁻¹ y disminuyó al aumentar la concentración a 400 mg ha⁻¹, en el caso de la variedad Vyta significativamente (Cuadro 1). En la variedad Vyta se obtiene diferencia significativa entre todos los tratamientos y en la variedad Campbell-28 entre los tratamientos a 300 mg ha⁻¹ y 400 mg ha⁻¹ no se observaron diferencias significativas en las condiciones de estudio.

En la figura 3 se aprecia como la aplicación del bioestimulante QuitoMax® influyó positivamente en el diámetro polar de los frutos, en todos los casos los tratamientos con bioestimulantes fueron superiores al control. Al evaluar el diámetro polar en los frutos de la variedad Vyta se observa que los tratamientos aumentaron con respecto al control, en 6.66 mm y 11.86 mm en los tratamientos con concentraciones de 300 mg ha⁻¹ y 400 mg ha⁻¹ respectivamente, en la variedad Campbell-28 el comportamiento fue similar pero el incremento fue de 3.24 (300 mg ha⁻¹) y 4.46 (400 mg ha⁻¹).

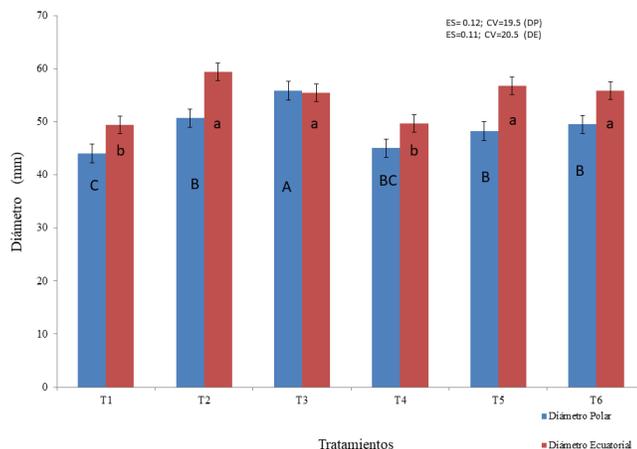


Figura 3. Diámetro polar (DP) y ecuatorial (DE) de los frutos obtenidos al evaluar la combinación de cultivares de tomate y dosis de QuitoMax®. [T1- Vyta-0 mg ha⁻¹; T2-Vyta-300 mg ha⁻¹; T3-Vyta-400 mg ha⁻¹; T4-Campbell-0 mg ha⁻¹; T5-Campbell-300 mg ha⁻¹ y T6-Campbell-28-400 mg ha⁻¹]. Columnas con letras iguales no difieren significativamente por la prueba de comparación de Tukey para un nivel de significación del 1%. ES: error estándar. CV: coeficiente de variación.

El diámetro ecuatorial y polar de los frutos determina el tamaño de estos, entre mayores sean esos valores mejor debe ser la respuesta productiva asociada con el tamaño y peso de los frutos de tomate. Dimas et al. (2009) al evaluar el uso de abonos orgánicos en la producción de tomate en invernadero encontraron que esta característica es también influenciada por los abonos empleados.

El rendimiento obtenido, demuestra que los tratamientos que se aplicó el QuitoMax®, presentan resultados superiores al control en ambas variedades, destacándose el tratamiento a concentración de 300 mg ha⁻¹ en la variedad Vyta, el cual difiere significativamente del resto (Figura 4). El tratamiento 300 mg ha⁻¹ en la variedad Vyta registró diferencia de 13.65 t ha⁻¹, con respecto al control de la misma variedad y 7.8 t ha⁻¹ al compararlo con el tratamiento a concentración de 400 mg ha⁻¹. En la variedad Campbell-28, se registró un aumento en los rendimientos de 11.36 t ha⁻¹ al aplicar 300 mg ha⁻¹ y de 3.73 t ha⁻¹ al compararlo con el control.

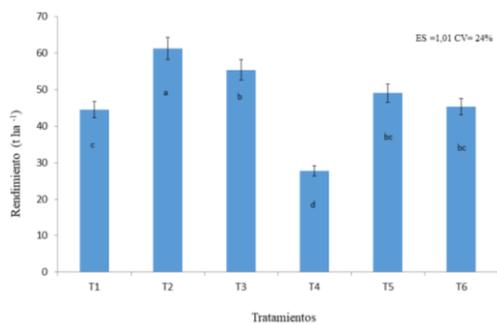


Figura 4. Rendimiento agrícola ($t\ ha^{-1}$) de los frutos obtenidos al evaluar la combinación de cultivares de tomate y dosis de QuitoMax®. [T1- Vyta-0 $mg\ ha^{-1}$; T2-Vyta-300 $mg\ ha^{-1}$; T3-Vyta-400 $mg\ ha^{-1}$; T4-Campbell-0 $mg\ ha^{-1}$; T5-Campbell-300 $mg\ ha^{-1}$ y T6-Campbell-28-400 $mg\ ha^{-1}$]. Columnas con letras iguales no difieren significativamente por la prueba de comparación de Tukey para un nivel de significación del 1%. ES: error estándar. CV: coeficiente de variación.

En el tratamiento 400 $mg\ ha^{-1}$ los rendimientos son inferiores que los registrados a concentraciones de 300 $mg\ ha^{-1}$ en ambas variedades, aunque solo en la variedad Vyta se muestran diferencias significativas ($p=0.00126$).

Al evaluar el QuitoMax® sobre el rendimiento de la variedad de tomate Amalia, Jiménez et al. (2015) demostraron que no existieron diferencias significativas entre los tratamientos donde se aplicaron las diferentes dosis de quitosano, pero estas concentraciones aplicadas sí difirieron del tratamiento control, efecto muy similar al obtenido en el presente estudio. Los resultados concuerdan con los reportados por varios autores que encontraron un efecto estimulante de QuitoMax® en papas (*Solanum tuberosum* L.) (Morales et al., 2015) y frijoles (*Phaseolus vulgaris* L.) (Morales et al., 2016), mostrando la mejora de la productividad en indicadores de estos cultivos cuando el QuitoMax® fue aplicado foliar en concentraciones similares a las utilizadas en este trabajo.

Aunque todas las variedades expresan un comportamiento inferior a su potencial de producción, la variedad Vyta con la dosis de 300 $mg\ ha^{-1}$ mostró los mejores indicadores económicos (datos no mostrados) y productivos, su rendimiento supera significativamente al resto de los tratamientos.

La reducción del rendimiento de los dos cultivares empleados puede ser explicado por la condición de estrés salino a la cual fueron sometidas en el presente trabajo. Es relatado en varios trabajos y en diferentes especies que el estrés salino influencia directamente el rendimiento y la calidad de los frutos de tomate (Alam et al., 2021, Chele et al., 2021). El uso del bioestimulante QuitoMax® minimizó el efecto perjudicial del suelo salino, permitiendo mayor producción asociada con la respuesta genética de cada cultivar con destaque para la cultivar Vyta.

Conclusiones

La aplicación del bioestimulante QuitoMax® tiene un efecto positivo en las variables evaluadas en el cultivo del tomate en condiciones de salinidad. Los mejores resultados se obtuvieron al aplicar la dosis de 300 $mg\ ha^{-1}$ independiente de la variedad de tomate evaluada. La aplicación de bioestimulante QuitoMax® en tomate que se establecen en suelos salinos a una $CE = 4\ dS\ m^{-1}$ eleva los rendimientos y los beneficios económicos del cultivo.

Referencias

- Abellón-Molina, M. I., M. D. G. Posada-Dacosta, K. Torres-Calzado, R. A. García-Reyes, J. A., Villazón-Gómez y E. C. Velázquez-Sánchez. "Remote Sensing of Salinity in Agroecosystem of Mayarí, at Holguín Province, Cuba". *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, Vol. 30, No. 1, 2021.
- Alam, M. S., M. Tester, G. Fiene y Mousa, M. A. A. "Early growth stage characterization and the biochemical responses for salinity stress in tomato". *Plants*, Vol. 10, No. 4, 2021.
- Alarcón, A., P. Barreiro, M. Godefroy y Boicet T. "Efecto del Biobras-16 en algunos indicadores del crecimiento y rendimiento del tomate, variedad 'Campbell-28'". *Revista Granma Ciencia*, Vol. 15, No. 2, 2011.
- Álvarez, M. "Claudia, Mercy y Mayle, tres nuevas variedades de tomate para el consumo fresco". *Cultivos tropicales*. Vol. 29, No.1, 2008.
- Bacha, H., M. Tekaya, S. Drine, F. Guasmi, L. Touil, H. Enneb, T. Triki, F. Cheour y A. Ferchichi. "Impact of salt stress on morpho-physiological and biochemical parameters of *Solanum lycopersicum* L. cv. Microtom leaves". *South African Journal of Botany*. Vol.108, 2017

- Bhargava, Y. R. y A.S. Khalatkar. "Improved performance of *Tectona grandis* seeds with gamma irradiation". *Seed Research in Horticulture*, Vol. 215, 2004.
- Carvalho, T. S. y A. C. P. Lima. "Mitigation of osmotic stress by *Serratia nematodiphila* in tomato seedlings". *Research, Society and Development*, Vol. 9, No. 10, 2020.
- Chele, K. H., P. Steenkamp, L. A. Piater, I. A. Dubery, J. Huyser y F. Tugizimana. "A global metabolic map defines the effects of a Si-based biostimulant on tomato plants under normal and saline conditions". *Metabolites*, Vol. 11 No. 12, 2021.
- Dimas, N. R, P. C. Ríos, U. F. Viamontes, E. F. Chavéz, A.M. Resendez, C. M. Hernández y P. P. Rangel. "Uso de abonos orgánicos en la producción de tomates en invernaderos". *Terra Latinoamericana*, Vol. 27, No. 4, 2009.
- FAOSTAT (2020). Dirección de internet: <https://www.fao.org/faostat/es/#compare>.
- Fisher, R.A. 1937. *The Design of Experiments*. Edinburgh, London: Oliver and Boyd.
- Hernández-Jiménez, A., J. M. Pérez-Jiménez, D. Bosch-Infante y N. C. Speck. "La clasificación de suelos de Cuba: énfasis en la versión de 2015". *Cultivos Tropicales*, Vol. 40, No.1, 2019.
- Jiménez, A. M. C., J.C. Terrero, L.G. González, I. Paz y A. Falcón. "Evaluación de la aplicación de quitosana sobre parámetros agronómicos del cultivo de tomate H-3108 (*Solanum lycopersicum* L.) en casas de cultivo". *Centro Agrícola*, Vol. 42, No. 3, 2015.
- Kolmogorov, A. "Sulla determinazione empirica di una legge di distribuzione". *Giornale dell'Istituto Italiano degli Attuari*, Vol. 4, 1933.
- Malerba, M. y R. Cerana. "Chitosan Effects on Plant Systems". *International Journal of Molecular Science*, Vol. 996, 2016.
- Molina, J., M. Colina, D. Rincón y J. Vargas. "Efecto del uso de quitosano en el mejoramiento del cultivo del arroz (*Oryza sativa* L. variedad sd20a)". *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, Vol. 8, No. 2, 2017.
- Morales, D., J. Dell Amico, E. Jerez, Y. Díaz, y R. Martín. "Efecto del QuitoMax® en el crecimiento y rendimiento del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.)". *Cultivos Tropicales*, Vol. 37, 2016.
- Morales, D., L. Torres, E. Jerez, A. Falcón, y J. Dell Amico. "Efecto del QuitoMax® en el crecimiento y rendimiento del cultivo de la papa (*Solanum tuberosum* L.)". *Cultivos Tropicales*, Vol. 36, 2015.
- Pichyangkura, R y S. Chadchawanb. "Bio-stimulant activity of chitosan in horticulture". *Science Horticulturae*. Vol. 196, 2015.
- Rodrigues, R. R., S. Cola, M. Pechara, R. Sales, R. Guarnier, D. Pureza, I. Martins, J. Nogueira y S.de Araújo. "Tomato cultivation in a protected environment under different soil water tensions". *Research, Society and Development*, Vol. 9, No. 11, 2020
- Rodríguez-Pedroso, A., M. Ramírez-Arrebató, A. Falcón-Rodríguez, S. Bautista-Baños, E. Ventura-Zapata y Y. Valle-Fernández. "Efecto del QuitoMax® en el rendimiento y sus componentes del cultivar de arroz (*Oryza sativa* L.) var. INCA LP 5". *CultivosTropicales*, Vol. 38, No. 4, 2017.
- Ruiz, J., T. Tejada, E. Terry y M. M. Díaz. "Aplicación de bioproductos a la producción ecológica de tomate". *Cultivos Tropicales*, Vol. 30, No. 3, 2009.
- StatSoft. STATISTICA 13.3. StatSoft Incorporation Version 13.3. 2009.
- Terry, E., A. Falcón, J. Ruiz, Y. Carrillo y H. Morales. "Respuesta agronómica del cultivo de tomate al bioproducto QuitoMax®". *Cultivos Tropicales*, Vol. 38, No. 1, 2017.
- Tukey, J.W. "A survey of sampling from contaminated distributions". In: Olkin, I., (ed). *Contribution to probability and statistics: essays in honor to Harold Hotelling*. Redwood City, Stanford University Press. 1960.
- Vázquez-Glaría, A., B. Eichler-Löbermann, F. G. Loiret, E. Ortega y M. Kavka. "Root-system architectures of two Cuban rice cultivars with salt stress at early development stages". *Plants*, Vol. 10, No. 6, 2021.
- Zádorová, T., J. Skála, D. Žížala, A., Vaněk y V. Penížek. "Harmonization of a large-scale national soil database with the World Reference Base for Soil Resources". *Geoderma*, Vol. 384, 2021.

Notas Biográficas

El **MSc. Carlos Avila Amador** es profesor del Departamento de Agronomía en la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad de Granma (UDG), Cuba. Desarrolla el doctorado en temáticas vinculadas al estrés abiótico.

El **Dr. Leandris Argente Martínez** es profesor-investigador del Departamento de Ingenierías del Tecnológico Nacional de México campus Valle del Yaqui. Se dedica al estudio del efecto del estrés abiótico sobre las especies vegetales en agroecosistemas perturbados.

La **Dra. Ofelda Peñuelas Rubio** es profesora-investigadora del Departamento de Ingenierías del Tecnológico Nacional de México campus Valle del Yaqui. Desarrolla la línea de investigación sobre el estudio de las relaciones microbiota-plantas en agroecosistemas perturbados.

El **M.C. Julio César García Urias** es profesor del Departamento de Ingenierías del Tecnológico Nacional de México campus Valle del Yaqui y desarrolla estudios relacionados con Agroecología y Desarrollo sustentable.

El **M. C. José Aurelio Leyva Ponce** es profesor del Departamento de Ingenierías del Tecnológico Nacional de México campus Valle del Yaqui y se dedica a la producción de plántulas de interés agroindustrial.

El **Dr. Raúl Carlos López Sánchez** es profesor investigador del Centro de Estudios de Biotecnología Vegetal en la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad de Granma, Cuba. Investiga en temáticas vinculadas al estrés abiótico.

Análisis Numérico de la Influencia de las Protuberancias Esféricas en la Eficiencia Aerodinámica de un Perfil 2D de Turbina Eólica a números de Reynolds Bajos

Ing. David Alexandr Benavides Zadorozhna¹, Dra. Olena Benavides²,
Dr. Juan Manuel Tadeo Sierra Grajeda³ y Dra. Sandra Jazmín Figueroa Ramírez⁴

Resumen—Este estudio se enfoca en evaluar el rendimiento de perfiles alares con tubérculos en números de Reynolds bajos. La mayoría de la energía eólica se produce actualmente en sitios de alta velocidad de viento por medio de grandes turbinas eólicas, mientras que las pequeñas turbinas eólicas a menudo operan en condiciones de viento ligero. Estas últimas experimentan una serie de problemas únicos. El objetivo de este estudio es determinar el efecto de la amplitud de los tubérculos en el rendimiento aerodinámico de un perfil alar en números de Reynolds bajos. Un estudio de simulación 2D detallado se lleva a cabo, utilizando un software de dinámica de fluidos computacional y el modelo de turbulencia sst k-omega calibrado, para obtener los coeficientes aerodinámicos y las características de flujo. Los resultados indican que los pequeños tubérculos funcionan mejor en general que los tubérculos más grandes.

Palabras clave—Simulación numérica, aerodinámica, spheric tubercles, dispositivos de control de flujo pasivos.

Introducción

Los dispositivos de control de flujo surgen de la necesidad de manipular un campo de flujo para lograr un objetivo de diseño específico. Estos dispositivos se clasifican como pasivos si no requieren entrada de energía adicional y activos si necesitan energía adicional para funcionar. Los dispositivos de control de flujo pasivo modifican la forma geométrica del ala para manipular el gradiente de presión. Los tubérculos son protuberancias redondas en el borde de ataque que alteran el campo de flujo alrededor de un ala. Estos son clasificados como dispositivos de control de flujo pasivo. Además de los tubérculos, también se han estudiado otros dispositivos de control de flujo pasivo como extensiones en el borde de ataque serraciones en la superficie de presión, generadores de vórtices turbuladores, flaps y revestimientos flexibles. En contraste, el control activo implica el uso de energía adicional para operar dispositivos como actuadores, que suelen ser más complejos y menos efectivos desde un punto de vista económico, pero ofrecen ventajas en términos de rendimiento sobre los métodos de control pasivo (Hansen et al., 2011).

Se ha sugerido que los tubérculos en las aletas de ballena jorobada funcionan como dispositivos de mejora de sustentación. Según varios investigadores, el mecanismo responsable de la mejora del rendimiento aerodinámico se atribuye a la formación de vórtices a lo largo del flujo, lo que aumenta el intercambio de momentum en la capa límite (Custodio, 2007; Johari et al., 2007; Miklosovic et al., 2004; Pedro and Kobayashi, 2008). Esto puede llevar a mejoras en el rendimiento del ala, como el mantenimiento de la adherencia del flujo para una mayor gama de ángulos de ataque, retraso del punto de paro y un coeficiente máximo de elevación más alto con penalizaciones mínimas de arrastre. Se han sugerido otros mecanismos, como propiedades desiguales de separación (Fish and Lauder, 2006, Johari et al., 2007; Pedro and Kobayashi, 2008; van Nierop et al., 2008), alteración de la distribución de presión sobre la superficie del ala (van Nierop et al., 2008) y sustentación por vórtices (Miklosovic and Murray, 2007). Además, se ha planteado que la incorporación de tubérculos podría reducir el ruido.

A menudo, las turbinas eólicas pequeñas funcionan en condiciones de viento ligero, donde la hoja de la turbina experimenta un número de Reynolds bajo ($Re < 500,000$) y, por lo tanto, la capa límite sobre gran parte del lado de succión (superficie superior del perfil) es laminar y no puede superar el fuerte gradiente de presión adverso (Marty, 2014). Por lo tanto, la capa límite puede separarse y crear una burbuja de separación laminar (LSB) donde se desencadena la transición del flujo laminar al turbulento (Marty, 2014). Una vez que se alcanza la transición a la turbulencia, el flujo se vuelve a adherir a la superficie, pero en algunos escenarios, el flujo separado puede no ser capaz de volver a adherirse a la superficie y esto puede llevar a un paro (“stall”) temprano (Karasu et al., 2018). Por lo tanto, se podrían utilizar los tubérculos para aumentar la sustentación antes del paro y generar más energía en estas

¹ El Ing. David Alexandr Benavides Zadorozhna es Estudiante de Maestría en Materiales y Energía, Cd. Del Carmen, Campeche. 120134@mail.unacar.mx

² La Dra. Olena Benavides es Profesora Investigadora en la Universidad Autónoma del Carmen (UNACAR), Cd. Del Carmen, Campeche. obenavides@pampano.unacar.mx

³ El Dr. Juan Manuel Tadeo Sierra Grajeda es Profesor Investigador en la UNACAR, Cd. Del Carmen, Campeche. jsierra@pampano.unacar.mx

⁴ La Dra. Sandra Jazmín Figueroa Ramírez es Profesora Investigadora de la UNACAR, Cd. Del Carmen, Campeche. sfigueroa@pampano.unacar.mx

situaciones. Ya se han realizado mediciones en turbinas eólicas con tubérculos y se ha indicado que hay un potencial para un aumento substancial en la producción de energía eléctrica, lo que conduce a una mayor producción de energía anual. Los estudios antecedentes al presente tienen requisitos experimentales bastante sustanciales. Para obtener mediciones más precisas de flujos más sensibles y de menor escala, se necesita añadir instrumentación más fina y aumentar la complejidad del flujo, lo que puede generar errores experimentales adicionales. Por lo tanto, los métodos de experimentación numéricos surgen como alternativas viables a la experimentación. Las simulaciones numéricas son más accesibles, prácticas, sistemáticas y confiables.

El objetivo de este estudio es evaluar el rendimiento de los perfiles de borde de ataque con tubérculos esféricos en números de Reynolds bajos ($Re = 300.000$ y 400.000) mediante la dinámica de fluidos computacional. Se lograron mejoras en las relaciones lift-to-drag para tubérculos de tamaño pequeño y mediano en los números de Reynolds estudiados. Estos hallazgos respaldan el hecho de que los perfiles de borde de entrada con tubérculos podrían tener una aplicación práctica en pequeñas turbinas eólicas.

Metodología y Modelado

En esta sección se discute la creación de la geometría, la configuración del dominio, y el modelo de transición y turbulencia. Un perfil establecido y confiable dentro de la industria de la energía eólica es el perfil aerodinámico DU93W210 (coordenadas proporcionadas por (Tang, 2012)), el cual tendrá la nomenclatura A0. Las amplitudes propuestas para los tubérculos esféricos se definen en términos de la longitud de la cuerda, y sus nomenclaturas son: $A1 = 0,005c$, $A2 = 0,01c$ y $A3 = 0,03c$ donde la longitud de la cuerda es $0,6135$ m.

Diseño del dominio

Se crea un dominio rectangular alrededor del perfil aerodinámico con un ancho igual al ancho del perfil. Los límites de entrada y salida se mantienen a una distancia de $10c$ ($-x$) y $12c$ (x) del borde de ataque del perfil. El dominio se extiende $10c$ por encima y por debajo del perfil para evitar efectos de confinamiento. Una malla triangular se genera alrededor del perfil aerodinámico con zonas de refinamiento alrededor del perfil y hacia el flujo que sale de la cola del perfil. La capa de inflación alrededor del perfil aerodinámico se creó con el método “first cell height method”, donde el valor y^+ deseado se estableció en $0,4$ para capturar la subcapa viscosa. Adicionalmente, el valor y^+ deseado se mantiene igual para todos los ángulos de ataque porque el valor y^+ calculado no supera el criterio $y^+ \sim 1$. El método de altura de la primera celda utiliza el número de Reynolds basado en las escalas características de la geometría para calcular el coeficiente de fricción de la pared C_f . Por ello es importante definir las escalas características de la geometría, en este caso sería la longitud de la cuerda del perfil aerodinámico; $L = 0,6135$ m.

El proceso para calcular y definir el valor de y^+ se describe a detalle en la literatura (Leading Engineering Application Providers, 2013). La altura de la primera capa se establece en $1,8335 \times 10^{-5}$ m, y para mantener la relación de aspecto por debajo de 50 , el perfil aerodinámico se divide en elementos de $0,0009166$ m. Se crearon treinta capas de inflación alrededor del perfil aerodinámico. La calidad de malla lograda a través de este proceso es casi la misma para todos los modelos. Los parámetros a evaluar son: la oblicuidad promedio, la relación de aspecto y la calidad ortogonal para cada perfil aerodinámico en un ángulo de ataque de 0° . De acuerdo con la literatura presentada en Fluent (2009a), la calidad de la malla es excelente. El número de elementos es el orden $2.5 - 2.6 \times 10^6$, el número de nodos $1.27 - 1.35 \times 10^6$, la calidad de oblicuidad promedio es del orden 8×10^{-2} , la calidad de relación de aspecto es de 1.42 y, finalmente, la calidad ortogonal es de 0.95 .

Modelado del fenómeno de transición y de la turbulencia

Desarrollado por Menter et al. (2006) y Langtry et al. (2006b, c) el modelo de turbulencia Transition SST $k - \omega$ se usa para modelar flujos turbulentos donde una proporción significativa de la capa límite es laminar, esto es muy importante para aplicaciones aerodinámicas en números de Reynolds moderados Re ($\sim 10^5$). En este régimen del número de Reynolds, una proporción significativa de la capa límite es laminar y tiene un efecto sobre la solución. El modelado de los flujos de transición y la región del flujo laminar cerca de la pared es de particular importancia para la industria de la energía eólica, porque las palas de los aerogeneradores dependen del rendimiento aerodinámico de las superficies aerodinámicas. Si el perfil aerodinámico se optimiza para operar en números de Reynolds bajos, eso podría conducir a un aumento en la producción de energía eléctrica, lo que conduciría a una mayor producción anual de energía (Mauro et al., 2017). El modelo Transition SST $k - \omega$ se desarrolló teniendo en cuenta estas necesidades. Trabajos previos de han demostrado una precisión excelente del modelo de turbulencia $k - \omega$ de transición SST de cuatro ecuaciones. La formulación se basa en el conocido modelo de turbulencia SST $k - \omega$ con dos ecuaciones de transporte adicionales. La primera es la ecuación de transporte de intermitencia γ (ecuación (1)), que se utiliza para desencadenar el proceso de transición. El término de producción P_γ (Ec. (2)), controla la longitud de la región de

transición, y el término de disipación D_γ , disipa las fluctuaciones de intermitencia, permitiendo que la capa límite se vuelva laminar nuevamente.

$$\frac{\partial(\rho\gamma)}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho U\gamma) = \nabla \cdot \left(\left(u + \frac{u_t}{\sigma_\gamma} \right) \nabla_\gamma \right) + P_\gamma - D_\gamma$$

$$P_{\gamma,1} = F_{length} c_{a1} \rho S (\gamma F_{onset})^{c_a} (1 - c_{e1} \gamma)$$

$$F_{onset1} = \frac{Re_v}{2.193 Re_{\theta c}}$$

La segunda es la ecuación de transporte para el número de Reynolds del espesor del impulso de transición (Ec. (5)), esta ecuación define un número de Reynolds de transición basado en el espesor del momento. La formulación del modelo Transition SST $k - \omega$ se presenta ampliamente en Langtry et al. (2006b, c) y Langtry y Menter (2005), por lo tanto, solo se discute una breve revisión sobre lo que es de particular interés para este trabajo.

$$\frac{\partial(\rho \overline{Re}_{\theta,t})}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho U \overline{Re}_{\theta,t}) = \nabla \cdot \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_{\theta,t}} \right) \nabla \overline{Re}_{\theta,t} \right] + P_{\theta t}$$

$$P_{\theta t} = 0.03 \frac{\rho}{t} (Re_{\theta,t} - \overline{Re}_{\theta,t}) (1 - F_{\theta,t})$$

Dado que las ecuaciones de transporte propuestas no modelan la física de la transición, se incluye el término fuente para obligar a $\overline{Re}_{\theta,t}$ a tomar el valor empírico de $Re_{\theta,t}$, en todas partes del flujo excepto en la capa límite, porque la fuente allí está apagada. $F_{\theta,t}$ es igual que la función de mezcla en el modelo de turbulencia SST $k - \omega$. Donde $F_{\theta,t} = 0$ en la corriente libre y $F_{\theta,t} = 1$ cerca de la pared. El número de Reynolds basado en el espesor del impulso es una medida de la distancia desde el borde de ataque del perfil aerodinámico hasta cierto punto en la superficie del perfil aerodinámico. Además, como el número de Reynolds es una medida de distancias, habrá un número de Reynolds en el que se produzca la transición y esto se denota por $Re_{\theta,t}$. En un cierto número de Reynolds basado en el grosor del impulso desde el borde de ataque, las fluctuaciones comenzarán a ocurrir, esta cantidad está dada por $Re_{\theta c}$. El sufijo c , es para el número de Reynolds en el que comienzan las fluctuaciones turbulentas (número de Reynolds crítico), y esto es antes de que ocurra la transición. Se necesita el uso de relaciones empíricas confiables (términos fuente) para calcular con precisión los valores locales de $Re_{\theta c}$ y $Re_{\theta,t}$. El hecho de que el modelo de turbulencia se base en relaciones empíricas lo hace adecuado para la simulación de superficies aerodinámicas con números de Reynolds bajos, si se proporcionan los valores apropiados (Langtry y Menter, 2005). Además, la literatura científica demostró que, el uso de modelos de turbulencia de transición, a números de Reynolds bajos (Aftab y Ahmad, 2017; Benini y Ponza, 2010), es esencial para obtener un modelo CFD adecuado de los comportamientos aerodinámicos del perfil aerodinámico y del rotor. Además, un estudio CFD realizado por Mauro et al. (2017) demuestra una concordancia excepcional entre los datos experimentales y los resultados de la simulación del modelo de turbulencia calibrado Transition SST $k - \omega$. La calibración de los parámetros de correlación local $Re_{\theta c}$ y F_{length} se logró a través de un algoritmo micro-genético. La calibración correcta de estos parámetros permite una predicción precisa del estancamiento y la separación del flujo, así como la obtención de coeficientes de sustentación y arrastre confiables que se pueden usar en modelos 2D CFD. Los autores afirman que las correlaciones locales calibradas pueden usarse para la simulación de otras superficies aerodinámicas dentro del rango de los números de Reynolds 300.000 y 1 millón. Esto, por lo tanto, le dará a este trabajo un respaldo experimental. $Re_{\theta c}$ y F_{length} para un número de Reynolds dado se pueden definir como (Mauro et al., 2017):

$$Re_{\theta c} = 3.9592e^{-16} Re^3 - 9.598e^{-9} Re^2 + 6.884e^{-4} Re + 984.0408$$

$$F_{length} = 1.7808e^{-15} Re^3 - 2.1514e^{-9} Re^2 + 8.132e^{-4} Re - 91.2135$$

Configuración del solucionador CFD

Se utilizó un software de simulación comercial para llevar a cabo un análisis de estado estacionario para ángulos de ataque de $0^\circ - 15^\circ$ (en pasos de 2°), considerando el modelo de transición SST $k - \omega$. El modelo Transition SST $k - \omega$ ha sido bien probado y diseñado para aplicaciones aerodinámicas de bajo número de Reynolds. Se eligió el modelo Transition SST $k - \omega$ sobre los otros modelos de turbulencia debido a su capacidad para predecir con precisión la velocidad de la capa límite y la separación de la capa límite. Los modelos de número de Reynolds bajos también son necesarios para cálculos precisos de caída de presión o arrastre. Los números de Reynolds estudiados en este trabajo son 300.000 y 400.000. Por lo tanto, la velocidad de entrada se establece en 7 m/s y 9,5 m/s respectivamente. Para todas las simulaciones, el solucionador se configuró como un esquema de algoritmo ACOPLADO basado en la presión y de estado estable con una formulación de velocidad absoluta. El fluido se define como aire con densidad equivalente a 1.225 kg/m^3 y, viscosidad dinámica $\mu = 1.7894 \times 10^{-5} \frac{N \cdot s}{m^2}$. La intensidad de turbulencia (TI = 0,1%) y la relación de viscosidad turbulenta (TVR = 10) se definieron a través de la frontera de

velocidad. Este TI más bajo corresponde al de un túnel de viento típico de bajo nivel de turbulencia e implica un mecanismo de transición natural o inducido por separación, según Langtry y Menter (2005) y Langtry et al. (2006a). Se usó un esquema basado en celdas de mínimos cuadrados para la discretización espacial del gradiente, mientras que los esquemas contra el viento de segundo orden se usaron para las ecuaciones de presión, impulso y turbulencia. En el solucionador de acoplamiento de estado estable, el número de Courant permite el control del paso de tiempo de sub-iteración. En otras palabras, incluso si se utiliza el solucionador de estado estable, se realiza una sub-iteración transitoria y la escala de tiempo de la simulación se puede adaptar a la escala de tiempo de flujo. En condiciones de flujo apegado, el número de Courant se fijó en 25. En AoAs $> 10^\circ$ se notó la inestabilidad generada por el paro y los vórtices. En estas condiciones, el número de Courant debe reducirse para adaptar la escala temporal de tal manera que se pueda obtener un promedio exacto de los coeficientes de sustentación y arrastre. Un criterio de convergencia de $O(4)$ en todos los residuales de las variables dependientes se acepta como adecuado para la presente simulación de perfil aerodinámico. Para proporcionar los parámetros de correlación locales F_{length} y $Re_{\theta c}$, se escribió e interpretó una función definida por el usuario (UFD) en lenguaje C.

Resultados y discusión

Resumen de resultados

El comportamiento de los perfiles del borde de ataque del tubérculo esférico es consistente con los resultados anteriores (Aftab y Ahmad, 2017; Johari et al., 2007). Como se anticipó, los tubérculos pequeños funcionan de manera más eficiente en general que los tubérculos con amplitudes más grandes. El perfil aerodinámico A1 mostró una mejora menor en la relación de elevación a arrastre de AoA 0° – 4° a un número de Reynolds de 300,000 (Figura 1a). Sin embargo, pasado el AoA 4° , las mejoras se vuelven menos notorias y en AoA 6° , el rendimiento aerodinámico comienza a deteriorarse. El perfil aerodinámico A3 mostró la mayor mejora en un ángulo de ataque de 0° , con un aumento del 12,86 % en la relación sustentación-resistencia; más allá de este ángulo de ataque, el perfil aerodinámico sufre un deterioro significativo en el rendimiento aerodinámico. El perfil aerodinámico A2 no muestra mejoras significativas en la relación sustentación-resistencia y, en cambio, experimenta una disminución general en el rendimiento aerodinámico para todos los ángulos de ataque. Tenga en cuenta que los tubérculos anticipan el punto máximo de relación sustentación-resistencia y no retrasa el ángulo de paro en este caso. El punto máximo de relación sustentación-resistencia para el perfil aerodinámico no modificado está en AoA 8° , mientras que para A1 la relación máxima sustentación-resistencia está en AoA 6° , y para A2 y A3 en AoA 4° . Esto está en buena concordancia con Johari et al. (2007) y Miklosovic et al. (2004) los perfiles aerodinámicos TLE tienen ángulos de paro más bajos y coeficientes de sustentación máxima más bajos que sus versiones no modificadas. Los datos del perfil aerodinámico A1 siguen un patrón y sugieren que los tubérculos no intrusivos tienen una pequeña reducción en el coeficiente de sustentación, pero una disminución significativa en el arrastre. Conclusiones similares se pueden obtener al analizar la relación sustentación-arrastre cuando $Re = 400,000$ (Figura 1b).

El análisis de los contornos de presión estática e intermitencia reveló que el tipo de arrastre que tiene un impacto más significativo en este caso es el arrastre de presión. Observe la Fig. 2 (a1) y (a2), a medida que el fluido pasa sobre la superficie de la esfera del perfil aerodinámico A3, inicialmente acelera y, por lo tanto, la presión disminuye en la dirección del flujo. Más allá de cierto punto, el flujo comienza a desacelerarse y, por lo tanto, la presión en la dirección del flujo aumenta; este aumento de presión se denomina gradiente de presión adverso y tiene un efecto significativo en el flujo cerca de la pared. La turbulencia producida por el tubérculo promueve el intercambio de momento entre las capas límite y es por eso que el perfil aerodinámico A3 logra un aumento del 3,31 % en el coeficiente de sustentación en AoA 0° . A medida que aumenta el ángulo de ataque, la presión y la resistencia inducida se vuelven más notorias en la Fig. 2 (b1) y (b2). Si el aumento de presión es lo suficientemente grande, el flujo invertirá la dirección y, dado que no puede viajar hacia atrás, debido al fluido que se aproxima, se desprende de la superficie, lo que provoca la separación del flujo (Houghton et al., 2017). Esto explica por qué el perfil aerodinámico A3 experimenta un aumento tan drástico en la resistencia más allá de AoA 0° . Nótese en la Fig. 2 (a2) que la capa de flujo laminar se mantiene adherida a la superficie superior del perfil aerodinámico, mientras que a un ángulo de ataque de 8° Fig. 2 (b2), los vórtices producen tanta turbulencia que logran romper la capa de flujo laminar, lo que resulta en la separación del flujo.

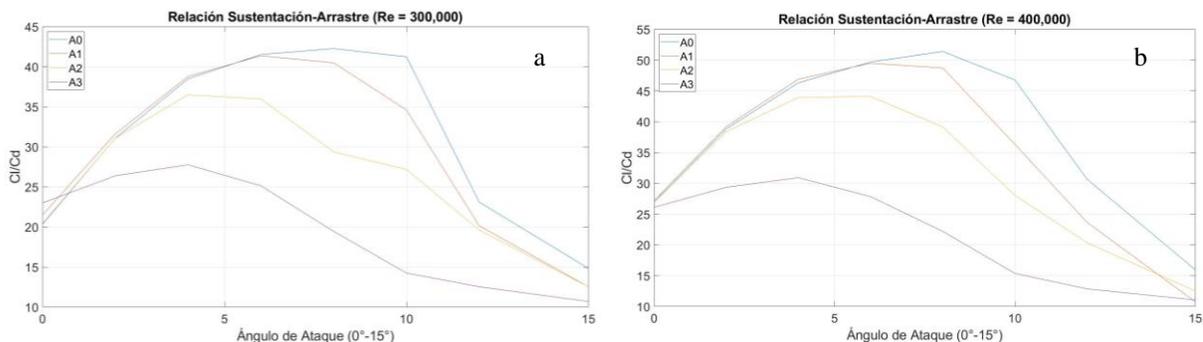


Figura 1. Coeficiente de sustentación-arrastré a) $Re=300,000$ y b) $Re=400,000$.

El tubérculo en el perfil aerodinámico A1 distribuye las fuerzas de presión de tal manera que engrosa la capa límite laminar de AoA $0^\circ - 8^\circ$. Sin embargo, esto se vuelve menos perceptible a medida que aumenta el ángulo de ataque. Debido a la turbulencia producida por el tubérculo, la capa de flujo laminar se rompe y el flujo se vuelve inestable.

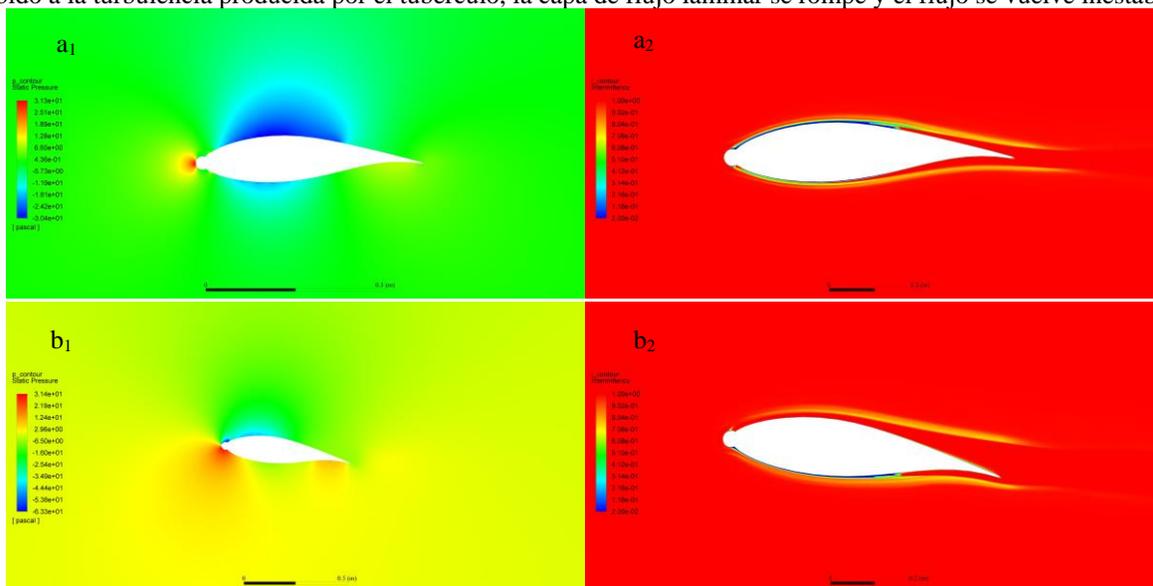


Figura 2. Contornos de presión e intermitencia para el perfil A3 a) $AoA 0^\circ$ y b) $AoA 8^\circ$.

Conclusiones

Este artículo investigó el rendimiento aerodinámico de los perfiles con tubérculos esféricos en los bordes de ataque mediante el análisis numérico de tres amplitudes diferentes y la comparación con el perfil aerodinámico no modificado. Los números de Reynolds estudiados en este trabajo son $Re = 3 \times 10^5$ y $Re = 4 \times 10^5$. El modelo de turbulencia Transition SST $k - \omega$ se utilizó para modelar la turbulencia debido a su capacidad para predecir con precisión la separación del flujo en el régimen de número de Reynolds bajo, y los parámetros de correlación local F_{length} y Re_{θ_c} , se definieron con las funciones polinómicas dadas por el trabajo de Mauro et al. (2017). Los tubérculos de amplitud más pequeña funcionan mejor en general que los más grandes, pero su eficiencia general no supera la superficie aerodinámica no modificada. La mejora de la relación sustentación-resistencia se atribuye a la reducción de la resistencia a la fricción superficial. Los contornos de presión estática, la tensión de cizallamiento de la pared y los contornos de intermitencia sugieren que la reducción del arrastre por fricción superficial es causada por una distribución de presión más favorable alrededor del perfil aerodinámico. La distribución correcta de la presión permite una capa límite laminar más gruesa, lo que a su vez ayuda a reducir el arrastre por fricción de pared. Nuestro trabajo claramente tiene algunas limitaciones, ya que en este artículo solo se estudió una parte del efecto completo del tubérculo. A pesar de esto, creemos que nuestro trabajo podría ser la base para desarrollar métodos de optimización de la forma y el tamaño de los tubérculos al proporcionar bases de datos precisas de coeficientes aerodinámicos de superficies aerodinámicas 2D con bordes de ataque con tubérculos esféricos.

Recomendaciones

Los trabajos futuros se pueden centrar en el rendimiento de los tubérculos en palas de turbinas eólicas pequeñas comerciales. En dicho estudio se deberán tener en cuenta los efectos tridimensionales.

Referencias

- Aftab, S., Ahmad, K.A., 2017. CFD study on NACA 4415 airfoil implementing spherical and sinusoidal Tubercle Leading Edge. *PLoS One* 12 (8), e0183456. <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0183456>
- Benini, E., Ponza, R., Laminar to turbulent boundary layer transition investigation on a supercritical airfoil using the γ - θ Transitional Model 40th Fluid Dynamics Conference and Exhibit, 28 June-1 2010, Chicago, Illinois, AIAA 2010-4289.
- Custodio, D., 2007. The Effect of Humpback Whale-Like Leading Edge Protuberances on Hydrofoil Performance (M.S. Thesis). Worcester Polytechnic Inst., Worcester, MA.
- Fish, F.E., Battle, J.M., 1995. Hydrodynamic design of the humpback whale flipper. *J. Morphol.* 225, 51–60. <http://dx.doi.org/10.1002/jmor.1052250105>.
- Fish, F.E., Lauder, G.V., 2006. Passive and interactive flow control by swimming fishes and mammals. *Annu. Rev. Fluid Mech.* 38, 193–224.
- Fluent, 2009a. ANSYS FLUENT 12.0 Theory Guide. ANSYS Inc., Section 6.2.2 Mesh Quality.
- Hansen, K.L., Kelso, R.M., Dally, B.B., 2011. Performance variations of leadingedge tubercles for distinct airfoil profiles. *AIAA J.* 49 (1), 185–194. <http://dx.doi.org/10.2514/1.j050631>.
- Houghton, E.L., Carpenter, P.W., Collicott, Steven H., Valentine, Daniel T., 2017. Chapter 1 - Basic concepts and definitions. In: Houghton, E.L., Carpenter, P.W., Collicott, Steven H., Valentine, Daniel T. (Eds.), *Aerodynamics for Engineering Students*, seventh ed. Butterworth-Heinemann, ISBN:9780081001943, pp. 1–86. <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-08-100194-3.00001-8>.
- Johari, Hamid, Henoah, Charles, Custodio, Derrick, Levshin, Alexandra, 2007. Effects of leading-edge protuberances on airfoil performance. *AIAA J.* 45, 2634–2642. <http://dx.doi.org/10.2514/1.28497>.
- Karasu, İ., Özden, M., Genç, M.S., 2018. Performance assessment of transition models for three-dimensional flow over NACA4412 wings at low Reynolds numbers. *ASME J. Fluids Eng.* 140 (12), 121102. <http://dx.doi.org/10.1115/1.4040228>.
- Langtry, Robin, Gola, Janusz, Menter, Florian, 2006a. Predicting 2D airfoil and 3D wind turbine rotor performance using a transition model for general CFD codes. In: 44th AIAA Aerospace Sciences Meeting and Exhibit. AIAA 2006-395.
- Langtry, Robin, Menter, Florian, 2005. Transition modeling for general CFD applications in aeronautics. In: AIAA 2005-522 43rd AIAA Aerospace Sciences Meeting and Exhibit.
- Langtry, R.B., Menter, F.R., Likki, S.R., Suzen, Y.B., Huang, P.G., Volker, S., 2006b. A correlation-based transition model using local variables – Part I: model formulation In: Vienna, ASME Paper No. ASME-GT2004-53452.
- Langtry, R.B., Menter, F.R., Likki, S.R., Suzen, Y.B., Huang, P.G., Volker, S., 2006c. A correlation-based transition model using local variables – Part II: test cases and industrial applications. *ASME J. Turbomach.* 128 (3), 423–434.
- Leading Engineering Application Providers, 2013. Tips & Tricks: Estimating the first cell height for correct Y+. Available at: <https://www.computationalfluidynamics.com.au/tips-tricks-cfd-estimate-first-cellheight/>.
- Marty, J., 2014. Numerical investigations of separation-induced transition on high-lift low-pressure turbine using RANS and LES methods. *Proc. Inst. Mech. Eng. A* 39, ff. <http://dx.doi.org/10.1177/0957650914548741ff>, fhal01080267f.
- Mauro, S., Lanzafame, R., Messina, M., et al., 2017. Transition turbulence model calibration for wind turbine airfoil characterization through the use of a Micro-Genetic Algorithm. *Int. J. Energy Environ. Eng.* 8, 359–374. <http://dx.doi.org/10.1007/s40095-017-0248-2>.
- Miklosovic, D.S., Murray, M.M., 2007. Experimental evaluation of sinusoidal leading edges. *J. Aircr.* 44, 1404–1407.
- Miklosovic, D.S., Murray, M.M., Howle, L.E., Fish, F.E., 2004. Leading edge tubercles delay stall on humpback whale flippers. *Phys. Fluids* 16 (5), L39–L42. <http://dx.doi.org/10.1063/1.1688341>.
- Pedro, H.T.C., Kobayashi, M.H., 2008. Numerical study of stall delay on Humpback whale flippers. In: Proceedings of 46th AIAA Aerospace Sciences Meeting and Exhibit, 7-10th January, Reno, Nevada.
- Tang, Xinzi, 2012. Aerodynamic Design and Analysis of Small Horizontal Wind Turbine Blades (Ph.D. thesis). University of Central Lancashire, UK, Available at: <http://clou.uclan.ac.uk/7127/1/Tang%20Xinzi%20Final%20eThesis%20%28Master%20Copy%29.pdf>.
- van Nierop, Ernst, Alben, Silas, Brenner, Michael, 2008. How bumps on whale flippers delay stall: An aerodynamic model. *Phys. Rev. Lett.* 100, 054502

Sistema de Control Basado en Lógica Difusa para Inferir el Grado de Calidad de un Producto Comestible

Sarahi Camargo Carmona LIC.¹, Dra. Ana Dinora Guzmán Chávez²,
y Dr. Everardo Vargas Rodríguez³

Resumen—En este trabajo se propuso un sistema de control basado en lógica difusa para lograr inferir el grado de calidad de un producto comestible (pizza) elaborado en una microempresa de Yuriria, tomando como variables de entrada: Cantidad de Queso, Cantidad de Ingredientes y Tiempo de Cocción. El sistema de inferencia difusa que se utilizó fue el Mamdani, con el cual se logró un coeficiente de determinación de 97.65. Finalmente, se generó una propuesta para el sistema de control de calidad con un sistema de control difuso de lazo cerrado.

Palabras clave—lógica difusa, control, microempresa, calidad.

Introducción

La calidad de un producto es un factor indispensable para la competitividad de una empresa, por lo que contar con un sistema que permita mantener la calidad del mismo es importante para satisfacer las necesidades y exigencias del consumidor final y mantener en el mercado a la empresa. En la actualidad es necesario cumplir con estándares de calidad para poder competir en un mercado que cada vez es más exigente. Para lograrlo generalmente es necesario la implementación de un sistema de control, para el cual su función es recibir entradas y coordinar una o varias respuestas.

En la actualidad, existen diversas herramientas que son empleadas en el control de procesos, entre las que se pueden mencionar son: el diagrama de afinidad, el diagrama de Pareto, el control estadístico de procesos, el diagrama de Ishikawa, el gráfico de control, el diagrama de dispersión y la lista de verificación o check-list. Por ejemplo, en el trabajo (Duan & Yan, 2020), los autores implementaron un sistema de control de calidad en tiempo real de un proceso de fabricación de un producto, esto lo implementaron a través de algoritmos de asociación y reglas de correlación, analizando la similitud de las variaciones de medición de las características del producto. Sin embargo, el modelo propuesto puede tener dificultades de adaptación cuando el algoritmo se aplica a diferentes procesos de fabricación. Otros autores emplearon un indicador multivariante y la carta de control en una empresa de lavado de tanques industriales para el transporte de productos sólidos y líquidos (Fontalvo et al., 2020). Como resultado, lograron identificar la variabilidad en el proceso, sin embargo, debido a la complementariedad de la integración de las dos técnicas, consideraron necesario monitorear de manera general las dimensiones de la calidad de la empresa, por lo que no fue posible analizarlas de forma individual. Por otra parte en (Montesdeoca et al., 2020) los autores se enfocaron en evaluar la calidad de la producción de queso para poder establecer mejoras en cuanto a una conservación adecuada de la leche utilizada para la elaboración del producto. En tal sentido, realizaron varias evaluaciones sensoriales del producto para determinar el rendimiento y el aprovechamiento de los componentes principales de la leche a través de diversos análisis de varianza de las características fisicoquímicas de la leche. Los autores mencionan que el rendimiento en los resultados en comparación con otras investigaciones similares es menor. En (Pérez & León, 2018), se reportó el uso de la metodología DMAIC para el control de calidad de la variable de dureza en el proceso de fabricación de galletas. Los autores realizaron una prueba piloto comparando dos ingredientes en cantidades iguales de diferente proveedor, a partir de los resultados seleccionaron la mezcla que permitió mantener el parámetro dentro de los límites de calidad permitidos de la galleta, por tanto resultó favorecedora la implementación de la metodología. Adicionalmente, otros autores aplicaron las herramientas de diagrama de Ishikawa, ciclo PDCA, Metodología 5S y hojas de cálculo en una pizzería con el objetivo de implementar un control de calidad en la elaboración de pizzas (Fontalvo et al., 2020). Como resultado, lograron implementar de forma exitosa el control de calidad en el proceso de fabricación de la pizza, sin embargo, un punto importante que plantean los autores es que consideran necesario estandarizar el uso de estas herramientas de calidad hasta que la empresa las adopte como procedimientos de rutina dentro del proceso de elaboración de pizza; esto para lograr el mantenimiento de la calidad del producto final. Por otro

¹ La Lic Sarahi Camargo Carmona es alumna de la Maestría en Administración de Tecnologías de la Universidad de Guanajuato, Yuriria, Guanajuato. s.camargocarmona@ugto.mx

² La Dra. Ana Dinora Guzmán Chávez es Profesora en el Departamento de Estudios Multidisciplinarios en la Universidad de Guanajuato, México. ad.guzman@ugto.mx (autor corresponsal)

³ El Dr. Everardo Vargas Rodríguez es Profesor en el Departamento de Estudios Multidisciplinarios en la Universidad de Guanajuato, México. evr@ugto.mx

lado, también se ha reportado el uso de la lógica difusa para el control de procesos, esta herramienta de la inteligencia artificial es muy flexible y permite transformar de una manera relativamente simple la experiencia humana en formas matemáticas. En la literatura se hace referencia a que el primer controlador difuso fue construido en 1978, el cual se instaló en un período de prueba en el horno de cemento de F.L. Smidth & Company Dinamarca, y este mostró una mejora en el ahorro de combustible por encima de los resultados del operador humano. A partir de este momento el uso de este tipo de controladores se ha venido incrementando.

En este trabajo, se desarrolló un sistema de control basado en lógica difusa para lograr inferir el grado de calidad (GC) de un producto comestible elaborado en una microempresa de Yuriria. Con la ayuda del experto y los resultados arrojados por la encuesta aplicada a los clientes, se determinó como variables de entrada: Cantidad de Queso (CQ), Cantidad de Ingredientes (CI) y Tiempo de Cocción (TC) para la determinación del grado de calidad (variable de salida) de la pizza sabor pepperoni. El sistema de inferencia difusa que se utilizó fue el Mamdani, con el cual se alcanzó un coeficiente de determinación (R^2) de 97.65 al comparar los datos experimentales con los teóricos. Finalmente, se generó una base de datos teórica la cual se utilizó para implementar el sistema de control basado en un sistema de control difuso de lazo cerrado.

Descripción del Método

El presente trabajo, está centrado en la generación de un sistema de control a partir de la metodología de lógica difusa (Figura 1), el cual se implementó para una microempresa de la industria de comida rápida dedicada principalmente a la elaboración y venta de pizzas ubicada en el municipio de Yuriria, Guanajuato. Para lograr los objetivos planteados, se realizó lo siguiente:

1. Primero se identificó las variables involucradas (variables de entrada) en la determinación del grado de calidad de la pizza (variable de salida). Para cada variable se propusieron los conjuntos difusos y las funciones de membresía, es decir, se difusificaron las variables.
2. Después se propusieron las reglas difusas del tipo SI-ENTONCES. Para tomar en cuenta varios antecedentes en una sola regla, se utilizó el operador lógico AND, el cual toma el valor mínimo.
3. Se elaboraron varias pizzas con diferentes combinaciones de valores para las variables de entrada. Estas pizzas se ofrecieron a varios clientes y la puntuación que dieron al grado de calidad fue registrado, esto con la finalidad de obtener una base de datos experimental.
4. Posteriormente se desarrolló el algoritmo para aplicar el sistema de lógica difusa de tipo Mamdani. Para el agregado se utilizó el operador *max* y para la desdifusificación se usó el método del centroide (CDA), el cual se expresa como:

$$CDA = \frac{\sum_i \mu(x_i)x_i}{\sum_i \mu(x_i)} \quad (1)$$

donde $\mu(x_i)$ es el valor de membresía para el punto x del universo de discurso. Para validar el sistema se usó el coeficiente de determinación (R^2) el cual compara los datos experimentales con los datos estimados obtenidos con la desdifusificación. El R^2 se expresa como:

$$R^2 = \frac{\sum_{m=1}^n (\hat{y}_i - \bar{y})^2}{\sum_{m=1}^n (y_i - \bar{y})^2} \quad (2)$$

donde \hat{y}_1 es el i - ésimo valor estimado y \bar{y} es el promedio de los valores observados.

5. Finalmente se obtuvo el grado de calidad teórico en función de distintos valores para las variables de entrada. Estos valores se usaron como base de datos de comparación en el sistema de control de calidad. Este sistema tiene la opción de que se ingresen los valores iniciales de las variables de entrada y le indica al usuario cuanto debe disminuir o aumentar el valor de cada variable para obtener el grado de calidad objetivo.



Figura 1. Etapas de un sistema basado en lógica difusa

Resultados

Para la identificación de las variables de entrada que se propusieron para determinar la variable de salida, es decir, el grado de calidad (GC) de una pizza, se realizó una encuesta. De ésta se obtuvo que la pizza de pepperonni es la que más gusta a las personas, por lo que el trabajo de investigación se centró en determinar el GC de la pizza con dicho ingrediente. Además, con los resultados de la encuesta y la ayuda del experto se determinaron las variables de entrada, las cuales son: Tiempo de cocción de la pizza (TC), Cantidad de queso (CQ) y Cantidad de ingredientes (CI). Para los conjuntos difusos de las variables de entrada, CQ y CI se utilizaron las etiquetas: Insuficiente (I), Regular (R), Muy bueno (E) y Excelente (E); para la variable de entrada, TC, se utilizaron las etiquetas: Insuficiente (I), Regular (R), Excelente (E) y Excedente (X); y para los conjunto difusos de la variable de salida se utilizó las etiquetas: Mala (M), Buena (B), Excelente (E).

Para la definición de las reglas se utilizó el operador AND, el cual toma el valor mínimo asociado al mismo elemento de todos los conjuntos difusos de las variables de entrada de cada regla. Al hacer la relación de las variables de entrada se generó una combinación de 64 reglas las cuales se analizaron con la ayuda del experto para atribuir a los antecedentes su consecuencia. En la Figura 2 se puede observar todas las reglas, por ejemplo, la primera regla se interpreta de la siguiente manera:

r1: SI Tiempo Cocción es TCI y Cantidad Queso es CQI y Cantidad de Ingredientes es CII ENTONCES el Grado de Calidad de la Pizza es GCM.

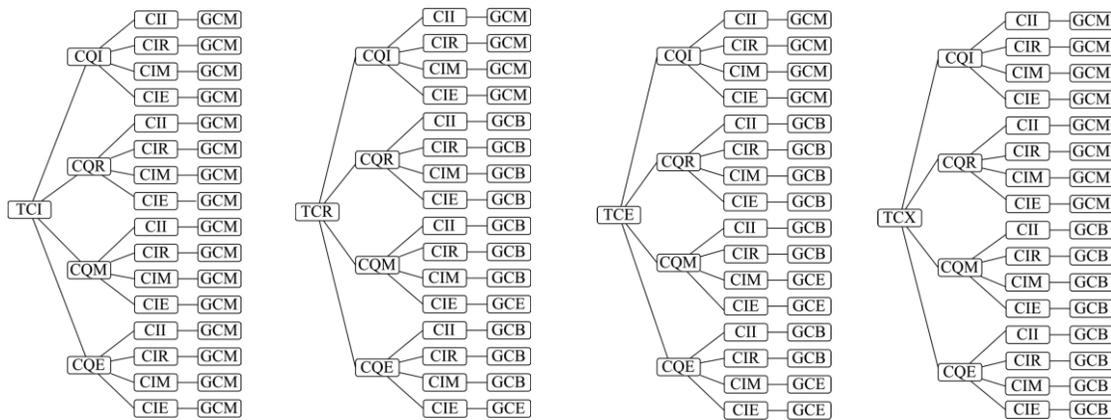


Figura 2. Combinaciones de las variables de entrada y su relación con la variable de salida

El sistema de inferencia basado en lógica difusa de tipo Mamdani se programó en Matlab. Se comenzó con funciones de membresía triangulares las cuales se fueron modificando hasta obtener un buen ajuste entre los datos teóricos y experimentales. En la Figura 3 se observa la representación gráfica y en la Tabla 1 las expresiones matemáticas de las funciones de membresía finales que se utilizaron para inferir el GC de la pizza. Se puede observar que los conjuntos difusos están entre los rangos 0 –150 g para CQ, 0 – 60 g para CI, 0 – 20 min para TC y 0 – 100 para GC.

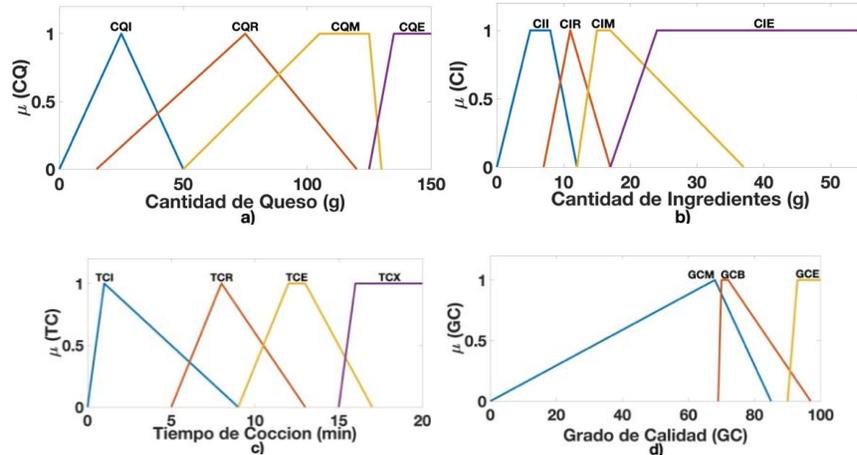


Figura 3. Funciones de membresía finales para la variable a) CQ, b) CI, c) TC y d) GC.

Tabla 1. Funciones de membresía de las variables de entrada y salida

FUNCIONES DE MEMBRESÍA			
CQ		CI	
$\mu(CQI)$	$\begin{cases} 0 & CQI < 0 \\ \frac{1}{25}(CQI) & 0 \leq CQI \leq 25 \\ -\frac{1}{25}(CQI) + 2 & 25 \leq CQI \leq 50 \\ 0 & CQI > 50 \end{cases}$	$\mu(CII)$	$\begin{cases} 0 & CII < 0 \\ \frac{1}{5}(CII) & 0 \leq CII \leq 5 \\ (CII) & 5 \leq CII \leq 8 \\ -\frac{1}{3}(CII) + 3 & 8 \leq CII \leq 12 \end{cases}$
$\mu(CQR)$	$\begin{cases} 0 & CQR < 15 \\ \frac{1}{60}(CQR) - \frac{1}{4} & 15 \leq CQR \leq 75 \\ -\frac{1}{35}(CQR) + \frac{9}{8} & 75 \leq CQR \leq 120 \\ 0 & CQR > 120 \end{cases}$	$\mu(CIR)$	$\begin{cases} 0 & CIR < 7 \\ \frac{1}{4}(CIR) - \frac{7}{4} & 7 \leq CIR \leq 11 \\ -\frac{1}{6}(CIR) + \frac{17}{6} & 11 \leq CIR \leq 17 \\ 0 & CIR > 17 \end{cases}$
$\mu(CQM)$	$\begin{cases} 0 & CQM < 50 \\ \frac{1}{35}(CQM) - \frac{10}{11} & 50 \leq CQM \leq 105 \\ (CQM) & 105 \leq CQM \leq 130 \\ \frac{1}{5}(CQM) + 26 & 125 \leq CQM \leq 130 \end{cases}$	$\mu(CIM)$	$\begin{cases} 0 & CIM < 12 \\ \frac{1}{3}(CIM) - 4 & 12 \leq CIM \leq 15 \\ (CIM) & 15 \leq CIM \leq 17 \\ \frac{1}{20}(CIM) + \frac{37}{20} & 17 \leq CIM \leq 37 \end{cases}$
$\mu(CQE)$	$\begin{cases} 0 & CQE < 125 \\ \frac{1}{10}(CQE) - \frac{25}{2} & 125 \leq CQE \leq 135 \\ 0 & CQE > 150 \end{cases}$	$\mu(CIE)$	$\begin{cases} 0 & CIE < 17 \\ \frac{1}{3}(CIE) - \frac{17}{3} & 17 \leq CIE \leq 24 \\ 0 & CIE > 60 \end{cases}$
FUNCIONES DE MEMBRESÍA			
TC		GC	
$\mu(TCI)$	$\begin{cases} 0 & TCI < 0 \\ (TCI) & 0 \leq TCI \leq 1 \\ -\frac{1}{8}(TCI) + \frac{9}{8} & 1 \leq TCI \leq 9 \\ 0 & TCI > 9 \end{cases}$	$\mu(GCM)$	$\begin{cases} 0 & GCM < 0 \\ \frac{1}{65}(GCM) & 0 \leq GCM \leq 68 \\ -\frac{1}{7}(GCM) + 5 & 68 \leq GCM \leq 85 \\ 0 & GCM > 85 \end{cases}$
$\mu(TCR)$	$\begin{cases} 0 & TCR < 7 \\ \frac{1}{3}(TCR) - \frac{5}{3} & 5 \leq TCR \leq 8 \\ -\frac{1}{3}(TCR) + \frac{13}{3} & 8 \leq TCR \leq 13 \\ 0 & TCR > 13 \end{cases}$	$\mu(GCB)$	$\begin{cases} 0 & GCB < 69 \\ (GCB) - 69 & 69 \leq GCB \leq 70 \\ (GCB) & 70 \leq GCB \leq 72 \\ 0 & GCB > 97 \end{cases}$
$\mu(TCE)$	$\begin{cases} 0 & TCE < 9 \\ \frac{1}{3}(TCE) - 3 & 9 \leq TCE \leq 11 \\ (TCE) & 12 \leq TCE \leq 13 \\ -\frac{1}{5} + \frac{18}{5} & 13 \leq TCE \leq 17 \end{cases}$		
$\mu(TCX)$	$\begin{cases} 0 & TCX < 15 \\ (TCX) - 15 & 15 \leq TCX \leq 16 \\ 0 & TCX > 20 \end{cases}$	$\mu(GCE)$	$\begin{cases} 0 & GCE < 90 \\ \frac{1}{3}(GCE) - 30 & 90 \leq GCE \leq 93 \\ 0 & GCE > 100 \end{cases}$

Como se mencionó en la metodología, para el agregado de todos los conjuntos obtenidos con la evaluación de cada una de las reglas se aplicó el operador *max*, es decir, se tomó el valor de membresía máximo de entre todos los valores para el mismo elemento de cada uno de los conjuntos; y para la desfusificación, es decir, para obtener un número relacionado al grado de calidad, se aplicó el método del centroide. En la figura 4 se muestra el agregado y el centroide para dos casos. Para el primer caso los valores de entrada fueron TC=10 min, CQ=80 g y CI=35 g, con estos valores los clientes dieron un valor de GC=83 y el valor de GC obtenido con el sistema propuesto fue de 83. Para el segundo caso los valores de entrada fueron TC=16 min, CQ=25 g y CI=30 g, los cuales estaban relacionados con un GC experimental de 52 y el obtenido con el sistema fue de 52. En la figura se observa también para cada caso los valores de pertenencia de los conjuntos resultantes de aplicar las reglas.

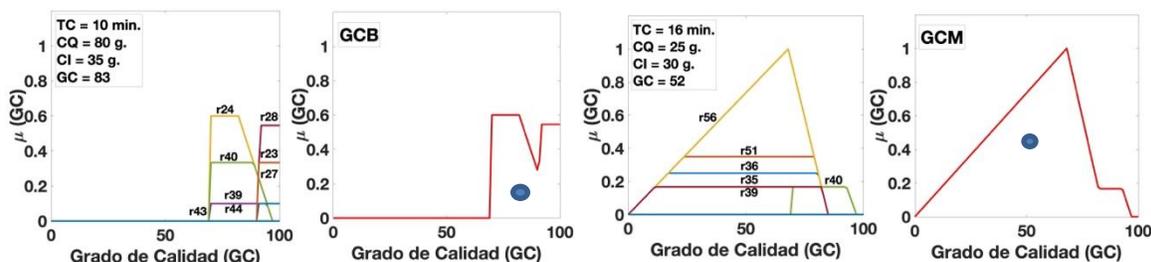


Figura 4. Agregado de las reglas y desfusificación para dos diferentes casos.

En la Figura 5 se muestra la comparación entre los datos experimentales y teóricos. Los puntos rojos son los valores asignados a la variable de salida GC por los clientes y los puntos azules solo valores obtenidos con el sistema propuesto. En la figura se muestra que existe una alta coincidencia entre ambos valores lo cual se corrobora con el coeficiente de determinación el cual fue del 97.6.

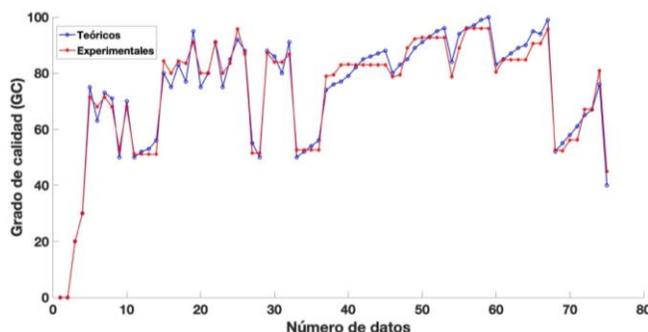


Figura 5. Comparación entre los datos experimentales y los datos teóricos obtenidos con el sistema de inferencia tipo Mamdani.

En la Figura 6 se muestra el diagrama a bloques del sistema de control que se propone. Básicamente, el usuario ingresa el valor del grado de calidad objetivo (GCO), el valor al que el experto desea llegar para satisfacer las necesidades del consumidor; también se ingresan las cantidades para cada una de las tres variables de entrada que se consideran la perturbación del sistema porque cada vez que el usuario cambie esos valores, el sistema tendrá que ajustarlos para llegar al GCO. El valor del GCO se compara con todos los valores asociados a la variable de salida (GC) registrados en la base de datos, es decir, se resta el GCO con cada uno de los valores de la variable GC registrados en dicha base de datos. Los valores de TC, CQ y CI asociados al valor del GC con el que se obtuvo el valor de la resta más pequeño, se comparan (restaron) con los valores ingresados por el usuario. Finalmente, el programa arroja el resultado de las restas entre estos valores, para un valor positivo y negativo indica la cantidad a agregar y restar, respectivamente, para llegar a la calidad objetivo.

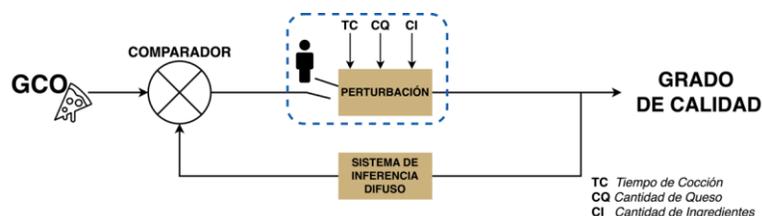


Figura 6. Diagrama a bloques del sistema de control propuesto basado en lógica difusa.

Conclusiones

En el presente trabajo se propuso un sistema de control basado en lógica difusa para inferir el grado de calidad de un producto comestible. La metodología de lógica difusa es usada para inferir una salida a partir de varias entradas además de que se requiere del conocimiento del experto. En este sentido, como el grado de calidad de una pizza depende de varios factores así como de la habilidad de un cocinero (experto), ésta pudo ser inferida basándose en un sistema de lógica difusa. Las variables de entrada de mayor relevancia para inferir el grado de calidad de una pizza son el tiempo de cocción, la cantidad de queso y la cantidad de ingredientes. Además, basándose en el sistema de inferencia tipo Mamdani es posible inferir el grado de calidad de la pizza con un ajuste del más del 90% a las valoraciones dadas por los consumidores de pizza. El sistema de inferencia difuso puede ser implementado en un sistema de control de tipo de lazo cerrado para ajustar las cantidades de las variables de entrada con la finalidad de alcanzar el grado de calidad objetivo fijado por cualquier persona sin la necesidad de un experto en el tema. Finalmente, al poder ajustar las cantidades de entrada, se es factible reducir desperdicios y eficientar la materia prima de la microempresa.

Referencias bibliográficas

- Duan, G. J., & Yan, X. (2020). A Real-Time Quality Control System Based on Manufacturing Process Data. *IEEE Access*, 8, 208506–208517. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3038394>
- Fontalvo, T. J., Herrera, R., & Delahoz-Dominguez, E. J. (2020). Multivariate capacity indicator of quality dimensions in an industrial tank washing company. *Informacion Tecnologica*, 21(5), 109–118. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642020000500109>
- Guilherme, F., Rhubens, E., Kaíque, B. D. M., & Cecília Rochele. (2021). Quality Pizza: tools applied in Teresina PI industry Pizza de calidad. *Revista Cubana de Ingeniería*, XII(3), 294.
- Montesdeoca, P., Ricardo, R., Piloso, K., Hernández, T., Lemoine, I., Camejo, M., Lorente, G., Benítez, I., & García, M. (2020). Evaluación de la calidad y la eficiencia tecnológica en la producción de queso semiduro gouda. *Siembra*, 7(2), 022–031. <https://doi.org/10.29166/siembra.v7i2.2123>
- Pérez, M., & León, L. (2018). *DMAIC como estrategia para control de dureza en la fabricación de galletas*. http://reaxion.utleon.edu.mx/Art_Impr_DMAIC_como_estrategia_para_control_de_dureza_en_la_fabricacion_de_galletas.html

Notas Biográficas

La **Lic. Sarahi Camargo Carmona** es alumna de la Maestría en Administración de Tecnologías de la Universidad de Guanajuato. Su Licenciatura en Gestión Empresarial de la Universidad de Guanajuato.

La **Dra. Ana Dinora Guzmán Chávez** es profesora investigadora en la Universidad de Guanajuato. Su maestría y doctorado en Ciencias (Óptica) es del Centro de Investigaciones en Óptica, México. La Dra. Guzmán ha publicado más de 25 artículos en revistas indizadas al JCR.

El **Dr. Everardo Vargas Rodríguez** es profesor investigador en la Universidad de Guanajuato. Su maestría en Ingeniería Eléctrica de la Universidad de Guanajuato, México. Él es Doctor en Filosofía de la Universidad de Southampton, Reino Unido. El Dr. Everardo ha publicado más de 35 artículos en revistas indizadas al JCR.

Monitoreo y Control de Aires Acondicionados para una IES del Estado de Tabasco

M.I. Eugenio Josué Campos Donato¹, Dr. Ezequiel Notario Priego²,
Ing. Roberto Montaña Moran³, Ing. Alberto Chablé Rodríguez⁴ y Jessica del Carmen Díaz Juárez⁵.

Resumen— La utilización de los equipos de aires acondicionados representa un gran consumo energético el cual impacta en el cambio climático, uno de los objetivos de la institución de educación superior, es precisamente atender con conciencia y responsabilidad el uso eficiente de la energía, actualmente en el estado de tabasco no existe un sistema que pueda llevar el registro del tiempo en que están en uso los equipos.

Palabras clave— Monitoreo Energético, Control, Aires Acondicionados, IES. Energía Eléctrica, Uso racional de Energía,

Introducción

En los climas cálidos como es el caso de la ciudad de Villahermosa, se utilizan los sistemas de climatización orientado a el enfriamiento o ventilación, debido al clima y la ubicación geográfica de esta ciudad (Cama-Pinto et al., 2016). Los sistemas de aire acondicionado (Miranda, 2005) tienen como objetivo general mantener ciertas condiciones climáticas en un recinto, entre las cuales podemos resaltar la temperatura, la humedad y la calidad del aire, con la finalidad de proporcionar una sensación de confort y bienestar a sus ocupantes.

Las instituciones de educación Superior (IES), que se encuentran ubicadas en el estado de Tabasco el cual el 95.5% de la superficie presenta clima cálido húmedo, el restante 4.5% es clima cálido subhúmedo hacia la parte este del estado. La temperatura media anual en la entidad es de 27°C, la temperatura máxima promedio es de 36°C con una sensación térmica de 41°C, por lo que se vuelve necesario utilizar equipos de aires acondicionados para el confort de los estudiantes y personal trabajador de las IES, que si bien el ser humano es capaz de adaptarse a cualquier entorno de una manera rápida e idónea hay ciertos factores que pueden afectar su estado de ánimo, bienestar y salud, como por ejemplo las deficiencias ambientales asociadas, cambios repentinos de temperatura por épocas del año, enfermedades de tipo broco respiratorias, COVID 19, entre otras, sin embargo la utilización de los equipos de aires acondicionados representa un gran consumo energético el cual impacta en el cambio climático, uno de los objetivos del Tecnológico Nacional de México es precisamente atender con conciencia y responsabilidad el uso eficiente de la energía, actualmente en el estado de tabasco no existe un sistema que pueda llevar el registro del tiempo en que están en uso los equipos, su monitoreo y el control de forma remota por lo que tiene potencial para implementar dicho sistema en cada una de las IES.

Descripción del Método

En la figura 1 se muestra la metodología utilizada para realizar el proyecto, comenzando con caracterización de la zona de estudio, donde se realizará un reconocimiento de las áreas de trabajo para identificar las condiciones en las cuales se encuentran los equipos de aire acondicionado, para determinar la operación y funcionamiento de estos, al mismo tiempo se realizará una actualización del inventario, en caso de encontrar algún equipo en mal estado o que requiera un mantenimiento preventivo se solicita a una empresa externa que del mantenimiento correspondiente, después de la caracterización se prosigue a consultar con distintos proveedores informantes referente que ayude a la identificación de las tecnologías actuales para el monitoreo y control de sistemas de aires acondicionados, hacer una tabla comparativa donde se observe las características, ventajas y desventajas y costos de cada una de ellas, Luego se llevara un análisis para la lógica de control, diseño de arquitectura del sistema, desarrollo del sistema e implementación

¹ El M.I. Eugenio Josué Campos Donato es Subdirector de los Servicios Administrativos en el Tecnológico Nacional de México Campus Villahermosa, en Villahermosa, Tabasco, México, eugenio.cd@villahermosa.tecnm.mx (autor corresponsal)

² El Dr. Ezequiel Notario Priego es Profesor de la Carrera de Ingeniería en Sistemas Computacionales en el Tecnológico Nacional de México Campus Villahermosa, en Villahermosa, Tabasco, México ezequiel.np@villahermosa.tecnm.mx

³ El Ing. Roberto Montaña Moran es Profesor de la Carrera de Ingeniería Industrial en el Tecnológico Nacional de México, en Villahermosa, Tabasco, México. roberto.mm@villahermosa.tecnm.mx

⁴ El Ing. Alberto Chablé Rodríguez, es Profesor de la Carrera de Ingeniería en Sistemas Computacionales en el Tecnológico Nacional de México, en Villahermosa, Tabasco, México. albertochableg@villahermosa.tecnm.mx

⁵ Jessica del Carmen Díaz Juárez es Egresada de la Carrera de Ingeniería Industrial en el Tecnológico Nacional de México, en Villahermosa, Tabasco, México. 118300549@villahermosa.tecnm.mx

del sistema para la interacción con los equipos de aires acondicionados por último Se realizan las Pruebas de funcionalidad del sistema, se evalúan los resultados obtenidos y se hacen las sugerencias de mejora.

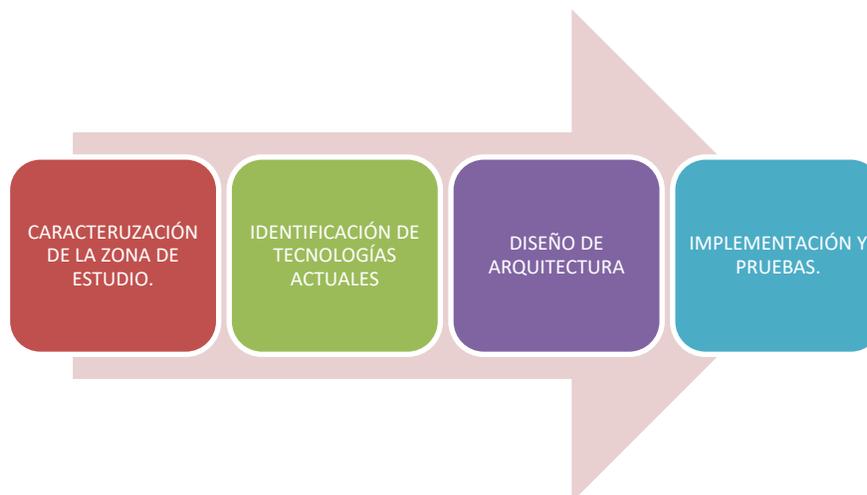


Figura 1. Diagrama representativo de la metodología aplicada.

Resultados

Se selecciono al Tecnológico Nacional de México campus Villahermosa para llevar a cabo la investigación, se detectó que en la institución de educación superior existen equipos obsoletos con más de 10 años de servicio, reduciendo su eficiencia y teniendo que esperar tiempos mayores para lograr alcanzar la temperatura deseada dentro de un aula de clases, por lo que en algunos salones las temperaturas son muy bajas mientras que en otros son apenas lo suficiente, así mismo los equipos son de diferentes marcas y no cuentan con los controles remotos para una correcta configuración, no se cuenta con un registro de uso y por lo tanto no se puede conocer el consumo energético de cada uno de los equipos, en este proyecto se llevó a cabo los cálculos por salón para determinar si los equipos son los adecuados para mantener una temperatura de 25°C, se toman en cuenta los factores de la irradiación solar, el calor expedido por persona, el área a enfriar, los equipos electrónicos que emiten calor.

Se encontró que en algunos salones la sobrepoblación de estudiantes evita que los equipos de aire acondicionado lleguen a su temperatura programada haciendo que se sobrecalienten los contactores y exista un riesgo para los compresores, Los mantenimientos preventivos a los equipos son aplicados cada 6 meses, y en caso de presentar fallas se procede a realizar mantenimientos correctivos.

La primera actividad fue verificar que todos los equipos de aire acondicionados recibieran su mantenimiento preventivo, después se llevó el reemplazo de tarjetas de control tipo universal como se muestra en la figura 2, para cada uno de los climas que no tenían control remoto.



Figura 2. Tarjeta de control para aire acondicionado tipo Universal.

Se entregan los controles remotos al área de la subdirección de los servicios administrativos y al departamento de mantenimiento de equipos, después de hacer un análisis de las diferentes tecnologías que hay en el mercado, el instituto cuenta con un servicio de 450 Megas de velocidad suficientes para utilizar tecnologías que permitan la interacción mediante Wifi, por lo que se procede a seleccionar un control infrarrojo universal compatible con WIFI, para que más adelante con apoyo del área de sistemas se lleve a cabo con un raspberry la creación de un sistema que permita monitorear y controlar a los aires acondicionados (temperatura, suciedad en filtros, uso por día, consumo energético) desde un centro de mando dividido en tres puntos el primero ubicado en el área de vigilancia, el segundo en el departamento de mantenimiento de equipos y el tercero en la subdirección de los servicios administrativos, en la figura 3, 4 y 5 se muestra una propuesta de como se desea tener el sistema por unidad de aire acondicionado



Figura 3. Sistema que permite identificar si el aire acondicionado se encuentra encendido / apagado, y la temperatura actual en que se encuentra la habitación.



Figura 4. Sistema que permite identificar el consumo de energía y el horario en que estuvo funcionando el equipo.



Figura 5. Sistema que permite identificar el porcentaje de efectividad del filtro, en donde 100% significa que el filtro esta en las mejores condiciones y 0% que el filtro debe ser reemplazado.

Por ahora solo se cuenta con el control de tipo manual y con las aplicaciones genéricas como smartlife que permiten el control de los aires acondicionados por WIFI, permitiendo enlazar a los asistentes por voz como lo son Google Home y Amazon Alexa como se muestra en la figura 6.



Figura 6. Control Remoto infrarrojo Inteligente WIFI

Discusión y conclusiones

Actualmente existen tecnologías que ya incluyen los sensores para llevar un buen control y monitoreo de los aires acondicionados en los puntos claves como son la determinación de la suciedad en los filtros, el consumo eléctrico, el estado del compresor, el encendido y apagado programado de manera automática, sin embargo, al ser instituciones educativas y con las políticas actuales de México que no permiten actualizar las tecnologías ya que van en contra de la austeridad republicana, esto se convierte en una paradoja ya que por un lado se busca el cuidado del recurso económico pero al mismo tiempo al utilizar equipos que son ineficientes estos generan un alto consumo energético y por lo tanto un mayor calentamiento global, por eso se dice muchas veces que lo barato sale caro y también nos enfrentamos a que las universidades gubernamentales rara vez reciben algún tipo de apoyo para el fortalecimiento de su infraestructura y cuando la reciben no permiten que la institución sea la encargada de cotizar y seleccionar su tecnología si no que la meten a concurso y luego los proveedores inflan los precios y no surten los equipos que prometieron causando muchas veces tener en las instituciones equipos obsoletos y de mala calidad, se tiene proyectado darle continuidad al proyecto realizando una Campaña de concientización con apoyo de las TICS para el uso racional de energía eléctrica en una IES

Referencias

- [1] González, C., Pérez, R., Vásquez Stanescu, C., & Araujo, G. (2014). Eficiencia Energética: Uso racional de la energía eléctrica en el sector administrativo. Consumo eficiente.
- [2] Soraire, I. A. (1999). Ley-Energías renovables-Uso racional de la energía. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente.
- [3] Brugnoli, M. S. (2004). El uso racional de la energía y la crisis energética. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente.
- [4] Vidal-Silva, C., Lineros, M. I., Uribe, G. E., & Olmos, C. J. (2019). Electrónica para Todos con el Uso de Arduino: Experiencias Positivas en la Implementación de Soluciones Hardware-Software. Información tecnológica, 30(6), 377-386.
- [5] Gokhale, P., Bhat, O. y Bhat, S. (2018). Introducción a la IO. Revista internacional de investigación avanzada en ciencia, ingeniería y tecnología , 5 (1), 41-44.
- [6] Aragonés, J. B., Gómez, C. G., Zaragoza, B. Z., Martínez, A. G., Campos, D. M., & Llinares, A. G. (2003). Sensores de temperatura. Recuperado el, 3, 2003-04.
- [7] Laclaustra, I. M., Alonso, J. M., Barrio, A. A. D., & Botella, G. (2016). Sistema domótico distribuido para controlar el riego y el aire acondicionado en el hogar.
- [8] Bassil Orozco, C. J. (2016). Desarrollar e implementar una arquitectura de red basada en IoT, que permita la recopilación de información a través de sensores de temperatura.
- [9] Charris, L. D. D. TÉCNICAS DE CONTROL CLÁSICO CON TEMPERATURA EXTERNA EN SISTEMAS DE AIRE ACONDICIONADO TIPO MINI-SPLIT.
- [10] Calderón Urrutia, JW (2014). Diseño y construcción de un administrador electrónico inteligente monitoreado vía internet para evaluar el uso eficiente y económico de una unidad de aire acondicionado (Tesis doctoral).
- [11] Vaughn, J. (2012). Informática práctica con Arduino. Revista de Ciencias de la Computación en las Universidades , 27 (6), 105-106.
- [12] Martínez, D. H. J., Matamoros, K. L. V., Aguirre, R. C., Huerta, M. E. M., & López, A. T. FACTIBILIDAD DE CREACIÓN DE UNA EMPRESA DE DOMÓTICA ENFOCADA AL AHORRO ENERGÉTICO EN TLAXCALA, MÉXICO.
- [13] Quintero, L. F. H. (2005). Viviendas inteligentes (domótica). Ingeniería e investigación, 25(2), 47-53.
- [14] Samuel, S. M., Antonio, O. F. M., & Gabriel, R. O. J. Desarrollo de Aplicación Domótica con Comunicación Inalámbrica Bluetooth.
- [15] Sánchez, A. V. A. R., & Valenzuela, B. L. E. Z. Aplicación de Domótica utilizando tecnologías inalámbricas y Arduino como base para el IoT. Investigación Desarrollo e Innovación en las Tecnologías de la Información y Comunicación, 69.

Implementación de la Metodología Cadena de Suministro-PDCA para la Optimización de Operaciones en Almacén IyR

M.I.I. María de los Ángeles Camargo Chimal¹, Ing. Gustavo Sánchez Ramírez²,
M.C. Leticia Ramírez Ramírez³

Resumen—El presente estudio se realizó en una empresa dedicada a la transformación de materia prima en productos terminados derivados del acero en sus diversos grados. Los traslados que se realizaban para recoger los materiales del almacén generaban un desperdicio de 31 minutos improductivos, por esto se planteó el uso de la metodología Cadena de Suministro-PDCA para desarrollar un plan que una vez efectuado se analiza a fin de encontrar áreas de mejora aplicables a una nueva secuencia del ciclo, con el fin de encontrar el punto óptimo de trabajo. El plan inicial consiste en la implementación de un sistema llamado MIA (**Modulo de Inteligencia de Abastecimientos**) que les permita a los usuarios solicitar sus materiales para ser entregado mediante el proceso Milk Run, con lo cual se llevarían los materiales a un área designada disminuyendo el desperdicio en tiempos por traslados y espera.

Palabras clave—Ciclo PDCA, Milk Run, Logística, Cadena de suministros, Tiempos muertos, Almacén.

Introducción

El área de almacén en la empresa resulta ser de gran importancia para el desarrollo de las actividades diarias, ya que esta área se encarga de proveerle los materiales necesarios a toda la acería, su importancia radica en que la falta de este material puede provocar desde el retraso en las operaciones de un área en particular hasta el paro de operaciones en total.

En el día a día dentro del almacén de refacciones se presenta una acumulación de personal solicitando materiales, lo cual requirió que tuviera que salir de su área de trabajo posponiendo sus actividades durante el tiempo de traslado hacia el almacén de ida y vuelta, así como el tiempo en la fila de espera.

Debido a esto se busca la implementación de un plan estratégico que dé solución al problema o que abran el camino a la solución, se plantea el uso de la metodología Cadena de Suministro-PDCA para desarrollar un plan que contemple las estrategias necesarias para optimizar el proceso, implementar dichas estrategias para analizar su efectividad y poder actuar con las mejoras necesarias para iniciar de nuevo el ciclo en la búsqueda del proceso óptimo, lo cual beneficiaría tanto al usuario quien ya no tendría que trasladarse para recibir su material descuidando sus operaciones, como al almacén permitiéndole tener un control más preciso de los vales a atender.

De acuerdo con García Cantú (citado por Paredes y Vargas, 2018) el almacén es “una unidad de servicio en la estructura orgánica y funcional de una empresa comercial o industrial, con objetivos bien definidos de resguardo, custodia, control y abastecimiento de materiales y productos”

Mora García (citado por Torres, 2018) menciona que de acuerdo con la definición del Consejo de Gestión Logística (CLM), la logística es: el proceso de planificación, ejecución y control del flujo de mercancías y el almacenamiento eficiente, incluso económicamente beneficioso, incluido el consumo de materias primas, el proceso de producción, inventario y productos terminados desde el punto de origen para satisfacer las necesidades del cliente.

Para Pinilla (2019) reducir el tiempo de inactividad del proceso y las fluctuaciones en el tiempo requerido para completar un proceso es tan importante como mejorar la calidad de un producto o servicio. Gómez (citado por Pinilla, 2019) proporciona una definición de los tiempos muertos, siendo este el tiempo no invertido directamente en reparaciones, por ejemplo: tiempo de inactividad, tareas administrativas y tiempo de espera por falta de personal, falta de herramientas o falta de repuestos necesarios.

Garzón y Núñez (2014) establecen el círculo de Deming como una de las herramientas más importantes para lograr la mejora continua en una organización o empresa que quiera aplicar el conocimiento en los sistemas de calidad, también conocido como ciclo PDCA, que significa según las siglas en inglés (planificar, hacer, verificar y actuar). Cabe señalar que este ciclo fue desarrollado por Walter Shewart, quien fue el precursor del concepto que

¹ M.I.I. María de los Ángeles Camargo Chimal es profesora en el área de Ing. Industrial del Tecnológico Nacional de México en Celaya angelas.camargo@itcelaya.edu.mx

² El Ing. Gustavo Sánchez Ramírez es Ingeniero Industrial egresado del Tecnológico Nacional de México en Celaya gustavo.sanchez_rmz@hotmail.com

³ La M.C. Leticia Ramírez Ramírez es profesora en el área de Ing. Industrial del Tecnológico Nacional de México en Celaya Leticia.ramirez@itcelaya.edu.mx

conocemos hoy. Sin embargo, fueron los japoneses quienes lo dieron a conocer al mundo y lo nombraron en honor al Dr. William Edwards Deming.

De manera similar Chen y Li (citados por García y Lozano, 2020) señalan que PDCA es un ciclo continuo que comienza de a poco para examinar los posibles efectos en el proceso y se desarrolla gradualmente hasta cambios más grandes y específicos. Este enfoque tiene como objetivo cambiar la forma tradicional en que las personas realizan actividades y, con una pequeña mejora, puede aumentar la productividad general, lo que en última instancia beneficiará a la organización.

Ji (2021) define la herramienta Lean Milk Run/round como un término logístico que se usa para describir el envío de botellas de leche a largas distancias y la recolección de botellas vacías de un área, en lugar de enviar un transportista cada vez que se solicita una botella. La leche es una forma más racional de satisfacer la demanda y reducir la distancia total recorrida por el ordeñador, lo que está directamente relacionado con el costo de transporte o el costo para el ordeñador de distribuir y satisfacer las necesidades del hogar.

Descripción del Método

El almacén de refacciones de la empresa debe prestar servicio a la totalidad de la planta, debido a que todo material solicitado se despacha por su personal. Desde un bolígrafo hasta piezas maquinadas que se usan para mantenimiento en la línea de producción.

Diariamente se surten en promedio 124 vales en la ventanilla del almacén, los colaboradores deben trasladarse desde su área de trabajo hasta el almacén generando tiempos muertos entre los traslados de ida y regreso así como el de espera a ser atendidos. En promedio el tiempo muerto es de 31 minutos, mensualmente se requiere el tiempo trabajado por 10 personas, es decir que se gastan en promedio \$392,590.

Plan

Se estableció la idea de entregarles directamente a los usuarios sus materiales, lo cual implicaría un cambio cultural tanto en los usuarios como en el personal del almacén, para llegar a este punto se planteó el uso de la metodología Deming a fin de evaluar los cambios y poder reestructurar el plan buscando el modelo óptimo de trabajo.

Al iniciar del ciclo se planteó un objetivo principal: **Eliminar la fila de espera en la ventanilla del almacén de refacciones.**

Para analizar el avance del objetivo se plantearon 3 indicadores mostrados en el cuadro 1 bajo los cuales se podrá medir el avance del proyecto, el costo mensual por vales se desea reducir en un 80%.

Indicador Resultado	Julio	Meta 2022
Entrega de Vales a Domicilio	0%	100%
Tiempo ciclo por traslados y espera	31 minutos	0 minutos
Costo mensual por vales	\$392,590	\$78,518

Cuadro 1. Indicadores de resultado (inicial)

El plan consta de 3 etapas siendo la primera la implementación, la cual consta del desarrollo y la implementación de un sistema que permita agendar una cita, a fin de que el personal acuda al horario que señalo para recoger su vale ya preparado; La segunda etapa consiste en una prueba piloto de envío al área con el área que mayor material consume; La tercera etapa contempla el desarrollo de rutas milk run para entregar el material a las áreas de acuerdo con el horario que lo solicitan.

El surtimiento Milk Run consistiría en 3 actividades principales de las cuales se desprenderían las dos nuevas funciones en el almacén que requieren el personal solicitado:

- Solicitud de material: realizada por los usuarios desde sus computadoras asignando la hora y zona de entrega, además de designar a una persona encargada de recibir el material.
- Preparación del vale de consumo: actividad realizada por el "Picker", encargado de preparar los vales, acomodando el material solicitado e identificándolo con los datos del usuario que lo recibirá, en caso de no

contar con existencia de un material será el picker el encargado de indicar que material no se entregará y actualizar la existencia en el sistema.

- Entrega del vale de consumo: El “Water Spider” es el personal encargado de entregar los vales realizando la ruta Milk Run, dentro de sus funciones está el tomar una prueba fotográfica de que el material fue entregado al usuario designado como responsable de la recepción del vale en caso de cualquier reclamo o aclaración.

Hacer

Durante la primera fase se desarrollaron 4 actividades principales, la primera consistió en conocer el estado del proceso que se manejaba, generando un listado con los tiempos de traslados a todas las áreas de la empresa, con estos tiempos se determinó el tiempo ciclo promedio.

Tomando este tiempo ciclo y teniendo el historico de vales surtidos por area se determino el numero de trabajadores que requiere el almacén para eliminar los tiempos de traslado.

Siendo el resultado, 5 trabajadores como se ve en el cuadro 2, siendo que en el almacén ya se contaba con 3 personas dedicadas a la entrega de vales en ventanilla, la solicitud a recursos humanos fue solo de 2 trabajadores cuyo costo es el que se tomo como meta dentro de los indicadores de resultado.

% Participación	Área	Cantidad de Vales surtidos x día (A)	Tiempo Prom Recorrido (Min) (B)	Tiempo Preparación (Min) (C)	Tiempo Ciclo Min (D)	Hrs Hombre Diario (E)	Hrs Hombre Semana (F)	# Personas Traslados Y Espera (G)	Costo por Semana(MN) (H)	Costo por Mes (MN) (I)	Hrs Hombre Diario sin traslado (J)	Hrs Hombre Semana sin traslado (K)	# Personas Preparación (L)	Costo Semanal sin traslado (M)	Costo Mensual sin traslado (N)
56%	Mantenimiento	69	17	15	32	37	257	5	\$ 54,956	\$ 219,826	17	120	3	\$ 25,761	\$ 103,043
21%	Laminación	26	14	15	29	13	89	2	\$ 19,012	\$ 76,048	7	46	1	\$ 9,834	\$ 39,335
11%	Acería	14	15	15	30	7	48	1	\$ 10,362	\$ 41,449	3	24	1	\$ 5,181	\$ 20,724
7%	Administración	9	30	15	45	6	45	1	\$ 9,692	\$ 38,768	2	15	0	\$ 3,231	\$ 12,923
3%	Recursos Humanos	3	10	15	25	1	10	0	\$ 2,175	\$ 8,698	1	6	0	\$ 1,305	\$ 5,219
2%	Calidad	3	12	15	27	1	9	0	\$ 1,950	\$ 7,801	1	5	0	\$ 1,083	\$ 4,334
	Totales	124			31		459	10	\$ 98,148	\$ 392,590		217	5	\$ 46,395	\$ 185,578

Cuadro 2. Cálculo de trabajadores necesarios

La siguiente actividad fue solicitar al área de sistemas la generación de un módulo que permita a los usuarios agendar una cita para la atención de sus vales de consumo, se estuvo trabajando y modificando el sistema durante dos semanas a fin de encontrar errores o fallas en su programación.

Ligada a esta actividad se llevó a cabo una capacitación del personal del almacén respecto al uso del sistema y al mismo tiempo se capacitaban a los usuarios que acudían a la ventanilla.

Posteriormente se analizaron los vales generados en el sistema para conocer qué área solicitaba mayor cantidad de vales siendo la de mantenimiento cuya mayor demanda proviene del Taller Central, debido a esto se planteó realizar una prueba piloto de entregas al área de Taller Central durante el mes de agosto como se ve en la figura 1.



Figura 1. Entrega en Taller Central

Finalmente, se analizaron las zonas que mayor consumo tienen para trazar las rutas Milk Run, estableciendo las zonas de entrega que mejor se adecuen a las necesidades del usuario.

Se desarrollo el programa de entregas estableciendo horarios a cada ruta, teniendo 4 horarios la ruta roja pues corresponde a las areas que mas solicitudes hacen, las rutas azul y verde cuentan con 3 horarios, se destina una hora de comida al picker y una hora al water spider durante la cual no se harian entregas mostrado en la figura 2.

Ruta	Areas	Hr entrega de vales
	Planta de aguas 1 Taller central 1 Taller central 2 Acceso 1 Subestacion 1 Taller de guias y rodillos BGV Lubricacion Calidad Palanquilla 4	8:00 - 9:00 am 11:00 - 12:00 pm 3:00 - 4:00 pm 6:00 - 7:00 pm
	Palanquilla 0 Oficinas Horno fusion 1 Patio ch 1 Planta humos 1 Gravacero Carpa	9:00 - 10:00 am 12:00 - 1:00 pm 4:00 - 5:00 pm
	Planta humos 2 Almacen de Insumos Taller de Aceria Horno fusion 2 Central hidraulica afin 2 Patio ch 2 MCC 2 Planta aguas 2 Embarques Subestacion 2 Acceso 2	10:00 - 11:00 am 1:00 - 2:00 pm 5:00 - 6:00 pm

Figura 2. Horarios de entrega

Verificar

La siguiente actividad consistió en evaluar los resultados, así como los comentarios de los usuarios, quienes presentaron quejas debido a que sus entregas se hacían a destiempo, debido a esto los usuarios comenzaron a presentarse en la ventilla para recoger sus vales como anteriormente se estaba realizando, motivo por el cual el objetivo no se alcanzó al 100%.

Actuar

La falta del personal solicitado obligaba a sustraer personal de la recepción y acomodo de materiales de sus actividades para destinarlo a preparar vales de consumo o a preparar los vales a destiempo.

Mientras que la programación anterior del MIA representaba un reto para el acomodo de los vales respecto a su ruta, pues estos se acumulaban sin una división entre áreas, finalmente se tuvo que plantear un nuevo plan para iniciar otro ciclo PDCA.

Planear (2)

Al iniciar el nuevo plan se tuvo como objetivo eliminar las 2 principales razones de las entregas a destiempo; Referente a la programación del sistema MIA se hicieron las siguientes solicitudes al área de sistemas y análisis de datos:

- Al registrar su vale debe ser obligatorio indicar responsable de recibir el material y número de teléfono o canal de radio.
- Los usuarios no podrían elegir horarios distintos a los propuestos para entrega.
- Deberán seleccionar entre una de las rutas de entrega, haciendo esto deberán seleccionar la estación más cercana a su ubicación.
- En el menú de preparación los vales se deberán dividir entre las rutas establecidas.

Mientras que la solución planteada para resolver la falta de personal fue agregar un día laboral extra al personal destina al surtimiento Milk Run.

Hacer (2)

Para lograr el nuevo objetivo de eliminar las 2 principales razones de las entregas a destiempo se plantearon 3 actividades siendo la primera la asignación de 5tos días de trabajo (jornada normal = 4 días a la semana) a los colaboradores que desempeñaban las funciones de Picker y Water Spider, de este modo habría al menos 3 personas trabajando el mismo día, mientras que 2 se dedicaban a armar los vales la tercera persona atendía las rutas Milk Run.

La segunda actividad consistió en solicitar al área de Sistemas y análisis de datos una actualización al sistema contemplando los puntos solicitados en la fase de planear.

Verificar (2)

La tercera actividad consistió en evaluar los resultados y aprendizajes generados en este nuevo ciclo, siendo el resultado totalmente satisfactorio dado que en la segunda corrida del ciclo PDCA se logró cumplir con el objetivo propuesto en la primera corrida haciendo cumplir el objetivo de la segunda, es decir, la fila del almacén de refacciones se eliminó completamente entregando el 100% de vales.

Actuar (2)

Aun cuando el objetivo de eliminar la fila de espera se cumplió, se encontraron áreas de mejora, como la necesidad de contar con un remolque que permita cargar más vales a la ruta, ya que los usuarios comenzaron a realizar vales con más materiales.

Comentarios Finales

Resumen de resultados

El nuevo proceso estandarizado se conforma de 3 actividades:

- **Solicitud de pedido:** Los usuarios realizan un vale de consumo desde el sistema de compras, al finalizarlo se genera un número de vale, el cual usará para solicitar la entrega de su material ingresando al MIA donde buscará su vale a través del número generado anteriormente y generará la cita para entrega.
- **Preparación del pedido:** El picker recibe la solicitud del usuario, al abrir el pedido se encontrará con el listado de materiales solicitados visto en la figura 3, los cuales deberá reunir y acomodar, finalmente identifica el paquete con el número de vale, nombre del usuario que recibirá y su número de contacto, mientras el wáter spider realiza la entrega el picker prepara los vales de la siguiente ruta.



Figura 3. Picker armando un vale

- **Surtimiento del pedido:** El water spider carga los pedidos en el vehículo de entregas y realiza su recorrido a las áreas solicitantes, proceso que se observa en la figura 4, por último al terminar la ruta regresa al almacén y carga las entregas de la siguiente ruta.



Figura 4. Usuarios recibiendo su vale

Los indicadores de resultado planteados al inicio del ciclo presentaron un avance satisfactorio al cumplir con 2 de los 3 indicadores .

Indicador Resultado	Julio	Meta 2022	Actual
Entrega de Vales a Domicilio	0%	100%	100%
Tiempo ciclo por traslados y espera	31 minutos	0 minutos	6 minutos
Costo mensual por vales	\$392,590	\$78,518	\$75,985

Cuadro 3. Indicadores de resultado (Final)

En el cuadro 3 se muestra que el indicador que no llegó al resultado es el **Tiempo ciclo por traslados y espera**, cuya meta era de 0 minutos y actualmente es de 6 minutos.

Esto representa el traslado que el personal aún debe hacer desde su área de trabajo hacia el punto de entrega “Pick Up”, pese a esto, el impacto monetario del **Costo mensual por vales** es mayor al planteado como meta.

Conclusiones

Con la implementación del sistema MIA se logró establecer las entregas de materiales a través de las rutas Milk Run lo cual elimino la fila del almacén de refacciones y mitigo los tiempos desperdiciados en traslados y espera gracias a que los usuarios solicitan sus materiales con antelación a su uso por lo cual están disponibles al momento de requerirlos.

Parte importante de la implementación del nuevo proceso fue la capacitación tanto del personal del almacén como la de los usuarios que estuvieron acudiendo a la ventanilla quienes posteriormente enseñaron a sus compañeros a utilizar el MIA.

Cabe destacar el hallazgo del área de oportunidad en el personal existente, permitiendo la optimización de las operaciones del almacén referentes a la recepción de materiales al no tener que disponer de su personal para atender las entregas.

Recomendaciones

Se sugiere analizar las posibilidades de mejora a través del recurso con el cual se dispone buscando el proceso óptimo sin generar gastos adicionales que puedan convertirse en desperdicios al no agregar valor a la operación o restarle impacto.

Referencias

- García Llerena, R. R. & Lozano Gonzales, J. D. (2020). Implementación de mejoras basadas en la metodología Deming para incrementar la productividad del proceso de despacho del almacén de productos terminados en la empresa CHARLIE REPRESENTACIONES SAC, Lima 2019 [Tesis]. Universidad Privada del Norte.
- Garzón, M. A. & Núñez, Z. J. (2014). plan de mejoramiento para los procesos de inventarios del canal retail en la compañía FORUS COLOMBIA [Tesis]. Escuela Colombiana de Carreras Industriales ECCL.
- Ji, H. (2021). Implementación de una heurística para el cálculo de Milk Runs [Tesis]. Universidad de Sevilla.
- Paredes Fernández, D. F. & Vargas Llerena, R. A. (2018). Propuesta de Mejora del Proceso de Almacenamiento y Distribución de Producto Terminado en una Empresa Cementera del Sur del País [Tesis]. Universidad Católica San Pablo.
- Pinilla Parra, R. G. (2019). Metodología para la mitigación de tiempos muertos en procesos de OUTSOURCING [Tesis]. Universidad Militar Nueva Granada.
- Torres Ortiz, J. J. (2018). Propuesta de Mejora del Sistema de Almacenamiento y Distribución Interna (Lay-out) de las Bodegas de una Empresa dedicada a la Venta al por Mayor de Productos Plásticos [Tesis]. UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA DEL ECUADOR.

Formas de Daño Mecánico en Espigas de Rodillos de Lona de una Máquina de Papel

Castellanos-Meneses H¹; Hernández-Méndez F¹; Hernández-Aguilar AJ¹; Contreras-Hernández A¹; Fernández-Cueto MJ^{1,*}
1 TecNM-IT de Tuxtepec. Av. Dr. Víctor Bravo Ahuja s/n, col. Predio El Paraíso, Tuxtepec Oax.

*Autor de Correspondencia: martin.fc@tuxtepec.tecnm.mx

Resumen

Formas de daño mecánico presentadas en rodillos de lona tipo B de una máquina de papel fueron evaluadas, las cuales presentaron fractura en las espigas. El análisis teórico, los ensayos no destructivos por líquidos penetrantes y la evaluación mediante el diagrama de evaluación de defectos determinaron la aptitud para el servicio para las condiciones analizadas, esto para evitar la ocurrencia de nuevas fallas. Las formas de daño mecánico afectaron la operación de la máquina de papel, por los paros ocasionados en el proceso de producción, siendo necesario detener la máquina para realizar el reemplazo de un rodillo dañado por otro rehabilitado. Se determinó la causa raíz que produjo la forma de daño mecánico, siendo necesario modificar las tapas en su diseño, para evitar que se produzca daño mecánico en las espigas de los rodillos de lona tipo B.

Palabras clave

Formas de daño mecánico, espigas de rodillos de lona, máquina de papel, comportamiento mecánico, aptitud para el servicio

Introducción

Una fábrica de papel consta de varias máquinas para producir papel en sus diferentes variedades como el papel kraft, papel bond o papel periódico, teniendo diferentes áreas como formación, prensas, calandra, desenrollador y secadores. Cada área tiene un número importante de rodillos por donde se conduce y procesa la pasta que va conformando la película de papel (Alejandro, 2016), siendo observable de manera particular el área de secadores, formada por secciones con rodillos denominados A, B y D, siendo los rodillos tipo B el caso de estudio seleccionado.

Los rodillos se forman por un cuerpo cilíndrico metálico, construido con tubería de acero con o sin recubrimiento, en cuyos extremos se colocan espigas metálicas desmontables, soportadas en chumaceras de rodamientos de rodillos cónicos. Los rodillos de lona tipo B, de la sección de secadores de la máquina de papel no. 1 presentan un diámetro exterior de 13.937", diámetro interior de 12.992", longitud de cara 189", longitud entre centro de rodamientos de 211", longitud total de 212.562". La construcción se realizó con tubo de acero al carbón sin costura, con especificación API 5L/ASTM A 106/A53B, cabezas mecano-soldadas con placas de acero ASTM A36 y tubo AISI 1518 y espigas de acero AISI 4140-T, con pre balanceo y balanceo dinámico a 650 m/min bajo las normas ISO 1940 y UNI 4218 en la escala de g2.5.

Las tapas colocadas en los extremos de los rodillos presentaron un diseño original con formas suavizadas, las cuales permiten reducir el efecto de concentración de esfuerzos en la zona de interacción con las espigas (Ortega, García, Rocha, & Guzmán, 2013). Al sustituirse este diseño por otro de tapa plana, por efectos dinámicos se inducen esfuerzos de contacto entre partes metálicas, conduciendo a la fatiga y fractura experimentadas por servicio.

Desarrollo

En base a la información proporcionada por el área de PCM, se pudo realizar la definición de la geometría de las espigas, los materiales y las cargas aplicadas en los elementos por analizar (figura 1).

Se realizó la evaluación de los historiales de fallas reportadas y la evaluación de las condiciones de los especímenes retirados de servicio, mediante un examen fractográfico de las espigas que presentaron fractura mecánica. La preparación de las superficies se realizó mediante limpieza con cepillo suave y solución decapante de manera cuidadosa, para no alterar la superficie de fractura (figura 2).

Se evaluó de manera parcial la rehabilitación de las espigas realizada por proveedores externos, pudiendo observar el proceso de desmontaje y montaje de los rodillos 12B y 24B, así como el vaciado de las espigas realizado en el taller mecánico de la planta (figura 3).

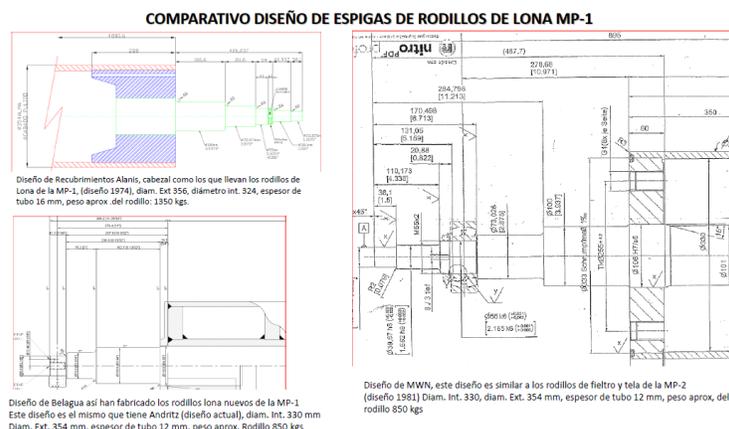


Figura 1. Definición de la geometría de las espigas en rodillos de lona tipo B



Figura 2. Preparación de las superficies para el examen fractográfico



Figura 3. Montaje y rehabilitación de espigas en rodillos de lona tipo B

Se realizó la evaluación del comportamiento mecánico mediante análisis teórico, considerando la información proporcionada. Se utilizaron las ecuaciones de la mecánica del medio continuo (Beer, Johnston, DeWolf, & Mazurek, 2010) para determinar los esfuerzos producidos en las espigas libres de defectos, para contrastarlos con la resistencia a la cedencia del material al asumir el criterio de falla correspondiente. Se evaluó también el estado de esfuerzos ante la presencia de defectos en forma de grieta, los cuales son causa inicial de una falla por fatiga, al tenerse una forma de daño que pasa de concentrador a intensificador de esfuerzo, con crecimiento a través del diámetro desde su aparición hasta una forma de tamaño crítico, que condujo a una forma de daño final por la aplicación repetida de ciclos de servicio. Pruebas no destructivas en elementos mecánicos usando la técnica de líquidos penetrantes permitieron conocer la condición de las espigas en un rodillo rehabilitado y para espigas en rodillos retirados de servicio (figura 4).



Figura 4. Ejecución de prueba de líquidos penetrantes

La evaluación por mecánica de fractura usando el diagrama de evaluación de defectos (González, 2004) se realizó, considerando una grieta iniciada en cualquier punto de la periferia de la espiga y creciendo a través del diámetro (figura 5). Un defecto de este tipo por efecto de la aplicación de los ciclos repetidos de servicio, crecerá hasta que, el ligamento remanente en el material ya no resista la carga aplicada y la espiga fracture completamente.

Finalmente se determinó la aptitud para el servicio de las espigas de los rodillos de lona, para las condiciones analizadas y propuestas de mejora. Se estableció la secuencia probable de falla y se señaló la causa de generación de las grietas, con la propuesta de solución para reducir o evitar la ocurrencia del daño.



Figura 5. Fractografía en espigas de rodillos de lona tipo B con registro 2 y 4

Resultados

Identificados los procesos y componentes en la máquina de papel no. 1, se determinaron los rodillos de lona susceptibles de presentar daño por fractura mecánica en sus espigas, identificados como rodillos de lona tipo B (figura 6). La condición en la que se encontraron los especímenes retirados de servicio se muestra en la figura 7, donde se puede observar dos espigas con fractura (2 y 4), en tanto que las otras 4 mostraron daño por desgaste y picadura por corrosión.



Figura 6. Rodillos de lona tipo B
susceptibles de daño por fractura mecánica



Figura 7. Condiciones en espigas de
rodillos retirados de servicio

Se realizó una revisión de la condición encontrada en las espigas de los Rodillos de lona tipo B preparados para sustitución (figura 8) por inspección visual, sin registro de daño significativo en inspección visual mostrando solo picaduras por corrosión y daño por aplastamiento en la zona de contacto con la tapa curva, en tanto que en el rodillo con tapas planas en los extremos presentó un defecto en forma de grieta en todo el perímetro circunferencial.

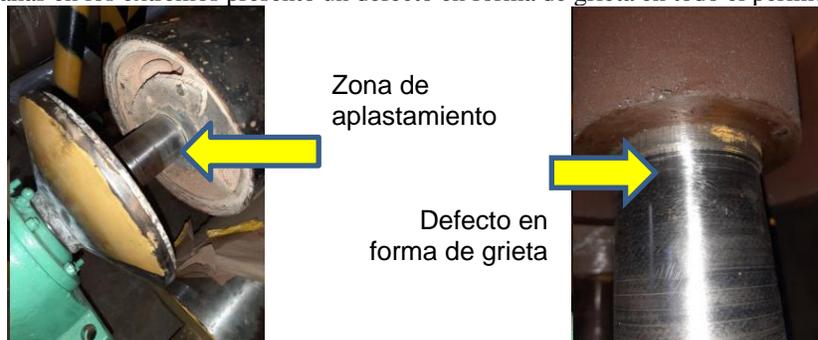


Figura 8. Condición mostrada en espigas de rodillos para sustitución

Se realizó una evaluación del comportamiento mecánico mediante análisis teórico, considerando las características de los rodillos en su geometría, materiales y cargas (tabla 1), sin observar no conformidades.

Tabla 1. Compendio de datos y cálculos en rodillos de lona tipo B

D	Potencia P	n		T	FCE		T	c	J	τ	Mzc	Izc	σ_{zc}	σ_{comb}	σ_y	FS	
mm	HP	kgm/s	rpm	rad/s	kgm	K	Kt	Nmm	mm	mm ⁴	MPa	Nmm	mm ⁴	MPa	MPa	MPa	adim.
55.00	1000	76000	722.8	75.7	1004.1	1.00	1.00	9850672.5	27.5	898360.5	301.5	86053.3	449180.3	5.3	306.8	539.6	1.76
73.03	1000	76000	722.8	75.7	1004.1	2.40	1.55	9850672.5	36.5	2791811.9	199.7	403750.2	1395906.0	10.6	210.2	539.6	2.57
100.00	1000	76000	722.8	75.7	1004.1	1.60	1.25	9850672.5	50.0	9817477.0	62.7	1081880.7	4908738.5	11.0	73.7	539.6	7.32
106.00	1000	76000	722.8	75.7	1004.1	1.70	1.40	9850672.5	53.0	12394338.6	59.0	1332033.7	6197169.3	11.4	70.4	539.6	7.67
101.00	1000	76000	722.8	75.7	1004.1	1.00	1.00	9850672.5	50.5	10216106.0	48.7	11172339.2	5108053.0	110.5	159.1	539.6	3.39
55	1000	76000	722.8	75.7	1004.1	1.00	1.00	9850672.5	27.5	898360.5	301.5	86053.3	449180.3	5.3	306.8	539.6	1.76
72.974	1000	76000	722.8	75.7	1004.1	1.90	1.40	9850672.5	36.5	2784021.0	180.7	403750.2	1392010.5	10.6	191.3	539.6	2.82
100	1000	76000	722.8	75.7	1004.1	1.96	1.38	9850672.5	50.0	9817477.0	69.2	1081880.7	4908738.5	11.0	80.3	539.6	6.72
116	1000	76000	723.8	75.8	1002.8	1.45	1.34	9837061.9	58.0	17775910.3	43.0	1332033.7	8887955.2	8.7	51.7	539.6	10.44
55	1000	76000	722.8	75.7	1004.1	1.00	1.00	9850672.5	27.5	898360.5	301.5	86053.3	449180.3	5.3	306.8	539.6	1.76
73	1000	76000	722.8	75.7	1004.1	2.40	1.60	9850672.5	36.5	2787990.8	206.3	403750.2	1393995.4	10.6	216.9	539.6	2.49
100	1000	76000	722.8	75.7	1004.1	1.60	1.30	9850672.5	50.0	9817477.0	65.2	1081880.7	4908738.5	11.0	76.2	539.6	7.08
110	1000	76000	722.8	75.7	1004.1	1.85	1.44	9850672.5	55.0	14373768.1	54.3	2437093.4	7186884.1	18.7	72.9	539.6	7.40

Se realizaron Ensayos no destructivos en espigas nuevas y en espigas retiradas de servicio, usando la técnica disponible que fue la de los líquidos penetrantes, en un rodillo de tapa curva y otro de tapa plana (figura 9).



Figura 9. Secuencia de aplicación de líquidos penetrantes en rodillos de tapas curva y plana

La falla fue producida en las espigas de los rodillos de lona tipo B identificados como 2 y 4 (figuras 10 y 11), por una fractura por fatiga del tipo dúctil, mostrando el punto de inicio de grieta y propagación hasta la falla por fractura frágil, lo cual fue revelado por el examen fractográfico de los especímenes retirados de servicio.



Figura 10. Zona de fractura en rodillo de lona tipo B 2



Figura 11. Zona de fractura en rodillo de lona tipo B 4

Para la configuración mostrada en los casos retirados de servicio, la forma y geometría de la región de fractura permitió estimar de manera aproximada los factores de intensidad de esfuerzos durante las diversas etapas del crecimiento de la grieta en fatiga, los cuales se presentan en la tabla 2.

Se pudo evidenciar que la configuración de diseño de la espiga no representa riesgo de falla durante las condiciones de operación del rodillo de lona tipo B, verificándose al evaluar al mismo por el criterio de resistencia. El factor de esfuerzos analizado en la circunstancia más crítica resultó ser mayor que uno.

Tabla 2. Evaluación de los parámetros de fractura

a , mm	K_I , MPa \sqrt{m}	K_{Ic} , MPa \sqrt{m}	σ , MPa	σ_y , MPa	L_r	K_r
1	12,765	180	216,9	539,6	0,402	0,071
5	29,903	180	218,2	539,6	0,404	0,166
10	46,133	180	220,1	539,6	0,408	0,256
20	70,679	180	223,5	539,6	0,414	0,393
40	123,022	180	240,0	539,6	0,445	0,683
50	180,526	180	270,0	539,6	0,500	1,003
60	282,508	180	350,0	539,6	0,649	1,569

Con los datos del esfuerzo producido y los factores de intensidad de esfuerzos evaluados, se calcularon los valores de K_r y L_r , y se procedió con la construcción del diagrama de evaluación de fallas (figura 12).

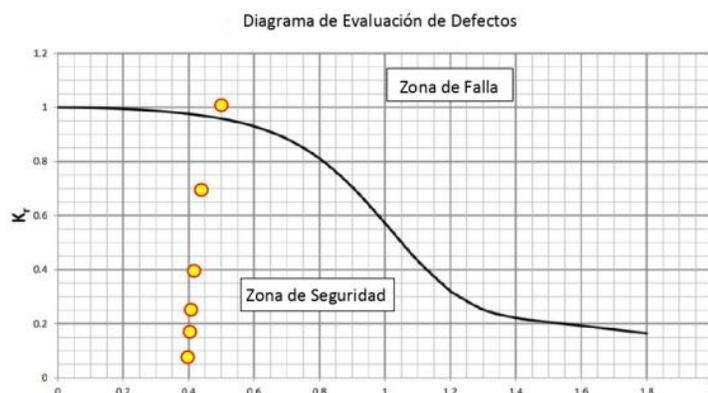


Figura 12. Evaluación mediante el Diagrama de Evaluación de Fallas (FAD)

La reducción en la severidad de las condiciones asumidas permitirá encontrar valores más favorables para el factor de seguridad, por lo que se descarta la posibilidad de falla por el criterio de resistencia.

La espiga puede trabajar satisfactoriamente, si no se presentan defectos como los aquí evaluados, notándose que en la condición evaluada, las tapas de rodillos en forma de placa plana, generan un efecto de cizalla en la espiga durante el trabajo cíclico de los rodillos. Basta con que el defecto en forma de grieta se genere para que este pueda desarrollarse hasta un tamaño crítico, por el efecto repetido de las cargas de servicio.

La formación del defecto en forma de grieta se puede evitar si se modifica el diseño de la tapa usada actualmente en los extremos de los rodillos, la cual no concuerda con las propuestas de diseño originales en la máquina de papel no. 1. Se presentaron una serie de propuestas para que la empresa pueda considerar una posible sustitución de la configuración usada actualmente.

Discusión de resultados

El material usado en la construcción de las espigas debe reunir los criterios de resistencia, rigidez y tenacidad. (Aponte, 2001) El material usado deberá vigilarse cumpla con estos requerimientos, para evitar una falla en el ensamble del rodillo. Un material con adecuada resistencia y tenacidad operará adecuadamente bajo las condiciones de diseño y servicio actuales.

Es la presencia de defectos en forma de grieta lo encontrado como evidencia contundente en el proceso de falla por fatiga y fractura en los rodillos de lona tipo B. El diseño de la tapa original se sustituye en algunos rodillos, por un elemento placa plano, que produce durante la operación el corte de las espigas como forma de daño inicial.

Los ciclos de servicio hacen que la grieta crezca en tamaño y distribución a través del diámetro, lo que llevará en el tiempo de funcionamiento a una falla inminente en las espigas, en tanto no se modifiquen favorablemente las condiciones de servicio o de la configuración de la tapa.

El uso de un diseño original podría mitigar la forma de daño en las espigas, las cuales, por inspección visual, presentaron solo esfuerzos de aplastamiento en la zona de contacto con la tapa (figura 13).



Figura 13. Conducta del diseño original de la tapa

Conclusiones

- La falla presentada en las espigas de rodillos de lona de la Máquina de papel No. 1 se originó por defectos en forma de grieta, producidos por contacto entre estas y la tapa plana colocada en los extremos del cilindro.
- Los defectos en forma de grieta se desarrollaron hasta un tamaño crítico, con una secuencia determinada por las marcas de playa observadas desde el examen fractográfico macro, alcanzando la fractura final de las espigas mostrando un aspecto de clivaje.
- El material para la construcción de las espigas deberá tener una resistencia a la cedencia mayor o igual a los 539 MPa, con tenacidad a la fractura del orden de los 175 MPa√m, para ofrecer un adecuado comportamiento mecánico ante las cargas impuestas por servicio y la eventual presencia de defectos originados durante su fabricación o por el material utilizado en su manufactura.

Referencias

- Alejandro, B. H. (2016). *Rediseño, fabricación y montaje de una sección de secado en una línea de producción de papel*. Ciudad de México.
- Aponte Rodríguez, J. A., & Villazón Amaris, H. A. (2001). Aspectos básicos de los materiales usados en ingeniería. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, (11),35-40.[fecha de Consulta 17 de Febrero de 2023]. ISSN: 0124-8170. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=91101106>
- Beer, F., Johnston, E., DeWolf, J., & Mazurek, D. (2010). *Mecánica de Materiales*. Ciudad de México: McGraw Hill.
- González, V. J. (2004). *MECÁNICA DE FRACTURA*. Ciudad de México: LIMUSA.
- Ortega, H. F., García, G. J., Rocha, R. G., & Guzmán, V. A. (2013). ANÁLISIS DE ESFUERZOS EN PLACAS PLANAS SOMETIDAS A CARGA AXIAL. *MEMORIAS DEL XIX CONGRESO INTERNACIONAL ANUAL DE LA SOMIM* (págs. 478-487). PACHUCA, HIDALGO, MÉXICO: SOMIM.

Notas biográficas

Hugo Castellanos Meneses estudió la Maestría en Electrónica en la Universidad del Centro de Veracruz. Es Ingeniero en Electrónica por el TecNM-IT de Veracruz. Labora como Jefe eléctrico de Drive en la empresa BIOPAPPEL SA de CV, plantas Oaxaca y Veracruz. Es Docente en el TecNM-IT de Tuxtepec.

Fernando Hernández Méndez estudió la Maestría en Educación en la UMad. Es Ingeniero Electromecánico egresado del TecNM-IT de Tuxtepec. Actualmente es Docente en el TecNM-IT de Tuxtepec.

Antonio José Hernández Aguilar estudió la Licenciatura en Ingeniería Electromecánica en el TecNM-IT de Tuxtepec. Actualmente es Jefe del Departamento de Metalmeccánica y Docente en la misma Institución.

Álvaro Contreras Hernández estudió la Maestría en Ciencias en Ingeniería Mecánica en el TecNM-IT de Veracruz y Cursó el Programa Doctoral en Ingeniería Mecánica en la ESIME del IPN. Egresó como Ingeniero Electromecánico en el TecNM- Tuxtepec donde trabaja como Docente.

Martín Julián Fernández Cueto estudió el Programa Doctoral en Metalurgia y Materiales en la ESIQIE-IPN y la Maestría en Ciencias en Ingeniería Mecánica en el TecNM-IT de Veracruz. Actualmente es Docente en el TecNM-Instituto Tecnológico de Tuxtepec.

Aprovechamiento Biotecnológico de la Cáscara de Naranja (*Citrus sinensis*) Cultivada en la región del Cedral Papantla, Veracruz para la Obtención de Pectina y Aceite Esencial

Ing. Liliana Castillo Rodríguez¹, Dra. Aleida Selene Hernández Cázares²,
Dr. Juan Valente Hidalgo Contreras³, Dr. Marlon Rojas López⁴, Ing. Pricila García Román⁵ y Dra. María Antonieta Rios Corripio⁶

Resumen— Los cítricos como la naranja son fuente de pectina y aceites esenciales. La naranja mexicana ocupa el 5° lugar en la producción mundial, con 4.5 millones de toneladas y Veracruz es el líder en volumen de producción en México. En los últimos años, la producción en la región norte del estado de Veracruz ha sido afectada por diversos factores como el cambio climático, deficiencias en la nutrición, enfermedades y mal manejo de las huertas causando una merma importante en las ganancias de los citricultores, situación que se agudiza cuando esta producción es desechada y se convierte en un foco de contaminación. Derivado de esta problemática surgen alternativas de aprovechamiento para estos residuos, una de ellas es la extracción de pectinas y aceites esenciales. En este estudio se logró extraer la pectina de la cáscara de naranja mediante el método de hidrólisis ácida y los aceites esenciales por el método arrastre de vapor. Para corroborar la extracción de ambos compuestos se compararon los estándares de pectina y aceite esencial con las muestras extraídas utilizando la espectroscopia infrarroja FTIR. Este tipo de investigaciones aportan conocimiento para su uso comercial; además beneficia al productor, se generará mayor uso y valor agregado a un desecho de la cosecha de naranja e impactará en el desarrollo de la región.

Palabras clave—Naranja, pectina, aceite esencial, FTIR, Veracruz.

Introducción

A nivel mundial, el cítrico que más se produce y se comercializa es la naranja. En México, los cítricos son un producto agrícola básico porque, además de ser parte sustancial de la dieta de la población, generan un importante número de empleos e ingresos. De acuerdo con el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), el cítrico que más se consume en México es la naranja, con un promedio de 34 kilos per cápita. En los últimos años nuestro país ha ocupado el quinto lugar en el mundo en producción de cítricos; 12% de lo que se produce se vende a otros países y 88% se destina al consumo interno. En México, 23 estados cultivan y cosechan cítricos. Veracruz, San Luis Potosí y Tamaulipas son aquellos que destacan por su elevada producción. Veracruz a nivel nacional aporta el 50 % de la producción y genera cuatro de cada diez pesos por la venta de este cítrico (INEGI, 2020).

En los últimos años, la producción de cítricos en la región norte del estado de Veracruz se ha visto afectada por diversos factores como el cambio climático, deficiencias en la nutrición, enfermedades y mal manejo de las huertas causando una merma importante en las ganancias de los citricultores, situación que se agudiza cuando esta producción se desechada y se genera un foco de contaminación (SADER, 2021). Derivado de esta problemática surgen alternativas de aprovechamiento para estos residuos una de ellas es la extracción de pectinas y aceites esenciales. La cáscara de los cítricos es rica en pectina, pero varía su contenido según la estación de cosecha y la variedad. La pectina, como un hidrato de carbono, está formada por polisacáridos compuestos, esencialmente por cadenas de ácidos galacturónicos unidos en alfa 1 – 4 (Crispin et al. 2011). De acuerdo al grado de esterificación (GE), las pectinas forman geles en un medio ácido y alta concentración de azúcar (pectinas de alto GE- mayor a 50 %), o por interacción con cationes divalentes (pectinas de bajo GE – menor a 50 %) (Lodge y Nguyen, 1999). Las pectinas son ampliamente utilizadas en la industria de los alimentos como aditivos o agentes hidrocoloides por lo que son fundamentales en el

¹ Ing. Liliana Castillo Rodríguez estudiante de la Maestría en Ciencias en Innovación Agroalimentaria Sustentable en el Colegio de Postgraduados Campus Córdoba, Veracruz. castillo.liliana@colpos.mx

² Dra. Aleida Selene Hernández Cázares Profesora Investigadora Titular Colegio de Postgraduados Campus Córdoba, Veracruz. aleyse@colpos.mx

³ Dr. Juan Valente Hidalgo Contreras Profesor Investigador Titular Colegio de Postgraduados Campus Córdoba, Veracruz. jvhidalgo@colpos.mx

⁴ Dr. Marlon Rojas López Profesor Investigador del Centro de Investigación en Biotecnología Aplicada del Instituto Politécnico Nacional. marlonr1@yahoo.com.mx

⁵ Ing. Pricila García Román estudiante de la carrera de Ingeniería en Industrias Alimentarias del Instituto Tecnológico Superior de Tepeaca. prici.gar.18@gmail.com

⁶ Dra. María Antonieta Rios Corripio Profesora Investigadora Cátedra CONACYT adscrita al Colegio de Postgraduados Campus Córdoba, Veracruz. rios.antonietta@colpos.mx (autor correspondiente)

procesamiento de los alimentos y como fuente de fibra dietética (Kanse et al. 2017). Para la extracción de pectina se utilizan diferentes métodos en la que destaca el de hidrólisis ácida (Chávez, 2014).

Por otra parte, los aceites esenciales se caracterizan por ser líquidos volátiles constituidos por hidrocarburos alicíclicos y aromáticos, alcoholes, aldehídos, cetonas y ésteres. Estos aceites tienen varios usos en la industria de alimentos, perfumería y farmacéutica (Rueda et al. 2007). La cáscara de naranja contiene 1.5 % en peso de aceite esencial, en el cual el componente mayoritario es el monoterpeno D-Limoneno o (1-Metil-4-(1-Metil Etenil)-Ciclohexano) que se caracteriza por su particular olor a limón (Mercy et al. 2015). Entre los usos más importantes que se le puede dar al aceite esencial de naranja se destaca su actividad antimicrobiana contra los microorganismos *Staphylococcus aureus*, *Listeria monocytogens* y *Pseudomonas aeruginosa* (Geraci et al. 2016). Debido a esto, es necesario realizar estudios con los cuales se busque la posibilidad de obtener a partir de la cosecha de naranja, considerada como un residuo orgánico materia prima con valor agregado para su aplicación en la industria alimentaria, que pudiera generar ganancias económicas para los citricultores.

Descripción del Método

Adquisición de materia prima

Naranja que no fue comercializada en estado de madurez verde se obtuvo de los cultivos ubicados en el Cedral, Papantla, Veracruz. La parte experimental se realizó en el Laboratorio de Ciencias de los Alimentos del Colegio de Postgraduados Campus, Córdoba, Amatlán de los Reyes, Veracruz, México.

Extracción de la pectina de la cáscara de naranja

Las naranjas se sometieron a un lavado con agua a presión, para eliminar impurezas que pudieran intervenir en el proceso, se escurrieron y posteriormente se pelaron y cortaron para obtener la cáscara en pequeños trozos y facilitar extracción de los compuestos, según el método de hidrólisis ácida de Chávez, (2014).

Rendimiento

Una vez obtenida la pectina en polvo se procedió a evaluar el rendimiento y este se calculó a partir de la ecuación 1.

$$\text{Rendimiento (\%)} = \frac{\text{Peso de pectina seca obtenido}}{\text{Peso de la muestra seca}} \quad \text{Ec. 1}$$

Caracterización fisicoquímica de la pectina

La humedad se determinó de acuerdo la metodología propuesta por AOAC (Método 925.09) y se expresó en porcentaje (%); para la determinación del color se utilizó un colorímetro Konica Minolta, CR-400 bajo el análisis de los valores L* (Luminosidad), a*(rojo-verde) y b* (amarillo-azul) de la escala CIELab.

Peso equivalente

El peso equivalente se determinó a partir del método propuesto por Owens, (1952) a partir de una titulación con hidróxido de sodio para obtener un pH de 7.5 usando rojo de fenol. El peso equivalente se calculó a partir de la ecuación 2.

$$\text{Peso equivalente (eq/g)} = \frac{\text{Peso de la muestra} \times 1000}{\text{Vol.del alcali} \times N \text{ del alcali}} \quad \text{Ec. 2}$$

Contenido de Metoxilo (MeO)

La determinación del contenido de metoxilo (MeO) se realizó utilizando el método de Owens, (1952) y se calculó a partir de la ecuación 3.

$$\text{Contenido de metoxilo (\%)} = \frac{\text{Vol.gastados de NaOH} \times 3.1}{\text{Peso de la muestra}} \quad \text{Ec. 3}$$

donde:

Peso molecular del MeO= 31mg/meq

Extracción de aceites esenciales de la cáscara de naranja

La extracción de los aceites esenciales de la cáscara de naranja se realizó siguiendo el método de Mayhuire et al. (2019) con algunas modificaciones.

Caracterización estructural de la pectina y el aceite esencial extraídos por FTIR

Para la identificación de los grupos funcionales presentes en pectina y aceite esencial se utilizó un espectrofotómetro Infrarrojo con Transformada de Fourier (FTIR) (Bruker, Vertex, Wisconsin, EE.UU.) mediante el método de muestreo de Reflectancia Total Atenuada (ATR). Los espectros se obtuvieron por triplicado y se promediaron. Se utilizaron 64 barridos con una resolución de 4 cm^{-1} en la región espectral de $4000\text{-}400\text{ cm}^{-1}$. Para el análisis de los espectros se utilizó el programa Origin 6.1 (OriginLab Corporation, EE.UU.).

Comentarios Finales

Resumen de resultados

Extracción de la pectina de la cáscara de naranja

En la Figura 1 se muestra la materia prima (cáscara de naranja); así como la pectina en polvo extraída por el proceso de hidrólisis ácida a un pH de 2, un tiempo de 40 min y una temperatura de $90\text{ }^{\circ}\text{C}$. La pectina que se obtuvo fue un polvo fino, de color amarillento a café claro, prácticamente inodoro, de sabor dulce agradable, estos resultados coinciden con lo reportado con otros autores para pectina cítrica (Zegada, 2015). Se obtuvo rendimiento del 40.33 %, valor menor comparado con Meza et al. (2017) del 62.33 %, esto puede deberse al método de extracción utilizado ya que en este último se realizó por hidrólisis ácida asistida con Ultrasonidos de Alta Intensidad y la extracción fue para guayaba.

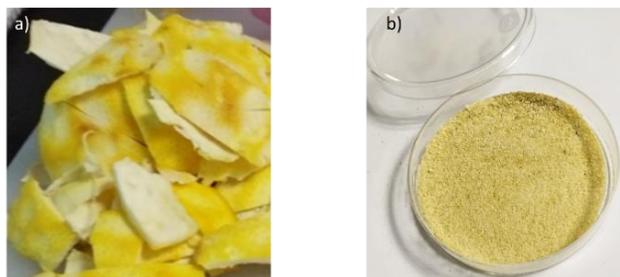


Figura 1. a) Residuos de cáscara de naranja proveniente de la región del Cedral, Papantla, Veracruz, b) pectina en polvo extraída de los residuos de la cáscara de naranja utilizando el método de hidrólisis ácida.

Caracterización fisicoquímica de la pectina

La humedad de la pectina es un factor que incide directamente en su estabilidad, que por sus características químicas permite el crecimiento de microorganismos, especialmente hongos. Una pectina muy húmeda es difícil de pulverizar, se adhiere a las superficies y tiene menor estabilidad y tiempo de vida útil. Aunque una pectina demasiado seca puede ser resistente a la molienda y presentar un color más oscuro y dificultades en la rehidratación en el momento de su uso (Casas, 2015). Para este estudio se reporta un valor del $8.3\pm 0.2\%$, valor que se encuentra adecuado para productos secos, lo que ayuda a evitar que el producto sea susceptible a contaminación por microorganismos, estos resultados son similares a lo reportado por Venzon et al. 2015. Finalmente recordemos que la pectina es una sustancia con una gran habilidad para retener agua, por lo que el contenido de humedad es un parámetro importante para su comercialización, cuyo límite máximo oficialmente establecido es del 12% (Food Chemical Codex, 2003).

Según la FAO (2009) las pectinas comerciales presentan un color blanco, amarillento, verdoso o marrón. La fibra alimentaria, y por tanto las pectinas, no son coloreadas en la naturaleza, sino más bien blancas. Sin embargo, en las paredes vegetales se encuentran pigmentos orgánicos que pueden ser extraídos junto a las pectinas. Los resultados obtenidos en la determinación física del color de la pectina, en el espacio de color CIELab*, se presentan en la Cuadro 1. Los índices de colores obtenidos de a^* y b^* indican una coloración rojo – amarilla con un valor medio de L^* , tienden a arrojar un color marrón. La presencia de color de las pectinas podría indicar que en el proceso de extracción además de pectinas podrían haberse extraído otros compuestos coloreados presentes en la cáscara de naranja o bien por posibles reacciones de pardeamiento (Wang et al. 2015).

Cuadro 1. Determinación del color de pectina extraída por el método de hidrólisis ácida

Parámetros	Resultados
L*	50.18±0.21
a*	4.98±0.11
b*	27.66±0.11
color	

Peso equivalente

El peso equivalente (PE) nos permite determinar el poder gelificante y la viscosidad de la pectina, ya que estas características están muy asociadas con el peso molecular y el tamaño de las cadenas pécticas (Ortuño, 1999). En este estudio se obtuvo un valor de 2332.72 ± 75.23 eq/g, valor menor comparado con el de Meza et al. (2017) de 2784.05 ± 154.35 eq/g. El PE se encuentra asociado con la cantidad de grupos carboxilos libres que conforman la cadena de pectina y que los mismos aumentan con el estado de madurez del fruto. El aumento del PE tiene una influencia sobre propiedades físicas de las pectinas, como la viscosidad; la cual, a su vez, se encuentra relacionada con la formación de geles, por lo que un alto peso molecular genera una pectina más viscosa, la cual facilita la formación del gel (Owens et al. 1944).

Contenido de Metoxilo (MeO)

Las pectinas se dividen en pectinas de alto metoxilo con grado de metilesterificación (GME) mayor al 50% y de bajo metoxilo (LMP) con GME menor al 50% (Hosseini et al. 2016). En este estudio se obtuvo un valor de 3.62 ± 0.12 % valor menor comparado al de Castro, (2012) de 6.33 ± 0.20 %. Con gran potencial como espesante o gelificante en presencia de calcio o sistemas bajos en solidos solubles (Hosseini, 2016).

Caracterización estructural de la pectina y el aceite esencial extraídos por FTIR

En los espectros FTIR de la Figura 2 las bandas de particular importancia para la determinación del grado de GME son aquellas que aparecen alrededor de 1627 cm^{-1} y 1742 cm^{-1} y son indicadoras de grupos carboxilos libres y esterificados, los cuales son útiles para la identificación de pectinas de alto y bajo metoxilo. Este espectro muestra un alargamiento pronunciado a 1627 cm^{-1} que corresponde a la banda de vibración de tensión simétrica del grupo COO^- , mientras que la banda que aparece a 1742 cm^{-1} corresponde a los grupos carbonilos de los grupos COOH y de los grupos acetilos (COOHCH_3) de la pectina. La banda en 1066 cm^{-1} está asociada al enlace C-O-C asociados a grupos metoxilo (Manrique y Lajolo, 2002).

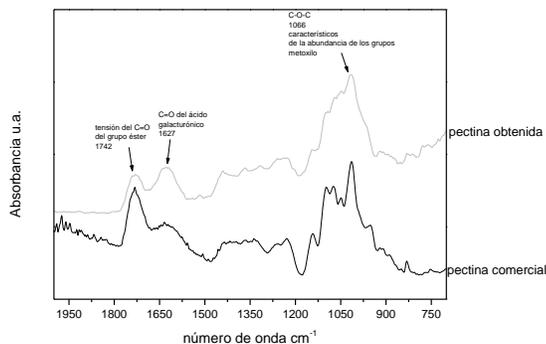


Figura 2. Espectros FTIR de pectina obtenida y pectina comercial en la región de 2000 a 700 cm^{-1}

En la Figura 3 se muestra el espectro del aceite esencial de naranja extraído, se confirma la presencia de radical metilo e instauraciones, debidas a alquenos o aromáticos. También señales pequeñas de presencia de aldehídos y ester. De esta manera se puede inferir que el aceite esencial de naranja contiene D-Limoneno, el cual contiene radical metilo, y dos instauraciones de metileno en su estructura además de contenidos leves de ester y aldehídos (Sarria, 2021). Por otra parte, se puede observar que el espectro FTIR del aceite comercial presenta similitud en cuanto a línea base con el espectro del aceite esencial extraído.

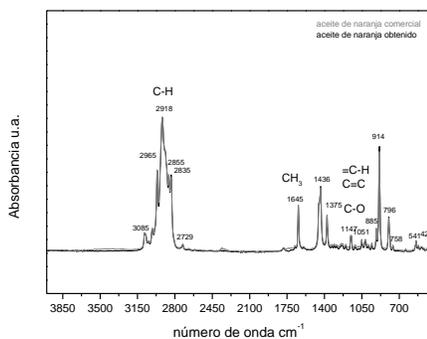


Figura 3. Espectros FTIR de aceite esencial de naranja extraído y aceite esencial de naranja comercial en la región de 4000 a 400 cm^{-1}

Conclusiones

En este estudio se demostró que es posible extraer pectina utilizando el método de hidrólisis ácida y aceite esencial por arrastre de vapor de cáscara de naranja. Se encontró pectina de bajo metoxilo, parámetro que coincide con los resultados reportado por otros autores para pectinas cítricas. El análisis FTIR nos permitió identificar las bandas de absorción de los grupos característicos de pectina y aceite esencial al compararlos con los espectros de los estándares se encontró similitud en su línea base lo que indica que la pectina y el aceite esencial extraídos a partir de un residuo de la cosecha de naranja puede utilizarse como materia prima de calidad en la industria alimentaria.

Recomendaciones

Identificar y cuantificar los compuestos fenólicos y azúcares, los cuales pueden contribuir con grupos hidroxilos en la determinación final del grado de metoxilo debido a que esta determinación se realiza por medio de titulación. Establecer la formulación requerida para aplicar las pectinas extraídas en el presente trabajo de investigación en un producto alimentario o como biopolímero para el desarrollo de empaques biodegradables.

Referencias

- A.O.A.C: Association of Official Analytical Chemists. Official Methods of Analysis. (2005). Methods 925.09: Moisture in cassava - air oven methods.
- Casas-Orozco, D., Villa, A. L., Bustamante, F., & González, L. M. (2015). Process development and simulation of pectin extraction from orange peels. *Food and Bioproducts Processing*, 96, 86–98.
- Castro ME, Sepulveda A. (2012). Estudio de la factibilidad técnica y económica de una planta extractora de pectina a partir de los residuos generados por el proceso de industrialización en la naranja (*Citrus Sinensis*). Universidad Industrial de Santander.
- Crispin, L. M., Caro, R. R., & Veiga, M. D. (2011). Pectina: Usos Farmacéuticos y Aplicaciones Terapéuticas. *Universidad Complutense de Madrid*.
- FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2009). FAOSTAT
- Food Chemical Codex. (2003). Monograph on Pectin. 5th edn. National Academy of Sciences, Inc., Washington
- Geraci, A., Stefano, V. D., Martino, E. D., Schillaci, D., & Schicchi, R. (2016). Essential oil components of orange peels and antimicrobial activity. *Natural Product Research*, 31(6), 2-6.
- Hosseini, S. S., Khodaiyan, F., & Yarmand, M. S. (2016). Optimization of microwave assisted extraction of pectin from sour orange peel and its physicochemical properties. *Carbohydrate Polymers*, 140, 59–65.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). (2020). Censo agropecuario
- Kanse, N. G., Chirag, S., Swapnil, S., & Vishal, S. (2017). Extraction of Pectin from Orange Peel's and Its Applications: Review. *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*, 6(9)
- Lodge, N. & T. Nguyen. (1999). Characterization of a crude kiwifruit pectic extract. *Journal of Food Science*, 52(4):1095-1096.

- Manrique, G. D., & Lajolo, F. M. (2002). FT-IR spectroscopy as a tool for measuring degree of methyl esterification in pectins isolated from ripening papaya fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 25(1), 99–107.
- Mayhuire, E., Huamani, Y., Zanardi, L. M., & Medina, E. (2019). Biopelículas producidas con cáscaras de naranja y reforzadas con celulosa bacteriana. Universidad Nacional San Agustín de Arequipa. Perú: *Revista Soc. Química*. Obtenido de <http://www.scielo.org.pe/pdf/rsqp/v85n2/a10v85n2.pdf>
- Mercy Nisha, P., Nithyalakshmi., & Aadhithiya, L. (2015). Extraction of orange oil by improved steam distillation and its characterization studies. *International Journal of Engineering Technology, Management and Applied Sciences*, 3(2), 1-8.
- Meza-Gaspar T, Váquiro-Herrera HA, Castillo-Zamudio RI, Paniagua-Martínez I, Ozuna C, Corona-Jiménez E. (2017). Obtención de pectina de guayaba (psidium guajava l. var. media china) mediante hidrólisis ácida asistida con ultrasonido de alta intensidad. *Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 2, 575-581.
- Ortuño, Á. (1999). Introducción a la química industrial. Reverté.
- Owens, H. (1952). Methods used at Western Regional Research Laboratory for extraction and analysis of pectic materials.
- Owens, H., Lotzkar, H., Merrill, R., & Peterson, M. (1944). Viscosities of pectin solutions. *Journal of the American Chemical Society*, 66(7), 1178–1182.
- Rueda, Y., Lugo, M., & Parada, P. (2007). Estudio del aceite esencial de la cáscara de naranja dulce (*Citrus sinensis*, variedad valencia) cultivada en Labateca (Norte de Santander, Colombia). *Bistua*, 5(1), 3-8
- Sarria-Villa, R.A.; Gallo-Corredor, J.A.; Urbano, F. (2021). Caracterización de los aceites esenciales del *Pinus oocarpa* por cromatografía de gases-espectrometría de masas (Gc-Ms) Aceites Esenciales by Gc-Ms. *Revista EIA*, 18(35), Reia35016. pp. 1-11.
- Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER). (2021). La naranja en la citricultura nacional. *Claridades Agropecuarias*. 19(5):23-56.
- Venzon, S. S., Canteri, M. H. G., Granato, D., Demczuk, B., Maciel, G. M., Stafussa, A. P., & Haminiuk, C. W. I. (2015). Physicochemical properties of modified citrus pectins extracted from orange pomace. *Journal of Food Science and Technology*, 52(7), 4102–4112.
- Wang, W., Ma, X., Xu, Y., Cao, Y., Jiang, Z., Ding, T., Liu, D. (2015). Ultrasound-assisted heating extraction of pectin from grapefruit peel: Optimization and comparison with the conventional method. *Food Chemistry*, 178, 106– 114.
- Zegada Franco Vanesa Y. (2015) Pectin extraction from orange peels waste by microwave assisted acid hydrolysis (MWAH). *Investigación & Desarrollo*, No. 15, Vol. 1: 65 – 76 ISSN 2518-4431.

Producción de Bioenergéticos a partir de Residuos Sólidos Urbanos Orgánicos Complejos

María Fernanda Castillo-Vargas¹, Erik Samuel Rosas-Mendoza²,
Alejandro Alvarado-Lassman¹ y Norma Alejandra Vallejo-Cantú¹

Resumen— El objetivo de la presente investigación es el aprovechamiento los Residuos Sólidos Urbanos (RSU) para su transformación en bioenergéticos. Se utilizó la carbonización hidrotermal para la conversión de los RSU provenientes de una planta de separación municipal, se utilizaron diferentes temperaturas (180, 190, 200 y 210 °C) y tiempos de residencia (1, 2 y 3 Horas) se obtuvo un producto sólido y uno líquido que se usó como sustrato para la Digestión Anaerobia en un Reactor Anaerobio Híbrido operado en modo continuo evaluándose la producción de Biogás y el rendimiento de metano. El acoplamiento de ambos métodos logra la obtención de un combustible sólido con un poder calorífico superior a los 15 MJ/Kg en la primera etapa y biogás con rendimientos de metano de hasta 0.34 LCH₄/gDQOrem en condiciones de 180 °C 1 H con una eficiencia de remoción de la DQO cercana al 100 % en la segunda etapa.

Palabras clave— Bioenergéticos, Carbonización Hidrotérmica, Digestión Anaerobia, Residuos Sólidos Urbanos Orgánicos.

Introducción

Actualmente se busca reducir la producción de energía a partir de combustibles fósiles ya que estos generan emisiones de gases de efecto invernadero los cuales tienen graves consecuencias para el medio ambiente, es por esto que estudian alternativas en la producción de energías que puedan reemplazar a las actuales y a su vez no generen un impacto negativo al medio ambiente.

Por otra parte el manejo de los Residuos Sólidos Urbanos sigue siendo un problema para el país, ya que a pesar de que existen leyes, normas y reglamentos a nivel federal y estatal, la responsabilidad final de su disposición adecuada recae sobre los 2,467 municipios que existen en México lo que provoca una infinidad de enfoques y dificultades que establecen un reto para que se pueda establecer un esquema global de solución. En México diariamente según datos obtenidos por la SEMARNAT en 2017, se generan 102,895 toneladas de residuos, de los cuales se recolectan 83.93 % y se disponen en sitios de disposición final 78.54 %, reciclando únicamente el 9.63 % de los residuos generados. Los RSU pueden ser aprovechados para generación de energía a través de procesos bioquímicos y termoquímicos los cuales tienen mayor potencial energético y mayor capacidad de reducción del volumen de RSU (Nordi, et al., 2017; Seoáñez, 2013).

Existe un proceso alternativo para transformar la biomasa conocido como carbonización hidrotermal (CHT), que es un proceso de conversión termoquímica a través del cual es posible tratar directamente un sustrato orgánico húmedo para obtener materiales carbonosos para diferentes aplicaciones (Kambo y Dutta, 2015). La principal ventaja es que la técnica se puede utilizar para convertir materiales orgánicos húmedos en sólidos carbonosos (hidrochar) con alto rendimiento. Como puede convertir materiales de entrada húmedos, no requiere secado antes o durante el proceso. Por lo tanto, esta técnica tiene un uso potencial para la conversión de materias primas como desechos orgánicos, abonos húmedos, lodos de depuración, desechos sólidos municipales, residuos de algas y desechos de procesamiento de alimentos (Jeevahan et al., 2018).

A partir de la CHT se obtiene también un líquido rico en carbono y nutrientes que puede ser usado como sustrato en la digestión anaerobia el cual es un proceso que como tecnología de energía renovable, aprovecha un proceso biológico natural mediante el uso de biomasa disponible (por ejemplo, desechos de alimentos, abono animal y cultivos bioenergéticos) para producir biogás (metano renovable). El biogás se puede utilizar para producir electricidad y calor, o se puede mejorar para su uso como combustible de vehículos o inyección a la red de gas natural. El biogás se compone de aproximadamente un 45 a un 65% metano y 30 a 40% de dióxido de carbono (Gould, 2015). Por lo tanto el objetivo

¹ División de Estudios de Posgrado e Investigación, Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de Orizaba, Av. Oriente 9, 852. Col., Emiliano Zapata, Orizaba C.P. 94320, México. m21010158@orizaba.tecnm.mx; alejandra.al@orizaba.tecnm.mx; norma.vc@orizaba.tecnm.mx.

² CONACYT-Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de Orizaba, Av. Oriente 9, 852. Col., Emiliano Zapata, Orizaba C.P. 94320, México. erik.rm@orizaba.tecnm.mx

de éste trabajo es utilizar el proceso de carbonización hidrotermal y digestión anaerobia a residuos sólidos urbanos de tipo orgánico complejo (RSUOC) para evaluar la producción de Bioenergéticos.

Descripción del Método

Obtención y acondicionamiento de la materia prima

Los residuos fueron recolectados de una planta de separación municipal ubicada en la ciudad de Orizaba, Veracruz, seleccionándose los residuos orgánicos que llegan a esa planta para ser trasladados para su acondicionamiento el cual consistió en una separación manual para retirar residuos inorgánicos presentes aún ya que estos afectan al proceso de CHT, posteriormente se hizo una disolución 1:1 y se dejaron sedimentar, por último se llevaron a una centrifugadora y se reservó la parte sólida para ser carbonizada.

Aplicación de la Carbonización Hidrotermal

Para llevar a cabo la carbonización se utilizaron diferentes temperaturas (180, 190, 200 y 210 °C) y tiempos de residencia de 60, 120 y 80 min. La presión fue autogenerada, con el fin de identificar cuáles son las mejores condiciones para obtener el bioaceite, se recurre al uso de un reactor de acero inoxidable de alta presión modelo CF-1 a escala laboratorio como el que se muestra en la figura 1.

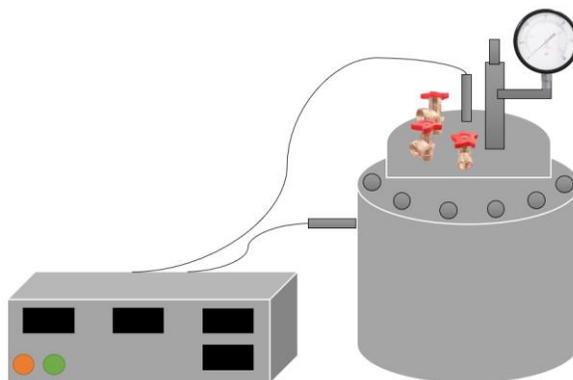


Figura 1. Reactor de alta presión

El hidrochar resultante de la CHT se filtró y el bioaceite fue caracterizado fisicoquímicamente, se evaluaron los parámetros de ST (g/L), STV (g/L) por el método gravimétrico, pH por el método potenciométrico, DQO total (g/L) y DQO soluble (g/L) por el micrométodo colorimétrico.

Digestión anaerobia al bioaceite obtenido

Para el proceso de la DA el equipo utilizado fue un Reactor Anaeróbico Híbrido (RHA) de lecho fluidizado inverso el cual cuenta con dos secciones, una parte superior de lecho fijo (LF) y la parte inferior de lecho fluidizado inverso (LFI) es llamado inverso ya que la alimentación fue por el lado superior del reactor, como medio de soporte se utilizó Extendsphere, una arena sílica con una densidad de 0.69 kg/m³. El inóculo se obtuvo a partir de un reactor anaerobio alimentado con la fracción líquida de los RSUF, ubicado en la Planta Piloto de Procesamiento y Valorización de Residuos Sólidos.

Para la etapa de estabilización se utilizaron dos sustratos, durante los primeros 33 días se utilizó un efluente de frutas y verduras y después fue cambiado por bioaceite obtenido de la CHT A 180 °C 1h, utilizando una CVA de 5 g DQO /Ld durante 20 días, se controló el pH de entrada entre 6.8 y 7.2 en condiciones mesófilas de 35 °C.

Operación en modo continuo

La última etapa constó de 30 donde el RHA fue alimentado con los bioaceites obtenidos en la CHT (tabla 1) con el fin de evaluar la producción de Biogás diariamente y su contenido de metano mediante cromatografía de gases.

Tabla 1. Relación del bioaceite alimentado diariamente

Día de operación	Muestra utilizada	Día de operación	Muestra utilizada
54	180 °C 1H	69	190° C 3H
55	180 °C 1H	70	190° C 3H
56	180 °C 1H	71	200° C 1H
57	180 °C 1H	72	200° C 1H
58	180 °C 1H	73	200° C 2H
59	180 °C 2H	74	200° C 2H
60	180 °C 2H	75	200°C 3H
61	180 °C 2H	76	200° C 3H
62	180 °C 3H	77	210° C 1H
63	180° C 3H	78	210°C 1H
64	180 °C 3H	79	210° C 2H
65	190° C 1H	80	210° C 2H
66	190°C 1H	81	210 °C 3H
67	190°C 2H	82	210 °C 3H
68	190°C 2H	83	210 °C 3H

Comentarios Finales

Resumen de resultados

Los primeros resultados obtenidos fueron a partir de la caracterización de los RSUOC y se muestran en la tabla 2 donde se pudo observar un pH ácido menor de 6, un alto contenido de humedad del 56.14 % al 67.68 % lo cual favorece a la producción de bioaceite, sin embargo estos presentan una humedad menor si se comparan con residuos similares ya que al pasar por un proceso de recolección y traslado pueden secarse.

Tabla 2 Caracterización de los RSUOC

	pH	Humedad (%)	ST (% m/m)	SV (%m/m)	Cenizas (%)
Lote 1	5.9	62.59 ± 5.99	37.40 ± 5.99	52.84 ± 7.71	47.15 ± 7.71
Lote 2	5.33	56.23 ± 1.48	43.76 ± 1.48	50.72 ± 4.30	49.27 ± 4.30
Lote 3	5.78	59.01 ± 0.75	40.98 ± 0.75	46.52 ± 2.33	53.47 ± 2.33
Lote 4	5.81	67.68 ± 6.76	32.31 ± 6.76	46.85 ± 3.59	53.14 ± 3.59
Lote 5	6.35	56.14 ± 2.72	43.86 ± 2.72	47.17 ± 4.35	52.82 ± 4.35

Terminada la etapa de las carbonizaciones los subproductos se separaron y el bioaceite se caracterizó. Los resultados se muestran en la figura 2. Para el caso de la DQO total se obtuvieron valores más altos en las severidades más bajas lo cual coincide con lo obtenido en investigaciones anteriores (Ariza-Calvo *et al.*, 2019), la mayor concentración fue de 57.76 g/L en condiciones de 180 °C 1 H y mismo caso para la DQO soluble donde se obtuvo 38.29 g/L en la severidad más baja. El pH mostró un comportamiento ácido lo cual se debe a la naturaleza de la biomasa donde fue obtenido. Se aprecia un ligero aumento en el pH proporcional al aumento de la severidad de la CHT y se encuentra en un rango de 4.83 a 5.9 lo cual coincide con lo obtenido por Lucian *et al.*, 2018 quienes observaron que el bioaceite se volvía más ácido en temperaturas de hasta 180 °C y era más básico en temperaturas superiores a 180 °C lo cual se debía a la repolimerización de los ácidos orgánicos formados a temperaturas y tiempos de residencia más

elevados. Por último se muestran los resultados de los ST los cuales aumenta proporcionalmente con la severidad utilizada en la CHT obteniendo valores de 35.68 g/L (190 °C a 1 hora) hasta 56.04 g/L (210 °C 3 horas).

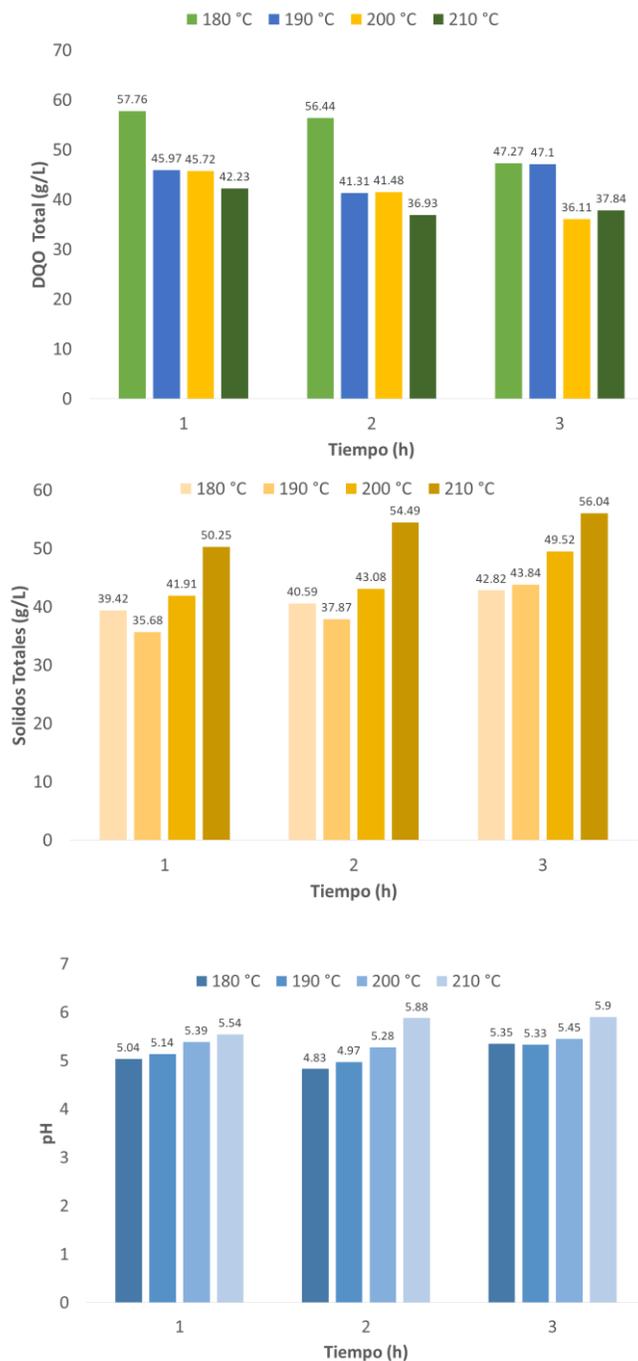


Figura 2. Caracterización del Bioaceite.

Para evaluar el rendimiento del RHA se contabilizó diariamente la producción de biogás, los primeros días se obtuvieron aproximadamente 2 L de Biogás y esta producción fue aumentando al paso de los días hasta llegar a una producción de 8.5 L, cuando se procede al cambio de sustrato la producción baja por unos días y vuelve a aumentar hasta llegar a una producción máxima de 9L por día. En cuanto a la producción en modo continuo se obtuvo un mínimo de 3 litros en el día 56 y un máximo de 7.5 L en los días 57 y 64, se observa menos estabilidad que en las etapas

pasadas lo cual nos indica que si es un factor importante la temperatura y el tiempo de la CHT a las cuales se obtuvo el sustrato para la producción de Biogás. Los resultados se muestran en la figura 3.

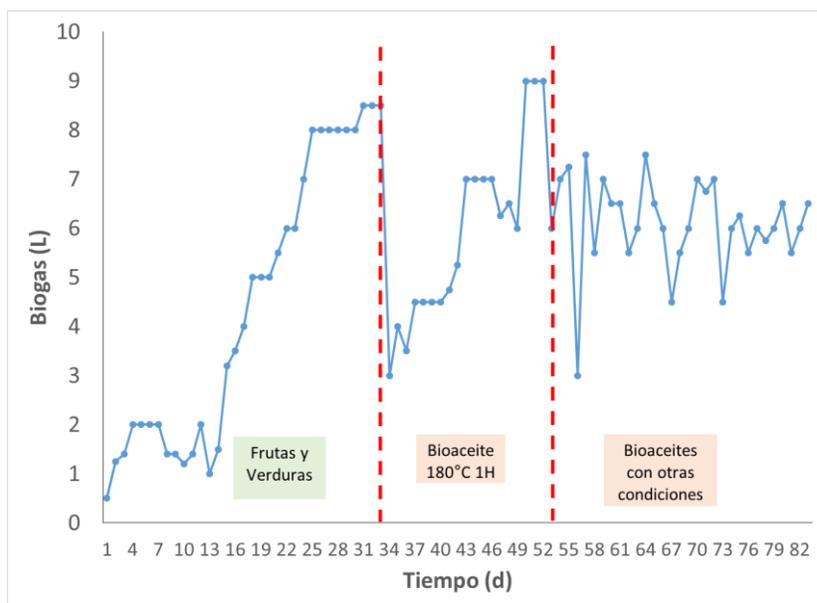


Figura 3. Producción diaria de Biogás

Los resultados finales obtenidos fueron los rendimientos de metano del Biogás producido por el RHA en la etapa final de la operación, cuando se utilizaron los Bioaceites a diferentes temperaturas (180, 190, 200 y 210 °C) y tiempos de residencia (1, 2 y 3 h), en la figura 4 se puede observar que el contenido de metano decrece cuando la severidad de la CHT fue mayor obteniéndose así los mejores rendimientos para las condiciones más bajas las cuales fueron 180 °C - 1h con un valor de 0.34 LCH₄/gDQO_{rem}, valores muy próximos al teórico y los rendimientos más bajos en condiciones de 200 °C - 3h con solo 0.09 LCH₄/gDQO_{rem}. De acuerdo con la literatura, los bajos tiempos de residencia y las bajas temperaturas evitan la formación de compuestos biodegradables y/o tóxicos en el bioaceite, los cuales reducen la producción de metano en la DA (Codignole et al., 2018).

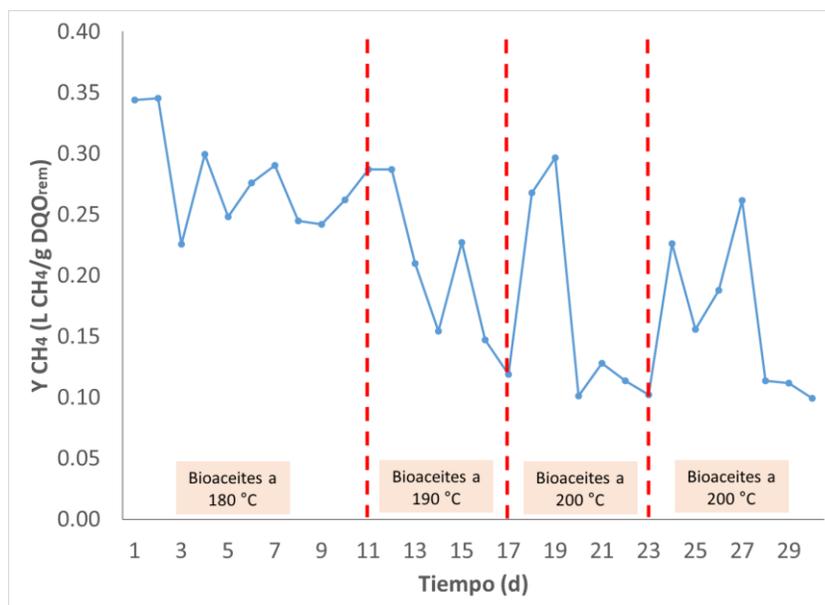


Figura 4. Rendimientos de Metano en Biogás.

Conclusiones

La Carbonización hidrotermal es un proceso capaz de tratar residuos con alto contenido de humedad sin necesidad de pasar por un proceso de secado lo cual hace a esta técnica económicamente rentable, a partir del cual se obtienen dos productos: una parte sólida conocida como hidrochar el cual es combustible sólido y que en este estudio mostró un poder calorífico superior a los 15 MJ/Kg. La temperatura y el tiempo de residencia de la CHT son parámetros que tienen un impacto significativo dentro del proceso, las temperaturas altas (arriba de 200 °C) favorecen al poder calorífico del combustible sólido, mientras que las temperaturas por debajo de los 200 °C favorecen a la producción del Bioaceite. A partir de la caracterización del bioaceite obtenido en la CHT se puede sugerir este líquido como sustrato en la DA para la producción de biocombustibles y se puede considerar que los mejores rendimientos de metano se obtienen a partir de las condiciones menos severas utilizadas para la CHT.

Se estudió experimentalmente la integración del proceso de CHT y DA probando 12 diferentes condiciones (4 temperaturas y 3 tiempos de reacción diferentes) para maximizar la recuperación de energía a partir de los RSUO. Los resultados muestran que las condiciones de la reacción fue un parámetro importante que afectaba a la calidad Biogás obtenido en la Digestión anaerobia.

Referencias

Ariza Calvo, D., Rincón Ravelo, M., Paz Cadavid, C. A., & Gutiérrez-Montero, D. J. (2019). *Evaluación de producción de biogás y reducción de carga orgánica de vinazas mediante digestión anaerobia*. Revista Colombiana de Biotecnología, 21(2), 118-130.

Codignole Luz, F., Volpe, M., Fiori, L., Manni, A., Cordiner, S., Mulone, V., Rocco, V., 2018. *Spent coffee enhanced biomethane potential via an integrated hydrothermal carbonization-anaerobic digestion process*. Bioresour. Technol. 256, 102–109. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2018.02.021>.

Gould, M. C. (2015). *Bioenergy and Anaerobic Digestion*. Bioenergy, 297–317. doi:10.1016/b978-0-12-407909-0.00018-3.

Jeevahan G., Sriramanjaneyulu R.B., Durairaj G. y Mageshwaran. (2018) *Experimental investigation of the suitability of 1-butanol blended with biodiesel as an alternative biofuel in diesel engines*. Biocatalysis and Agricultural Biotechnology. 15, 72-77. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2018.05.013>.

Kambo, H.S. y Dutta, A. (2015). *A comparative review of biochar and hydrochar in terms of production, physico-chemical properties and applications*. Renew.Sust. Energ. Rev. 45, 359- 378.

Lucian, M., Volpe, M., Gao, L., Piro, G., Goldfarb, J. L., & Fiori, L. (2018). *Impact of hydrothermal carbonization conditions on the formation of hydrochars and secondary chars from the organic fraction of municipal solid waste*. Fuel, 233, 257-268.

Nordi, G. H., Palacios-Bereche, R., Gallego, A. G., & Nebra, S. A. (2017). *Electricity production from municipal solid waste in Brazil*. Waste Management & Research, 35(7), 709–720. doi: 10.1177/0734242x17705721.

SEMARNAT (2017). Clasificación, reciclaje y valoración de los RSU. <https://www.gob.mx/semarnat/acciones-y-programas/clasificacion-reciclaje-y-valoracion-de-los-rsu> (Consultada febrero, 2023)

Seoáñez M., (2013) Tratado de la Biomasa. 1a Ed., McGraw-Hill/Interamericana de España, S.L., Madrid, España, 257-271.

Evaluación Metalúrgica y Microestructural de Capas de Boruro de Hierro formadas por Termodifusión en Aceros AISI 1045

Dr. Álvaro Contreras-Hernández¹, C. Edwin Jael Costeño-Cobos¹, C. José M. Pacheco-Altamirano¹, M.C. Salvador Chimal-Morán¹, Ing. Fernando Hernández-Méndez¹, Ing. Antonio José Hernández-Aguilar¹, Dr. Martín Julián Fernández-Cueto^{1*}

Resumen: Se mejoraron las propiedades mecánicas de la capa superficial por proceso termoquímico de borurado, en bujes de acero AISI 1045 colocados en reactores metálicos de volumen diferencial, para alcanzar mejor funcionamiento en corrosión, fatiga y fractura. Los bujes de acero se colocaron en reactores metálicos, con tapas en los extremos, para conseguir un sellado hermético, con boro en polvo como el elemento a depositar contenido dentro del mismo. Se verificó un incremento en la temperatura, al colocar los reactores dentro de un horno de arcilla con domo refractario y en un horno eléctrico de inducción, mantenidos en un tiempo entre 1 a 4 horas, a una temperatura constante de 1,223K, buscando alcanzar la adsorción del boro en las superficies de contacto y la difusión de boro en la microestructura para lograr la deposición de una capa superficial. Finalmente, se caracterizaron de manera preliminar los bujes expuestos al tratamiento por borurado, verificándose la formación de una bicapa, con una dureza de 1400 HV en la capa cercana al borde FeB, respecto de la condición inicial verificada sin en bujes sin borurado de 179 HV.

Palabras clave: Evaluación metalúrgica y microestructural, boruro de hierro, aceros AISI 1045, reactores metálicos, capas boruradas

Introducción

Un proceso de borurización en aceros AISI 1045, mejora sus propiedades mecánicas, por difusión de átomos de boro a 1,223K, formando capas de FeB y Fe₂B. Es posible alcanzar la dureza esperada trabajando el proceso en hornos de arcilla y eléctricos usando reactores de volumen diferencial.

El crecimiento de las fases FeB y Fe₂B se puede determinar por el espesor de la capa de carburo de boro, modificando la concentración en la superficie del material. Con ello, la movilidad del boro aumenta en la superficie del sustrato. Las capas se hacen más compactas y continuas conforme hay un aumento en el tiempo de tratamiento, espesor de la capa de carburo de boro y temperatura del proceso.

Los ensayos electroquímicos muestran un aumento significativo de la resistencia a la corrosión que tienen las probetas sometidas al proceso de borurización; mostrando que a temperaturas menores y tiempos de tratamiento de 4 h, la protección o resistencia a la corrosión es más alta. Considerando independientes los potenciales de boro aplicados. Además de que la porosidad presentada en las fases, a tiempos de tratamiento de 6 horas y temperatura de 950°C (1,223K) y 1,000°C (1,273K) disminuye la resistencia a la polarización de las muestras ensayadas, debido a que los poros presentes en los boruros de hierro generan corrosión localizada. (Bernal & Campos, 2005)

Se sabe que la borurización aporta mayor dureza a las piezas trabajadas, con valores por arriba de los 1,100 HV. (López Tapia, 2011), en tanto que a mayor tiempo de exposición de los tratamientos, la microdureza promedio aumenta, sin olvidar que la apariencia física superficial, el comportamiento al desgaste y la adherencia empeoran. Por eso, en este trabajo se propuso endurecer superficialmente bujes de acero AISI 1045 en reactores metálicos de volumen diferencial sometidos al proceso termoquímico de borurización, buscando cumplir con el objetivo de alcanzar una dureza superficial en la primera capa del orden de los 1,400 HV, siendo posible realizar este proceso de manera controlada en laboratorio, para implementarlo de manera práctica en Talleres y PyMES de la región.

Metodología

Se realizó la matriz de experimentos para poder llevar un orden en el tratamiento de los bujes, teniendo como variables el volumen de los reactores, el tipo del horno usado y el tiempo de exposición a una temperatura constante de 1,223K.

De barras de acero AISI 1045 se maquinaron bujes, los cuales se prepararon para el tratamiento mediante lijado desde el tamaño de grano 80 hasta el 2000, esto para que las superficies a borurar presente un área de adsorción grande (figura 1).

Los bujes preparados se depositaron en reactores de volumen diferencial (figuras 2), planteando la hipótesis de que hacer la borurización en reactores de tamaño diferencial a temperatura de 1,223K en hornos de domo

¹ TecNM-IT de Tuxtepec. Av. Dr. Víctor Bravo Ahuja s/n, col. Predio El Paraíso, Tuxtepec Oax.

*Autor de Correspondencia: martin.fc@tuxtepec.tecnm.mx

refractario y eléctrico de inducción, permitirá alcanzar una deposición del boro en capas cercanas a la superficie, las cuales podrán mejorar la dureza superficial del material, conservando al centro del componente sus propiedades de ductilidad y resistencia, necesarias para soportar las cargas requeridas por funcionamiento.



Figura 1. Bujes listos para borurado



Figura 2. Buje en reactor



Figura 3. Reactores en hornos eléctrico y de domo

Una vez llenados y sellados cada uno de los reactores, se procedió a depositarlos en dos hornos diferentes, la mitad del grupo en un horno eléctrico de inducción y la otra mitad en un horno de arcilla con domo refractario (figura 3). En ambos casos, se desarrolló un incremento en la temperatura hasta los 950°C (1,223K), manteniendo la misma por un tiempo de exposición de 5 h. (García-León, Martínez-Trinidad, Campos-Silva, & Wong-Ángel, 2020) Posterior al tiempo de exposición de 5 horas y manteniendo los reactores a una temperatura de 950°C (1,223K), se procedió a realizar la extracción del horno y la limpieza de los mismos, según se muestra en la figura 4.



Figura 4. Reactores extraídos de hornos y bujes limpiados después del proceso de borurización

Una vez retirados de los reactores y realizada la limpieza de los bujes, se procedió al lijado de las superficies susceptibles a observación al microscopio, utilizando papel lija trabajando los tamaños de grano 80, 120, 180, 240, 300, 400, 500, 600, 1000, 1500, 2000 y 3000, continuando con un acabado a espejo usando una solución a base de polvo de alúmina (figura 5).

Para hacer visibles las características de la microestructura del material y las capas de FeB y Fe₂B se realizó un ataque químico con una solución de nital al 4%, preparada en laboratorio con alcohol isopropílico y ácido nítrico (figura 6).



Figura 5. Pulido y acabado a espejo con alúmina



Figura 6. Preparación de nital al 4%

Resultados

Por observación al microscopio en ampliación a 100X, se pudo detectar la formación de una capa superficial de boruro de hierro FeB, seguida por una segunda capa de diboruro de hierro Fe₂B, (figura 7) lo cual concuerda con diversos trabajos reportados en la literatura (Fernández de Dios, 2019). Se pudo identificar en ambas capas una geometría de diente de sierra, siendo esta geometría una forma conveniente ya que permite la fijación de las capas formadas en el acero AISI 1045.

Para ambas capas se realizó la medición de los tamaños de capa, presentándose para la primera capa de FeB dificultades para su definición, solo se pudo estimar su extensión en 20-25 μm, en tanto que para la segunda capa formada de Fe₂B, esta presentó la extensión que se pudo definir de manera precisa, en un valor promedio de 106 μm (tabla 1).

Los tratamientos termoquímicos desarrollados para brindar una mayor dureza y resistencia a la fatiga mediante el proceso de borurización, se consideraron adecuados para la transformación del acero de bajo costo, en este caso, el AISI 1045. Las capas formadas resultaron ser un buen indicador de la fijación del boro, lo cual permitirá mejorar las propiedades superficiales del material AISI 1045.

Cabe resaltar que a pesar de haberse desarrollado el proceso de borurización usando dos tipos diferentes de horno, uno eléctrico de inducción y otro de arcilla con domo refractario el cual utiliza carbón como combustible, se alcanzaron siguiendo la misma metodología resultados semejantes en la termodeposición del boro a través de la superficie del acero AISI 1045. Esto permitiría desarrollar el proceso en las PyMES y MiPyMES, las cuales carecen de equipamiento de alta gama en el desarrollo de sus procesos.

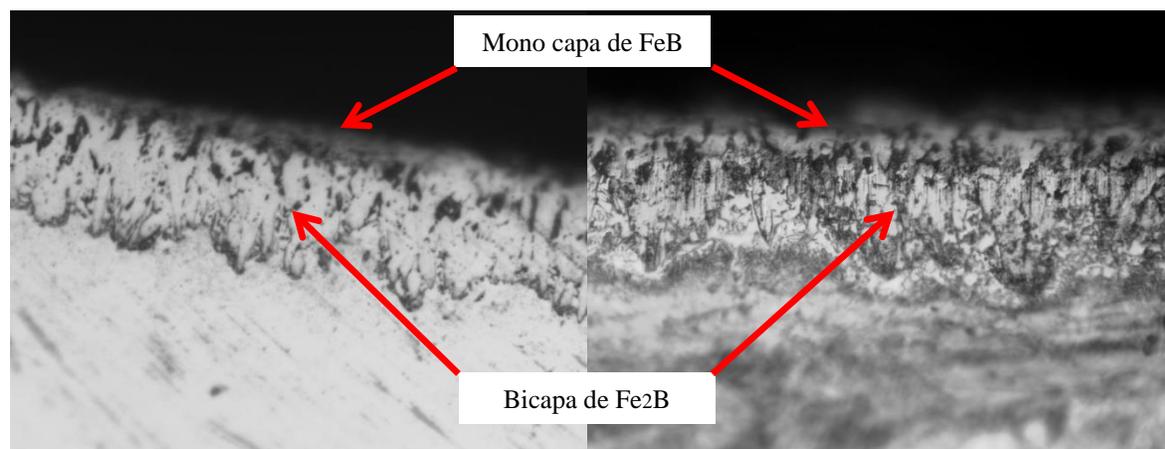


Figura 7. Vista ampliada con aumento a 100X

Respecto de la resistencia al desgaste que se presentará, se realizó el ensayo de dureza usando un Micro durómetro Vickers, logrando alcanzar para las muestras caracterizadas la definición de sus magnitudes en la

monocapa FeB, la bicapa Fe₂B así como en el sustrato. Este registro representa el propósito de este proceso, para modificar sus propiedades químicas y mecánicas tales como la resistencia a la abrasión, resistencia al desgaste, resistencia a la corrosión y límite de fatiga (Medel González, 2019).

Tabla 1. Valores de espesor de capa alcanzados

ID	Features	Center X Pos.	Center Y Pos.
1	R1	285,2632	129,4737
2	PT1	276,8421	66,05263
3	PT2	276,8421	67,63158
4	PT3	275,2632	67,89474
5	PT4	274,2105	70,00000
:	:	:	:
47	PT46	262,1053	124,7368
48	PT47	261,8421	126,3158
49	PT48	260,5263	127,8947
50	PT49	260,2632	130,5263
51	PT50	262,1053	130,7895
		Promedio	105,5796522

Discusión de resultados

Las propiedades superficiales modificadas en los bujes de acero AISI 1045 mediante el proceso de borurización resultaron satisfactorias, al alcanzarse una dureza promedio de 1,406.5 HV en la capa FeB, en tanto que en la bicapa Fe₂B se tuvo una dureza promedio de 1,378 HV (tabla 2). Estos resultados permiten suponer que se tendrá una mejor resistencia a la corrosión y al desgaste, al alcanzar esta dureza respecto del valor original en el material sin tratamiento de 163.5 HV.

Tabla 2. Dureza alcanzada en bujes borurados expresada en HV

Localización	Buje AI	Buje AII	Valor promedio
Capa superficial FeB	1,400	1,413	1,406.5
Segunda capa Fe ₂ B	1,349	1,407	1,378.0
Sustrato base	148	179	163.5

La dureza superficial pudo lograrse al trabajar en la experimentación por borurización con dos reactores de volumen diferencial, con calentamiento de los bujes en dos tipos diferentes de horno: de domo refractario y eléctrico de inducción. Así se plantea la posibilidad de hacer este tratamiento en hornos convencionales como los instalados en pequeños talleres de las PyMES y MiPyMES, ante la dificultad de trabajar con hornos eléctricos de alto costo y elevado consumo eléctrico.

Conclusiones

Se logró alcanzar el endurecimiento superficial propuesto en la experimentación, al tratarse por borurización bujes de acero AISI 1045 en hornos de arcilla con domo refractario y eléctrico de inducción.

Se logró la formación de la bicapa de FeB y Fe₂B planteada en la literatura para los procesos de borurización, observando que ésta presenta la característica forma de diente de sierra, lo cual supone una buena adherencia en el material endurecido.

Se registraron valores de dureza superficial del orden de los 1,400 HV, lo cual permite suponer una mayor resistencia para las propiedades de desgaste, corrosión y fatiga.

Recomendaciones

Realizar el proceso de borurado en materiales metálicos preparados para tal propósito, libres de grasa, mugre o herrumbre, procurando limpiar mediante lijado hasta el grano 2,000 para favorecer la adsorción del boro en el acero.

Aplicar un solvente sobre la superficie de la pieza a tratar por el método de borurización, para garantizar una superficie químicamente neutra.

Se podrá desarrollar el tratamiento de termodeposición mediante borurización en hornos eléctrico de inducción o en hornos de arcilla con domo refractario, ya que se ha demostrado haber logrado resultados similares durante el desarrollo del experimento.

Referencias

- Bernal Lazarini, R., & Campos Silva, I. E. (2005). Evaluación de la resistencia a la polarización en aceros AISI 304 tratados termoquímicamente mediante borurización. México D.F.: Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey.
- Fernández de Dios, L. D. (2019). Análisis de la cinética de crecimiento de las capas boruradas en un acero AISI S1, a través de dos modelos de difusión. Tlalnepantla, Edo. de México: TecNM-IT de Tlalnepantla.
- García-Léon, R. A., Martínez-Trinidad, J., Campos-Silva, I., & Wong-Angel, W. (2020). Mechanical characterization of the AISI 316L alloy exposed to boriding process. DYNA, 34-41.
- López Tapia, L. I. (2011). Estudio tribológico de un acero 4140 sujeto a tratamientos termoquímicos de borurado, nitrurado y boronitrurado. Cd López Mateos, Méx.: Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey.
- Medel González, F. (2019). Estudio de la cinética de las capas boruradas formadas sobre la superficie de un acero AISI 4150 endurecido a través del tratamiento termoquímico de borurización. Ciudad Sahagún, Hgo.: Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.

Notas biográficas

Álvaro Contreras Hernández estudió la Maestría en Ciencias en Ingeniería Mecánica en el TecNM-IT de Veracruz y cursó el Programa Doctoral en Ingeniería Mecánica en la ESIME del IPN. Egresó como Ingeniero Electromecánico en el TecNM- Tuxtepec donde trabaja como Docente.

Edwin Jael Costeño Cobos estudió en el TecNM-IT de Tuxtepec la licenciatura en Ingeniería Electromecánica, participando en el proyecto de Residencia Profesional denominado Endurecimiento superficial de aceros AISI 1045 por proceso termoquímico de borurización en reactores metálicos de volumen diferencial.

José M. Pacheco Altamirano estudió en el TecNM-IT de Tuxtepec la licenciatura en Ingeniería Electromecánica, participando en el proyecto de Residencia Profesional denominado Evaluación metalúrgica y microestructural de aceros AISI 1045 endurecidos superficialmente por borurado en tiempos de exposición diferenciado.

Salvador Chimal Morán estudió la Maestría en Ciencias en Enseñanza de las Ciencias en el CIDEET y egresó como Ingeniero Industrial Mecánico por el TecNM-IT de Orizaba. Es Docente en el TecNM-IT de Tuxtepec, donde desempeña la Jefatura de Proyecto de Vinculación en el Programa de Educación Dual del Programa Educativo de Ingeniería Electromecánica.

Fernando Hernández Méndez estudió la Maestría en Educación en la UMad. Es Ingeniero Electromecánico egresado del TecNM-IT de Tuxtepec. Actualmente es Docente en el TecNM-IT de Tuxtepec, donde se desempeña como Coordinador del Programa Educativo de Ingeniería Electromecánica.

Antonio José Hernández Aguilar estudió la Licenciatura en Ingeniería Electromecánica en el TecNM-IT de Tuxtepec. Actualmente es Docente en el TecNM-IT de Tuxtepec, donde se desempeña como Jefe del Departamento de Metalmeccánica.

Martín Julián Fernández Cueto estudió el Programa Doctoral en Metalurgia y Materiales en la ESIQIE-IPN y la Maestría en Ciencias en Ingeniería Mecánica en el TecNM-IT de Veracruz. Actualmente es Docente en el TecNM-Instituto Tecnológico de Tuxtepec, donde desempeña la Jefatura de Proyecto de Investigación del Programa Educativo de Ingeniería Electromecánica.

Apendice

Cuestionario

1. ¿Es posible alcanzar la formación de capas de boruro de hierro FeB y Fe₂B trabajando el proceso de borurización en hornos de arcilla con domo refractario que usen carbón como combustible?
2. ¿Es posible alcanzar la dureza en la superficie del orden de los 1,400 HV trabajando el proceso de borurización en hornos de arcilla con domo refractario que usen carbón como combustible?

Introducción a Pozos de Infiltración

Dr. Facundo Cortes Martínez¹, Dr. Arturo Tadeo Espinoza Fraire², Dr. José Armando Sáenz Esqueda³, M.C. Francisco Luis Camporredondo Reyes⁴, M.I. Juan Rentería Soto⁵

Resumen--El presente documento tiene como finalidad divulgar los principales conceptos de diseño de estos sistemas de disposición: pruebas de infiltración del suelo, localización que se recomienda para construir los pozos de absorción o infiltración, dimensiones, materiales que se utilizan para su construcción, consideraciones para su proyecto, se muestran dos criterios de diseño, así como ejemplos.

Palabras clave--Localización de pozos de infiltración, materiales para construcción de pozos de absorción, diseño de pozos de infiltración, coeficientes de absorción del suelo.

Introducción

Un pozo de infiltración es una excavación en el suelo y reciben los efluentes del tanque séptico, éstos se utilizan cuando no se dispone de suficiente terreno para la construcción de zanjas de absorción. Las dimensiones de los pozos dependerán también de la permeabilidad del terreno (CNA e IMTA, 2016; DOF, 1997). Se recomienda que este sistema sea construido alejado de árboles, con el propósito de evitar el daño que puedan causar las raíces (Campo, 2022). Unda (2003) sugiere el uso de pozos de absorción en los siguientes casos: cuando los efluentes provienen de albercas o aguas pluviales; para efluentes de tanques sépticos, como una solución provisional o transitoria. El objetivo del presente documento es divulgar las principales consideraciones para el diseño y construcción de pozos de infiltración para aguas residuales tratadas previamente.

Desarrollo

Ventajas y desventajas: favorece el funcionamiento vertical, sustituye las zanjas de infiltración hasta en un 30%, es posible el funcionamiento tanto en drenaje vertical como horizontal. Una desventaja importante es que puede contaminar los suelos y acuíferos (Grupo MT, s.f.).

Prueba de infiltración para pozos de absorción: El CEPIS (2003a) recomienda que se realicen por lo menos tres pruebas por cada pozo de absorción que se tenga proyectado construir. El primer pozo de prueba deberá tener una profundidad de 0.30 metros. El segundo hasta el nivel donde se tenga proyectado la tubería de descarga, y el tercero estará localizado en una profundidad intermedia entre los dos primeros.

Localización de los pozos de absorción: La distancia mínima del pozo a cualquier vivienda será de 6.0 metros; a tuberías de agua 15.0; a pozos de abastecimiento de agua potable 30.0; a cursos de aguas superficiales 15.0 y la distancia mínima a cualquier árbol será de 5.0 metros.

Dimensiones y materiales de construcción de los pozos: Existen varios criterios publicados con relación a los diámetros de los pozos, por ejemplo: a) la CNA recomienda de 2.0 a 3.5 metros y de 3.0 a 6.0 de profundidad; b) el CEPIS (2003a) de 1.5 a 3.0 metros y c) López (1990) indica como diámetro mínimo 1.0 y 2.0 metros de profundidad. Las pruebas de infiltración y el juicio del ingeniero proyectista determinarán el criterio a considerar. Los materiales que se utilizan para la construcción de estos sistemas son block, ladrillo y piedra. Por otro lado el revestimiento interior del pozo será de 1.0 centímetro como máximo, lo anterior con el objetivo de filtrar el agua residual (la filtración se lleva a cabo a través de las paredes y piso del pozo de absorción). El espacio mínimo entre el terreno natural y el muro será de 0.10 metros y se rellenará con grava de 2.5 a 5 centímetros de diámetro. En el fondo del pozo de absorción se depositará una capa de 15 centímetros de grava gruesa.

La CNA e IMTA (1997) recomienda que el relleno en la parte exterior del ademe será entre 15 a 30 centímetros (grava con diámetros de 8 centímetros) mientras que en el fondo del pozo otra capa de 0.30 metros. También menciona que si el pozo es ademado, se rellenará con grava del mismo diámetro hasta una altura de 60 centímetros. En el caso

¹ Dr. Facundo Cortes Martínez, es profesor investigador de la Facultad de Ingeniería, Ciencias y Arquitectura de la Universidad Juárez del Estado de Durango., fcortes@ujed.mx (autor corresponsal)

² Dr. Arturo Tadeo Espinoza Fraire, es profesor investigador de la Facultad de Ingeniería, Ciencias y Arquitectura de la Universidad Juárez del Estado de Durango., tadeo1519@gmail.com

³ Dr. José Armando Sáenz Esqueda, es profesor investigador de la Facultad de Ingeniería, Ciencias y Arquitectura de la Universidad Juárez del Estado de Durango., jsaenz@ujed.mx

⁴ M.C. Francisco Luis Camporredondo Reyes, es profesor investigador de la Facultad de Ingeniería, Ciencias y Arquitectura de la Universidad Juárez del Estado de Durango., fcamporredondo@ujed.mx

⁵ M.I. Juan Rentería Soto, es profesor investigador de la Facultad de Ingeniería, Ciencias y Arquitectura de la Universidad Juárez del Estado de Durango., juan.renteria@ujed.mx

de no ademasarse el pozo se rellenará hasta una altura de $\frac{3}{4}$ de piedra con un diámetro mínimo de 20 centímetros. La medida indicada es con el fin de evitar que el pozo se colapse (se derrumbe) y no se posible de proporcionar un servicio adecuado. En la figura 1 se indican los detalles del pozo de absorción.

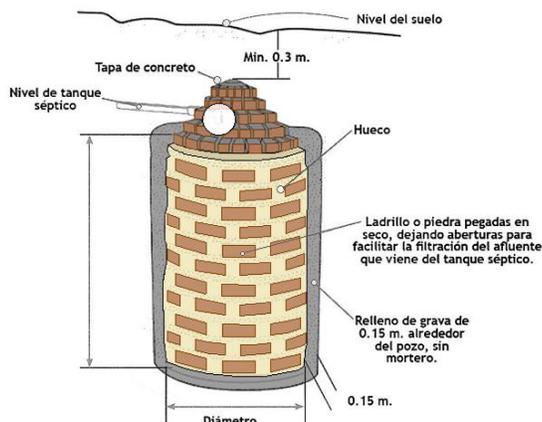


Figura 1. Detalle de pozo de absorción Adaptada de: Ministerio del Comercio Exterior y Turismo (2008)

Consideraciones importantes acerca de los pozos de absorción

El fondo del pozo se localizará entre 1.5 y 2.0 metros por arriba del nivel freático y cuando se determine la necesidad de dos o más pozos, la distancia mínima entre cada uno debe ser de tres veces el diámetro mayor de uno de los pozos. La tapa de inspección será de 0.60 metros de diámetro y 0.20 de espesor.

El material de construcción puede ser de concreto armado; la tapa se colocará sobre un brocal también de concreto armado o mampostería. El brocal tiene dos funciones: soporte para recibir la tapa y evitar el vertido de líquidos que no procedan del efluente del tanque séptico. Además, se debe colocar una cañería de ventilación de 4" para la eliminación de los gases. La tubería de ventilación se protegerá con malla fina (Unda, 2003). En la figura 2 se muestran detalles de los pozos de absorción.

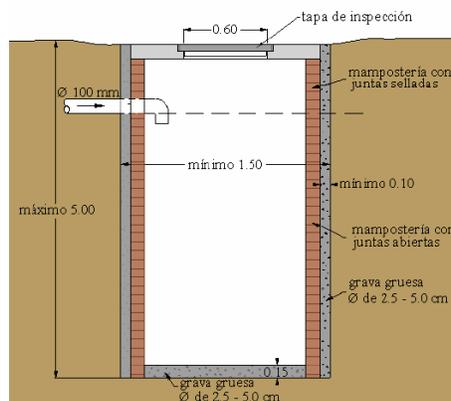


Figura 2. Detalle de pozo de infiltración. Adaptado de CEPIS (2003b)

Cuando el pozo pierda la capacidad de filtración debido a la colmatación, o por cualquier otra causa, se construirá otro nuevo; lo que significa que no hay posibilidad práctica para realizar una limpieza y garantizar un adecuado funcionamiento. Sin embargo, Unda (2003) sugiere que para una situación de emergencia se lleven a cabo las siguientes acciones: a) vaciar en el pozo ácido sulfúrico comercial entre 45 y 60 litros (se supone que el pozo se encuentra colmatado), lo anterior con el propósito de disolver las grasas que están adheridas en el fondo y en las paredes. Esta acción permitirá que se continúe infiltrando el agua residual por un corto tiempo (varias semanas), mientras tanto, se puede construir otro pozo de repuesto y b) agregar al pozo drenes radiales que faciliten la evacuación del exceso de gasto que no sea infiltrado por el pozo de absorción.

Por otro lado, actualmente existen pozos de absorción prefabricados: éstos refieren a estructuras de concreto de carácter modular, por lo que son de mayor resistencia, el uso es similar a lo ya indicado en un apartado anterior: agua residual de sanitarios, cocinas y de lluvia etc. (Grupo MT, s.f.).

Diseño de pozos de absorción con el criterio de la Comisión Nacional del Agua

Calcular el tamaño del pozo de absorción necesario para dar disposición al efluente del tanque séptico con el criterio de la Comisión Nacional del Agua (ver tabla 1). El volumen de agua residual que se recibe diariamente es el equivalente al de 10 personas con una aportación diaria de 154 l/hab/día, por lo tanto volumen diario $Vd = 1,540$ L/día, la tasa de filtración (Tf) del suelo es de 20 L/hab/día y el diámetro del pozo propuesto es de 2.5 metros.

Se determina el área de huecos (Ah) se refiere a las paredes del pozo. $K = \text{Área de huecos/área de ladrillos}$

$$K = 0.5Ah = (K)(u)(D) \tag{1}$$

Donde

$$u = 3.1416;$$

$D =$ Diámetro del pozo

$$Ah = \frac{Vd}{Tf} \tag{2}$$

Donde

$Ah =$ Área de huecos

Las demás variables ya fueron definidas

Cálculo de la profundidad del pozo

$$Ah = (K)(u)(D)(H) \tag{3}$$

$H =$ Altura del pozo

Las demás variables ya fueron definidas

Luego

$$H = \frac{Ah}{(K)(u)(D)} \tag{4}$$

Sustituyendo los datos en (2) se tiene:

$$Ah = \frac{1,540}{20} = 77m^2$$

Sustituyendo en la ecuación (4) para determinar la altura del pozo

$$H = \frac{77}{(0.5)(3.1416)(2.5)} = 19.60m$$

La profundidad máxima de acuerdo al CEPIS (2003b) debe ser de 5.0 metros; por lo tanto, se necesitarán 4 pozos de 5 metros de profundidad y 2.5 de diámetro. Para la disposición del efluente de un tanque séptico, la CNA recomienda se considere el uso de pozos de absorción hasta un máximo de 15 habitantes y para poblaciones mayores es prudente considerar otras alternativas tales como lagunas de estabilización y lechos de hidrófilas (CNA e IMTA, 1997). En la tabla 1 se muestra el número de pozos de absorción calculado para poblaciones de 5 a 15 habitantes.

Tabla 1. Diseño de pozos de absorción con el criterio de la Comisión Nacional del Agua

Habitantes	Aportación L/hab/día	Gasto L/día	Tasa de filtración $L / m^2 / día$	Diámetro del pozo en metros
1	2	3	4	5
Dato	Dato	1 x 2	Dato	Dato
5	154	770	20	2.5
10	154	1,540	20	2.5
15	154	2,310	20	3.0

Continuación tabla

Área de huecos m^2	Altura del pozo en metros	Número de pozos	Profundidad metros
6	7	8	9
Ecuación (2)	Ecuación (4)		
38.5	9.80	2	4.5
77	19.60	4	5.0
115.5	24.51	5	5.0

Segundo criterio: Cálculo de la profundidad del pozo con el criterio de UNDA (2003)

Para utilizar este criterio es necesario llevar a cabo previamente las pruebas de infiltración del terreno donde se pretenda construir el pozo, luego se aplica la expresión (4)

$$H = \frac{KxN}{3.1416xD} \quad (4)$$

Donde:

H = Profundidad del pozo en metros

K_1 = Coeficiente de absorción en (m²/hab/día)

N = Número de personas servidas

D = Diámetro medio del pozo en metros

Tabla de coeficientes promedio de absorción

Unda (2003) indica los coeficientes promedio de absorción cuando no se lleve a cabo las pruebas de infiltración.

Tabla 2. Coeficientes de absorción para 190 L/hab/día

Tiempo en minutos para que el nivel del agua baje 2.5 cm (prueba de absorción)	Superficie de filtración requerida por persona y día en m^2 (K_1)
1	0.88
2	1.08
5	1.44
10	2.25
30	4.50
Más de 30	Terreno inadecuado

Fuente: (Unda, 2003).

Ejemplo

Calcular la profundidad de un pozo de absorción de 2.0 metros de diámetro que presta servicio a 10 personas, el coeficiente de absorción del terreno es $K_1 = 4.50$ m²/persona/día; es decir, 30 minutos para que el agua residual descienda 2.5 centímetros (ver tabla 2).

Sustituyendo en la ecuación (4) se tiene:

$$H = \frac{4.50 \times 10}{3.1416 \times 2} = 7.2 \text{ Metros}$$

La profundidad del pozo no excederá de 6 metros, por lo tanto, se puede incrementar el diámetro o agregar un pozo, por lo tanto, si se considera el mismo diámetro y se incrementa un pozo se tiene:

$$H = \frac{4.50 \times 10}{3.1416 \times 2 \times 2} = 3.6 \text{ Metros}$$

El resultado anterior indica que se tiene 2 pozos con 2.0 metros de diámetro y una profundidad de 3.6 metros cada uno. Ahora bien, si se aumenta el diámetro se obtiene:

$$H = \frac{4.50 \times 10}{3.1416 \times 3} = 4.8 \text{ Metros}$$

Entonces se necesita un solo pozo de 3 metros de diámetro y 4.8 de profundidad, si se necesita más de un pozo de absorción, entonces el gasto debe distribuirse equitativamente a cada pozo, lo anterior mediante una caja de repartición de flujos.

Existe una importante diferencia entre los dos criterios (las condiciones son diferentes), lo más recomendable es realizar las pruebas de infiltración en el lugar donde se piense llevar a cabo el estudio. Los criterios de análisis y

cálculo descriptos servirán al ingeniero proyectista como una base para tomar las decisiones que mejor se adapten a un proyecto específico.

Comentarios finales

Resumen de resultados

Se exponen recomendaciones generales para la localización de los pozos de absorción, diámetros y materiales para su construcción, así como ejemplos de diseño considerando dos criterios.

Conclusiones

Los pozos de absorción son sistemas eficientes y se recomiendan cuando no se disponga de terreno suficiente para considerar otros sistemas de disposición, aunque es un sistema caro en términos monetarios debido a la excavación y complejidad en su construcción.

Recomendaciones

Con el fin de continuar con la disposición de aguas residuales del tipo doméstico, se recomienda continuar con el estudio del diferente tipo de letrinas.

Referencias

Campo Usuga, J. F. (2022). Estado del arte de los sistemas sépticos para el tratamiento del agua residual en zonas rurales.

Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. (2003a). Especificaciones Técnicas para el Diseño de pruebas de Infiltración. OPS/OMS. Lima, Perú. Disponible en: <http://www.ingenieroambiental.com/4014/xii.pdf>

Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. (2003b). Especificaciones Técnicas para el Diseño de Zanjas Y Pozos de Infiltración. OPS/OMS. Lima, Perú. Disponible en: https://iris.paho.org/bitstream/handle/10665.2/55349/OPSCEPIS0383_spa.pdf?sequence=1&isAllowed=y

CNA e IMTA. (2016). Saneamiento básico. En Manual de Diseño de Agua Potable, Alcantarillado_Saneamiento. Diseño de plantas de tratamiento de aguas residuales municipales del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Jiutepec, Morelos. México.

CNA e IMTA. (1997). Tanques Sépticos. En Manual de Diseño de Agua Potable, Alcantarillado_Saneamiento. Paquetes Tecnológicos para el Tratamiento de Excretas y Aguas Residuales en Comunidades Rurales. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Jiutepec, Morelos. México

Diario Oficial de la Federación. (1997). Norma Oficial Mexicana NOM-006-CNA-1997. Fosas Sépticas Prefabricadas, Especificaciones y Métodos de Prueba.

Grupo MT Prefabricados de concreto (s.f.). Pozos de absorción. Costa Rica. Disponible en: <https://muchotanque.com/pozos-de-absorcion/>

López A. (1990). Tratamiento y Eliminación de Excreta Humana. En Abastecimiento de Agua Potable y Eliminación de Excretas. Dirección de Bibliotecas y Publicaciones del Instituto Politécnico Nacional. pp. 218 – 242. México.

Unda O., F. (2003). Sistemas de Disposición de Excretas con Arrastre de Agua. En Ingeniería Sanitaria Aplicada a Saneamiento y Salud Pública Sexta Reimpresión. Limusa. p. 350 – 382. México.

Desarrollo de una Herramienta Web Scraping que Gestione Datos para la Industria automotriz

Ing. Emanuel Cruz Chávez¹, Dr. José Rafael Mendoza Vázquez², Dra. Irma Delia Cuevas Rojas³, Dr. Sergio Javier Torres Méndez⁴ y M.C. Vicente Ramírez Palacios⁵

Resumen— En este artículo, se presenta una aplicación programada en Python para la búsqueda específica de información en sitios web. La aplicación emplea las bibliotecas de Python, BeautifulSoup, Selenium y PyAutoGUI para buscar y presentar en forma automatizada información de interés, se complementan además con la biblioteca Pandas y el modulo os para un manejo más óptimo de la información local. Finalmente se aborda un ejemplo implementado en la gestión de datos de diseño de arneses eléctricos automotrices.

Palabras clave—Web Scraping, Python, Selenium, BeautifulSoup, Industria Automotriz.

Introducción

La administración de información de componentes automotrices a través de software de ingeniería es un proceso crítico de la industria, la cantidad de datos que se maneja es muy grande y se actualiza constantemente. Se identifican dos dificultades en este proceso: la primera, el alto costo de software de gestión de datos para el diseño automotriz y la segunda, el lento intercambio de información entre los usuarios y fabricantes quienes poseen la información actualizada. En la web existe una gran cantidad de información de componentes automotrices publicada por los fabricantes, por ello, una combinación de herramientas de Python, como BeautifulSoup, Selenium y PyAutoGUI permiten recopilar datos estructurados de estos sitios web. Así se genera información precisa y detallada, se ahorra tiempo y esfuerzo al actualizar las bases de datos. En este artículo se presenta el Web Scraping como técnica automatizada para la extracción de datos disponibles en sitios web empleando las bibliotecas mencionadas, se presenta un ejemplo del desarrollo de esta herramienta para el diseño de arneses eléctricos automotrices.

Descripción del Método

Para el desarrollo de la herramienta, se utilizó una metodología de cinco etapas. Las etapas contempladas son: la definición del problema, determinación de requerimientos, programación de la herramienta; pruebas de la herramienta y ajustes finales. La metodología descrita, se presenta en las siguientes secciones



Figura 1. Metodología para la construcción de una aplicación de gestión de datos para la industria automotriz.

¹ El Ing. Emanuel Cruz Chávez es estudiante de la Maestría en Ingeniería Electrónica en el Tecnológico Nacional de México /Instituto Tecnológico de Puebla iM07220841.62@puebla.tecnm.mx.

² 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 rafael.mendoza@puebla.tecnm.mx

³ La Dra. Irma Delia Rojas Cuevas es profesora de la carrera de Ingeniería en Logística y de la Maestría e Ingeniería Electrónica en el Tecnológico Nacional de México Campus Puebla, México irma.rojas@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/Instituto Tecnológico de Puebla sergio.torres@puebla.tecnm.mx

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

Definición del problema

La investigación se realizó en una empresa especializada en el diseño de arneses automotrices. Se encontró en sus procesos que la administración de datos que manejan es muy grande y el intercambio de la información con los proveedores para actualizar las bases de datos que sirven para actualizar los diseños es muy lenta, además que los softwares especializados para la gestión de datos existentes en la industria automotriz son muy costosos. Se optó por desarrollar e implementar una herramienta en software que tuviera un menor costo que las existentes en la industria y que disminuyera el tiempo y esfuerzo en la captura de información concerniente al área del diseño de arneses eléctricos automotrices. Para dar solución a este problema se propone el desarrollo de una herramienta Web scraping. La arquitectura propuesta para esta herramienta, se presenta en la figura 2.

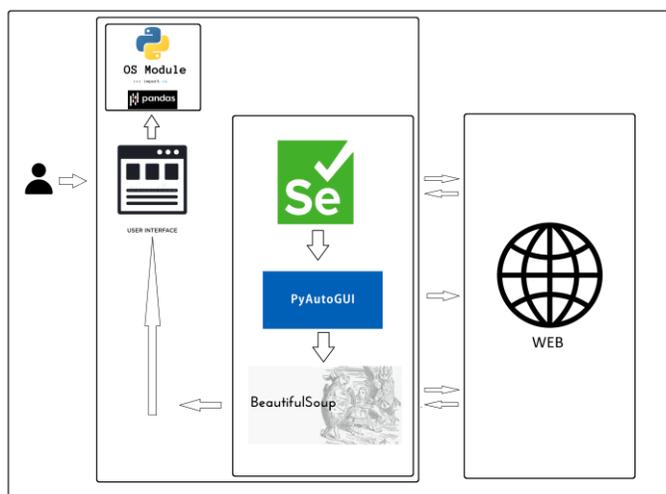


Figura 2. Arquitectura de la herramienta.

Determinación de requerimientos.

Dentro de los requerimientos principales para el desarrollo de la herramienta se encuentran los siguientes: debe extraer información desorganizada de un banco de datos disponible en sitios web y retornarla de forma organizada, preferentemente en un formato compatible con Excel.

El cuadro 1 incluye los requerimientos internos más importantes de la herramienta a programar.

No	Requerimiento
1	Uso en Windows 2010
2	Uso de interfaz sencilla
3	Uso de software de libre o de bajo costo
4	Búsqueda por palabras clave en la web
5	Extracción de información precisa
6	Extracción en formato de fácil compatibilidad
7	Proceso automatizado

Cuadro 1. Requerimientos generales de la herramienta a programar.

Programación de la aplicación

Para el desarrollo de la herramienta se emplea Python versión 3.10.7 como lenguaje de programación, se emplean las bibliotecas, Selenium 4.8.0, PyAutoGUI 0.9.53, BeautifulSoup 4.11.1, Pandas 1.5.1, y el módulo os 3.10.9. A continuación, se describe las bibliotecas empleadas para este proceso.

Python

El lenguaje seleccionado para el proyecto es Python, cada vez más popular entre los desarrolladores de software. Es un lenguaje de programación de alto nivel de fácil uso, sintaxis intuitiva, en el que se pueden escribir códigos más cortos que en los lenguajes de programación más antiguos y con capacidad para conectar el código a otros lenguajes de programación. Estas características hacen que Python sea un lenguaje ideal para los diseñadores

automotrices. Python cuenta con recursos que facilitan la gestión de información de forma altamente eficiente. Se usará web scraping con herramientas de Python para obtener la información disponible en sitios web de forma automatizada.

Selenium es una biblioteca de software que está escrita en varios lenguajes, incluyendo Python, permite simular el comportamiento humano en un navegador web, como pulsar botones, rellenar formularios, navegar por páginas, etc., de forma automatizada. Se usará Selenium para abrir y acceder a un sitio web predeterminado, acceder al buscador de la página abierta, ingresar la entrada de búsqueda por el usuario previamente y copiarla en el buscador, para después mandar la función “Enter” del botón del teclado e iniciar la búsqueda de forma automatizada.

PyAutoGUI es una biblioteca de Python para automatizar la interacción con la interfaz gráfica de usuario (GUI) de una computadora. Permite controlar el mouse y el teclado para realizar tareas como hacer clic en botones, escribir texto, mover el cursor, presionar teclas especiales, etc. Esto significa que se puede escribir código para simular el comportamiento humano en la GUI de una computadora lo que permite automatizar tareas repetitivas. Se usará PyAutoGUI para ajustar las opciones de filtrado de forma que ordene la información de la web por precio de menor a mayor, usando movimientos y clics del ratón automatizados en puntos específicos de la ventana del sitio web.

Beautiful Soup es una biblioteca de Python para extraer datos de archivos HTML y XML. Proporciona una interfaz de programación de aplicaciones (API) para navegar y buscar en el árbol de análisis, por lo que puede encontrar etiquetas específicas basadas en la estructura del árbol HTML. Se usarán métodos de búsqueda de etiquetas para encontrar los elementos de la página web que desea recuperar. Luego, luego se accede a los atributos específicos de esos elementos para obtener los datos que se desea en este caso la descripción y precios de nuestros ejemplos.

Pandas es una biblioteca de software de código abierto para la manipulación y análisis de datos en Python. Está diseñada para ser rápida, versátil y fácil de usar. Se construye sobre NumPy, SciPy y matplotlib. Pandas proporciona estructuras de datos de alto nivel y herramientas de manipulación de datos, como tablas de datos, paneles y series temporales. Estas estructuras de datos le permiten realizar operaciones rápidas y sencillas, como agrupar, unir, reordenar, filtrar y transformar datos. Se usará Pandas para manipular los datos extraídos y guardarlos en un formato compatible con Excel.

El módulo os de Python es un módulo integrado que no se considera una biblioteca porque no proporciona una colección de funciones reutilizables para programas. En cambio, proporciona una interfaz con el sistema operativo subyacente para que los programas puedan interactuar con el entorno del sistema operativo, como la manipulación de archivos, la ejecución de comandos y la recuperación de información sobre el sistema, entre otras. También ofrece una variedad de herramientas útiles para la administración de directorios y la creación de scripts. Se usará para automatizar el cambio de nombre de los archivos generados.

Procesos de desarrollo

El proceso para el desarrollo y programación de la herramienta es el siguiente.

Configuración del ambiente de Python lo que incluye instalar las librerías correspondientes, es posible usar herramientas de la nube como IDE o alguna local, durante el desarrollo de esta herramienta se usó Visual Studio Code (VSC), pero el código es funcional desde un simple archivo .txt. Programación de comandos con Selenium para búsqueda y apertura del sitio web preconfigurado para posterior envío de las palabras clave para la búsqueda dentro del sitio web. Programación de PyAutoGUI para automatizar movimientos y clics del mouse en los filtros de búsqueda interna de la página. Programación de BeautifulSoup para la búsqueda y extracción de datos específicos mediante la estructura del código HTML de la página usada las etiquetas del sitio web. Programación de Pandas para guardar datos extraídos en formato .csv. Programación del módulo os para automatizar el guardado de los archivos generados con nombres progresivos para evitar que se sobrescriban. Integración de los códigos generados en uno solo para ser aplicado en una interfaz simple de Python. El proceso se muestra en la figura 3.



Figura 3. Proceso de desarrollo de la herramienta.

En la Figura 4 se muestran las líneas del código de las primeras pruebas de la biblioteca, la estructura de estas líneas podría resultar útil pues se logra extraer la información, aunque con demasiados datos innecesarios que contaminan la información de interés, pero que pudiera ser filtrada por alguien con conocimientos en Excel. En las

variables descripción y precios del código se aprecia el uso de la estructura de HTML a través de las etiquetas h2 y div.

```
from bs4 import BeautifulSoup
import requests
url = 'https://aqui_va_la_url'
page=requests.get(url)
soup=BeautifulSoup(page_content,'html.parser')
descripcion=soup.find_all('h2',class_='ui-search-item_title shops_item-title')
precios=soup.find_all('div',class_='ui-search-price ui-search-price--size-medium
shops_price')
```

Figura 4. Arquitectura de la aplicación.

En la figura 5 se muestra parte del código final para integrar los códigos que se desarrollaron de las distintas bibliotecas en un principio por separado.

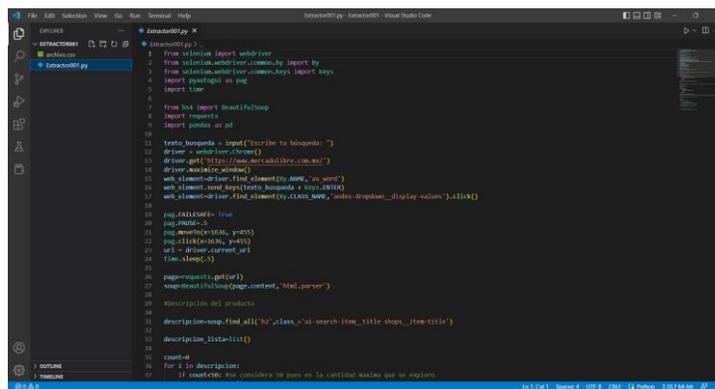


Figura 5. Código de la aplicación.

Pruebas de aplicación y resultados

En la Figura 6 se muestran tres ciclos completos del proceso de la aplicación. La interface solicita la entrada de búsqueda al usuario, abre la página predefinida para realizar la búsqueda, filtra por precios de menor a mayor dentro del sitio web, luego extrae la información de interés preestablecida en el código, la información extraída se puede visualizar desde la terminal de la interfaz de desarrollo integrado (IDE), en la imagen se previsualiza el archivo con extensión .csv, el cual es compatible con Excel, y finalmente cierra todo lo relacionado con la aplicación. Originalmente se trabajaron las etapas descritas con archivos de código independiente, para la versión final se integró todo el código en un solo script con todo el proceso integrado y automatizado, de modo que la única función del usuario es abrir la aplicación dando doble clic sobre el icono, ingresar las palabras clave de búsqueda. La aplicación tiene parámetros no accesibles para el usuario promedio que deben ser modificados por un usuario con conocimientos en programación. El código puede ser desarrollado o copiado a un block de notas simple y al ser guardado correctamente funcionara, siempre y cuando se tenga configurado adecuadamente el entorno de Python junto con las bibliotecas que se han explicado.

Ajustes finales

La herramienta contemplada originalmente se desarrolló más allá de las intenciones iniciales que eran encontrar un método de extracción de datos de un sitio web que fuera sencillo y económico, hasta convertirse una aplicación completa y funcional. En esta primera versión se incluyó el uso de la biblioteca Pandas 1.5.1, y el módulo os 3.10.9. de Python. Es importante distinguir que Pandas y el módulo os no se usan para extraer datos, sino para su administración después de haber sido extraídos, por lo que se puede prescindir de ellos y aun se obtendrían resultados fácilmente aprovechables. También sería posible prescindir de alguna otra biblioteca aprovechando por completo las herramientas que ofrece cada una por separado, sin embargo, el usar las herramientas básicas de cada biblioteca en conjunto resulta relativamente sencillo pues cada una está especializada en funciones específicas e independientes de las otras, lo que resulta mas intuitivo para el programador al emular el comportamiento humano del proceso de búsqueda.

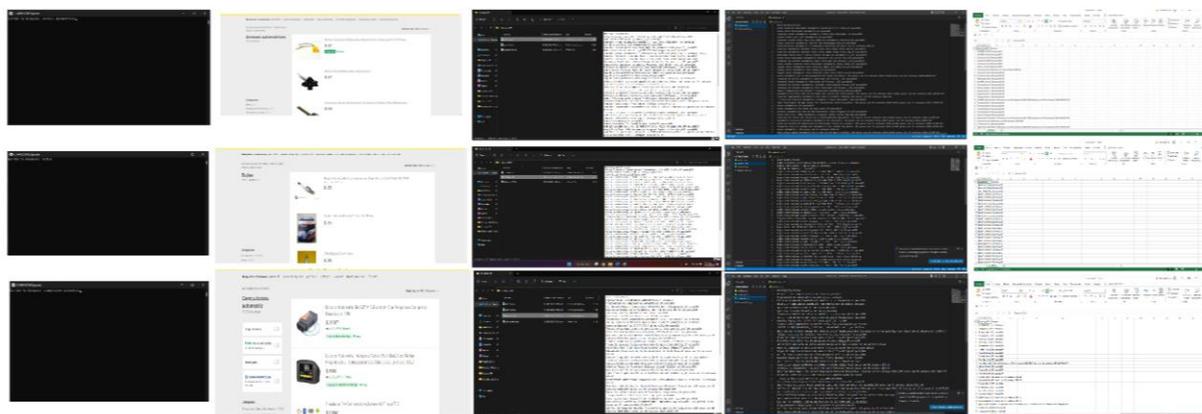


Figura 6. Ejemplos de ciclos de búsqueda completos del proceso de la aplicación. Las palabras ingresadas fueron: arneses automotrices, bujías y computadoras automotrices.

Comentarios Finales

Resumen de resultados

Se desarrolló una aplicación en Python que cumple con los requerimientos establecidos y completamente funcional combinando herramientas para recopilar información de forma automatizada y precisa disponible en la web. Todos los recursos usados son de código abierto por lo que son gratuitos. La aplicación solicita la entrada de búsqueda desde una interface sencilla y por medio de la automatización de las bibliotecas, realiza la búsqueda en un sitio web, haciendo un primer filtrado de la información desde el sitio web, para ser extraída, ordenada y guardada en un archivo con extensión compatible con Excel. Los parámetros y condiciones de búsqueda deben ser editados desde el código, pero las funciones esenciales de la técnica web scraping estudiada son extrapolables a cualquier sitio web con estructura HTML. Para este proyecto se usaron cuatro bibliotecas y un módulo de Python. Selenium, y BeautifulSoup están especializada en la interacción con la web, PyAutoGUI se usó como recurso de automatización local y Pandas y os como herramientas para la gestión de datos local. Sería posible prescindir de algunas bibliotecas usando los recursos completos de cada una de ellas, sin embargo, resulta de utilidad tenerlas en cuenta, pues ofrecen alternativas únicas que resulta interesante considerar según las necesidades específicas de diferentes proyectos. El proceso desde que se envía la búsqueda de las palabras ingresadas en la interface hasta que la aplicación termina por completo su ciclo y cierra todas las ventanas es de aproximadamente 4 segundos, tiempo que también puede ser configurado, pero que en las pruebas deja suficiente margen para dar oportunidad a los sitios web de abrir los recursos necesarios para la extracción de datos. La cantidad de datos que se extrae por búsqueda es de 2 columnas y 50 filas, para el caso del ejemplo se extrajeron características y precios de arneses automotrices organizados en dos columnas con orden ascendente de menor a mayor.

Conclusiones

La aplicación de la técnica Web Scraping por medio de las librerías disponibles para Python es una solución viable para generar bases de datos útiles disminuyendo considerablemente el tiempo y esfuerzo en esta actividad, debido a que son de código abierto el uso de estos recursos resulta muy atractivo para la industria automotriz y en general cualquier otra que quiera disminuir sus costos en software con relación a la velocidad en el manejo de sus datos.

Recomendaciones

Se sugiere integrar el con la técnica descrita el uso herramientas más avanzadas disponibles en Python e implementadas en Deep Learning, Machine Learning, Redes Neuronales, Inteligencia Artificial, etc. Python también dispone otras herramientas para el análisis de datos de código abierto como las que se mencionan a continuación. NumPy biblioteca muy útil para el análisis numérico y el cálculo científico. SciPy herramienta que contiene módulos para álgebra lineal, optimización, estadística y mucho más. Matplotlib biblioteca para generar gráficos y visualizaciones. Scikit-learn herramienta que proporciona algoritmos para aprendizaje automático como regresión, clasificación, clustering, entre otros. Seaborn herramienta que se utiliza para crear gráficos estadísticos y visualizaciones de datos. TensorFlow: biblioteca de aprendizaje profundo para el análisis y la manipulación de datos.

Referencias

Kumar, S., & Kumar, U. (2019). Web Scraping: State-of-the-Art and Areas of Application 2019 IEEE International Conference on Big Data (Big Data). IEEE.

CHRIS HANRETTY. Scraping the web for arts and humanities [online]. Norwich, Royaume-Uni: University of East Anglia, 2013. Disponible sur http://www.essex.ac.uk/1dev/documents/going_digital/scraping_book.pdf

Glez-Peña, D., Lourenço, A., López-Fernández, H., Reboiro-Jato, M., & Fdez-Riverola, F. (2013). Web scraping technologies in an API world. *Briefings in bioinformatics*, 15(5), 788-797.

Mitchell, R. (2015). *Web Scraping with Python: Collecting More Data from the Modern Web*. O'Reilly Media.

Selenium. (2021). Selenium 4.8.0. Recuperado de <https://pypi.org/project/selenium/>

PyAutoGUI. (2021). PyAutoGUI 0.9.53. Recuperado de <https://pypi.org/project/PyAutoGUI/>

Beautiful Soup. (2021). Beautiful Soup 4.11.1. Recuperado de <https://pypi.org/project/beautifulsoup4/>

Pandas. (2021). Pandas 1.5.1. Recuperado de <https://pypi.org/project/pandas/>

Os. (2021). Os 3.10.9. Recuperado de <https://docs.python.org/3/library/os.html>

Notas Biográficas

El Ing. **Emanuel Cruz Chávez**, actualmente es estudiante de la Maestría en Ingeniería Electrónica del Tecnológico Nacional de México campus Puebla. Es egresado de la carrera de Ingeniería Mecánica en el año 2012 por la misma institución. Ha trabajado en la industria minera y automotriz en empresas como Minerales Industriales del Sur, Veritas México y Fujikura México. Ha trabajado como docente de ciencias exactas e ingeniería en la Universidad de los Ángeles, la Universidad del Siglo XXI y la Universidad del Valle de Puebla (UVP). Ha contribuido en la actualización de planes de estudio y en la actualización del examen de titulación de la carrera de Ingeniería Mecánica y Diseño Automotriz de la UVP.

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

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 profesor 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 SNTE-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. 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. 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, 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.

Evaluación de la Ruta 8 de Recolección de Residuos Sólidos en la Ciudad de Orizaba, Veracruz, Usando Simulación en SIMIO

María José Cruz García¹, M.I.I Constantino Gerardo Moras Sánchez²,
Dr. Miguel Josué Heredia Roldan³, Ing. Luis Ángel Bello Castellanos⁴

Resumen—En esta investigación se presentan los resultados de la evaluación de la ruta 8 de recolección de RSU, donde se implementa la metodología de simulación propuesta por Law y Kelton llevada a cabo en el Software de SIMIO para implementar una alternativa de solución para la disminución en los tiempos de recolección dentro de la ruta con la cual permite tomar una decisión con base en los resultados arrojados. Dicha alternativa consta de la reducción de los puntos de recolección en un 10%, así como plantear una reubicación de estos. Finalmente se llegó a la conclusión de que a pesar de tener una reducción de botes los tiempos no son reducidos de manera significativa, pero se refleja una mejora en la recolección de RSU.

Palabras clave—Simulación, Residuos Sólidos Urbanos, Puntos de recolección, SIMIO.

Introducción

La ciudad de Orizaba pertenece a la región de las altas montañas de Veracruz, con una superficie de 27.9 km² y un total de 120,000 habitantes, colocándose como el cuarto municipio más poblado del estado (SIEGVER, 2021). El municipio cuenta con su propio departamento de limpia pública el cual es el encargado de la gestión de los Residuos Sólidos Urbanos (RSU) de la ciudad, cuenta con dos métodos diferentes para desempeñar dicha labor, el primero consta de camiones recolectores (compactadores y de volteo) y el segundo consiste en la recolección manual, ambos métodos deben contar con una buena gestión del tratamiento de RSU.

Esta gestión es vital para mantener un medio ambiente de calidad evitando focos de infección y la proliferación de plagas dañinas para el ser humano, la recolección de los desechos urbanos es manejada de maneras diferentes dependiendo del país, la región, la población e incluso la cultura o conciencia de la población, no obstante también existen normas y legislaciones que se encargan de regular la recolección, el tratamiento y el desecho de los RSU para evitar poner en riesgo la integridad del medio ambiente (Rondón, 2016). En el caso en particular de la ciudad de Orizaba, los dos métodos implementados permiten manejar este tipo de situaciones de manera práctica y segura. Sin embargo, se busca implementar una alternativa que permite la disminución de tiempos de recolección dentro de una ruta seleccionada enfocada en la recolección manual.

Esta consiste en un grupo de trabajadores encargados de recorrer las calles y avenidas de la ciudad barriendo las calles y revisando los contenedores de basura colocados cada cierta distancia en los postes de luz denominados dentro del estudio como “puntos de recolección” cuyo objetivo principal es el de prevenir que la gente tire sus desechos a la vía pública lo que puede generar la obstrucción de desagües, propagación de plagas y focos de infección. La ciudad está dividida por 13 rutas para ambos tipos de recolección, para desarrollar el modelo de simulación únicamente se ha seleccionado la ruta 8 con un perímetro de 4.82 km².

Descripción del Método

Metodología implementada para la elaboración del modelo de simulación

La metodología escogida para el desarrollo del modelo de simulación es la planteada por Averill. M. Law (2013), Cardós y Guijaro (2020) nos muestra como es utilizada en estudios para la dirección de operaciones donde se abordan sistemas complejos con múltiples relaciones de causalidad entre sus elementos e incluyen numerosas variables que reflejan su estado. Ortíz y Baldomero (2007) mencionan el uso de la metodología para evaluar varias alternativas en los modelos y reforzar la metodología para implementarlo en el sistema planteado.

Paso 1. Formulación del problema y plan de estudio

¹ María José Cruz García es estudiante de la maestría de Ingeniería Industrial en el Tecnológico Nacional de México, campus Instituto Tecnológico de Orizaba. mariajose.cruzg@outlook.com (**autor corresponsal**)

² El M.I.I. Constantino Gerardo Moras Sánchez es Profesor de la maestría en Ingeniería Industrial en el Tecnológico Nacional de México, campus Instituto Tecnológico de Orizaba. constantino.ms@orizaba.tecnm.mx

³ El Dr. Miguel Josué Heredia Roldan Profesor de la maestría en Ingeniería Industrial en el Tecnológico Nacional de México campus Instituto Tecnológico de Orizaba. miguel.hr@orizaba.tecnm.mx

⁴ Luis Ángel Bello Castellano es estudiante de maestría de Ingeniería Industrial en el Tecnológico Nacional de México, campus Instituto Tecnológico de Orizaba. angelbello124@gmail.com

La problemática que se presenta en el área de interés es el conocer el origen de los posibles retrasos o situaciones en la recolección de RSU, que afectan de manera directa o indirecta al sistema, para evaluar la eficiencia de recolección de éste, las medidas de desempeño de interés son el tiempo que tarda el trabajador en realizar el recorrido y la estimación de la cantidad de basura recolectada.

Paso 2. Recolección de datos y construcción del modelo conceptual

Los datos obtenidos son divididos en dos sectores: El centro de la ruta 8 y el borde inferior de la ruta. En el segundo sector se toma en cuenta la afluencia de automóviles debido a que es una calle muy transitada, es común que el trabajador necesite más tiempo para poder desempeñar su labor en ésta. Los datos obtenidos para el modelo de simulación se dividen en dos grupos: Datos de recolección y puntos de recolección, la primera categoría es conformada por los tiempos que tarda el trabajador en realizar los 5 procesos: barrido, recogido, almacenamiento y boteo, traslado, demora. La segunda categoría corresponde a los puntos de recolección que se encuentran ubicados dentro de la ruta determinada.

Es necesario seleccionar las distribuciones adecuadas para el primer grupo de datos, para seleccionar la distribución adecuada se debe tomar en cuenta que sea una distribución simple y que sea de uso común dentro del software de SIMIO, al realizar las pruebas de bondad y ajuste pertinentes se ha determinado que la distribución para los datos es la uniforme. El segundo grupo de datos fue obtenido utilizando una herramienta digital que permite navegar por las calles de la ciudad de manera virtual, posteriormente se verificó la exactitud de los datos recolectados realizando el recorrido de la ruta donde se constató un total de 108 puntos de recolección.

Tabla 1. Distribuciones del modelo.

Grupo	Distribuciones
Barrido	Random.Uniform(5,10)
Recogido	Random.Uniform(0.5,1.03)
Almacenamiento/boteo	Random.Uniform(1.8,2.5)
Traslado	Random.Lognormal(0.1877,0.065)
Demora	Random.Triangular(0.13,0.178,0.22) Random.Exponential(18)

Las distribuciones finales para alimentar el modelo se muestran en la Tabla 1.

Paso 3. Verificación del modelo conceptual

Durante una reunión con el experto encargado del área de barrido se consultó el modelo conceptual que se planteó para llevar a cabo la simulación, debido a que éste debe ser representativo del sistema real. El método de barrido utilizado por los trabajadores es conocido como “ala de avión”, debido al parecido que tiene el recorrido al ser trasado sobre un plano, como se observa en la Figura 1.

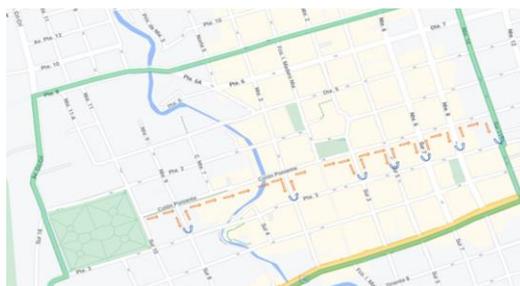


Figura 1. Modelo conceptual

Paso 4. Construcción del programa

Mediante un software de simulación (SIMIO) se construye el modelo del sistema con el sumo cuidado de no entrar en detalles excesivos. El modelo cuenta con un total de 79 servers cuya función es representar cada cuadra emulada en el sistema real, 86 timepath que indica a la entidad el recorrido que debe realizar, y 8 entidades que representan al trabajador, dentro del modelo otros elementos no menos importantes a mencionar son los sink y source que marcan el inicio y fin de cada calle, una parte del modelo construido se muestra en la Figura 2.

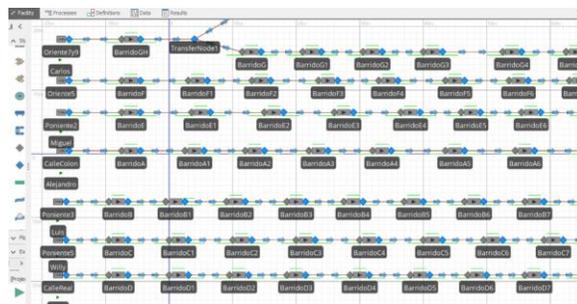


Figura 2. Modelo del sistema actual

Paso 5. Corridos piloto y validación del modelo

Una vez elaborado el modelo de simulación es necesario realizar pruebas piloto para probar el modelo y evitar errores, para esto se realizan 10 pruebas piloto, las calles seleccionadas para realizar las corridas piloto y validación del modelo fueron seleccionadas bajo el criterio de representar la cantidad mínima y máxima de cuerdas dentro de una calle, así como la moda, por lo tanto, se tienen un mínimo de 8 cuerdas, un máximo de 11 y un promedio de 9. En la Tabla 2 se muestra un ejemplo de los datos recolectados para poder realizar la validación del modelo, donde una columna corresponde a los datos reales del sistema observados y la otra son datos obtenidos mediante las 10 corridas piloto.

Tabla 2. Muestras apareadas del tiempo promedio del proceso de barrido en Calle Real.

Corridas	X_j	Y_j	$Z_j = X_j - Y_j$	$(Z_j - \bar{Z}_{10})^2$
1	3.504	3.365	0.1392	0.0436392
2	3.663	3.415	0.2484	0.1011876
3	3.456	3.315	0.1411	0.0444366
4	3.343	3.523	-0.1801	0.0121882
5	3.417	3.483	-0.0661	0.0000130
6	3.332	3.643	-0.3111	0.0582740
7	3.514	3.503	0.0109	0.0064964
8	3.534	4.113	-0.5791	0.2594884
9	3.326	3.293	0.0329	0.0105268
10	3.470	3.603	-0.1331	0.0040196
Suma	-	-	-	0.5402
Promedio	3.456	3.252	-0.069	-

Donde:

X_j = Tiempo promedio de recorrido en el sistema real.

Y_j = Tiempo promedio de recorrido del modelo de simulación.

Para realizar la validación del modelo de simulación se utiliza la prueba de la t-pareada con un nivel de significancia del 10%, donde al obtener un intervalo de confianza que incluya al 0 se puede afirmar con un 90% de confianza que el modelo es representativo del sistema real y la diferencia de $Z = \mu_x - \mu_z$ no es estadísticamente significativa. Los intervalos de confianza obtenidos al realizar la prueba de la t-pareada para cada calle seleccionada son mostrados en la Tabla 3.

Tabla 3. Intervalos de confianza obtenidos para las tres calles seleccionadas.

Calle	Intervalo
Calle Real	(0.0722, -0.2117)
Oriente 9	(0.1156, -0.1252)
Calle Colón	(0.1304, -0.1515)

Paso 6. Determinación del número óptimo de corridas

Si bien la validación del modelo juega un papel importante dentro de la metodología, también lo es el determinar el número óptimo de corridas del modelo de simulación. Para realizar el cálculo se utiliza la prueba de $n * (\beta)$, los datos para realizar la prueba son los obtenidos de las corridas piloto, es necesario calcular su media y desviación estándar, en el ejemplo los datos mostrados pertenecen a Oriente 9.

Se establece un nivel de confianza del 95% y un error absoluto (b) de 0.05

$$\begin{aligned} \bar{X}_n &= 2.797 & \beta &= 0.05 \\ S^2_n &= 0.018 & \alpha &= 0.05 \end{aligned}$$

Para calcular el número óptimo de corridas, denominadas como $n * (\beta)$, se utilizó la Ecuación 1.

$$n * (\beta) = \left\{ i \geq n: t_{i-1, 1-\alpha/2} \sqrt{\frac{S^2(n)}{i}} \leq \beta \right\}$$

Ecuación 1.

Donde:

i = Número óptimo de corridas

b = Error absoluto

a = nivel de significancia

S^2_n = Varianza de las corridas piloto

t = Valor de tablas de distribución t-student

n = número de corridas piloto

De este modo es posible determinar el número óptimo de corridas incrementando el valor de i hasta que se cumple la desigualdad de que el valor de tablas sea menor o igual al error absoluto como se muestra en la Ecuación 2

$$i = 31 \quad 2.039 \sqrt{\frac{0.0188}{30}} = 0.049 \leq 0.05$$

Ecuación 2. Resultados de $n*(\beta)$

Obteniendo así que el número óptimo de corridas son un total de 31 veces.

Paso 7. Análisis de los resultados obtenidos

A partir del número óptimo de corridas fue posible observar a detalle las características del modelo de simulación y recolectar los datos de las medidas de desempeño arrojados, los cuales serán comparados con la alternativa de solución que se muestra en el siguiente apartado.

Scenario		Replications		Responses						
<input checked="" type="checkbox"/>	Name	Status	Required	Completed	CalleReal (Hours)	Oriente9 (Hours)	CalleColon (Hours)	BasuraCalleReal	BasuraCalleColon	BasuraOte9
<input checked="" type="checkbox"/>	Sistema Actual	Idle	31	31 of 31	3.21049	2.79069	2.99969	135.968	223.677	8

Figura 3. Resultados Sistema Actual.

Los resultados arrojan un total de 3.21 horas para Calle Real, 2.79 horas para Oriente 9 y 2.99 horas para Calle Colon, tiempo promedio en el que tardan los trabajadores en realizar el recorrido de las calles de la ruta. También se obtiene una aproximación de la cantidad de RSU recolectados los cuales son 135 galones para Calle Real, 8 galones para Oriente 9 y 223.67 galones para Calle Colón.

Paso 8. Elaboración de alternativas de solución con base a los resultados obtenidos

La alternativa planteada es una reducción de los puntos de recolección en un 10%, donde los botes son reubicados para lograr una distribución uniforme. Los cambios realizados se encuentran en 6 de las 8 calles que conforman el sistema, donde los botes retirados son colocados en dos calles donde la existencia de botes es nula, pero cuenta con un

flujo considerable de personas transitando debido a que se localizan puntos importantes como paradas de autobús, instituciones de gobierno y negocios. De igual modo, se realizaron las corridas óptimas para obtener las medidas de desempeño de interés que se muestran en la Figura 3.

Scenario		Replications		Responses						
<input checked="" type="checkbox"/>	Name	Status	Required	Completed	CalleReal (Hours)	Oriente9 (Hours)	CalleColon (Hours)	BasuraCalleReal	BasuraCalleColon	BasuraOte9
<input checked="" type="checkbox"/>	Alternativa 1	Comple	31	31 of 31	3.24172	2.88325	2.909	136.387	198.806	15.9677

Figura 4. Resultados de la Alternativa 1.

Los resultados de la alternativa arrojan un total de 3.24 horas para Calle Real, 2.88 horas para Oriente 9 y 2.909 horas para Calle Colon, tiempo promedio en el que tardan los trabajadores en realizar el recorrido de las calles de la ruta. También se obtiene una aproximación de la cantidad de RSU recolectados los cuales son 136 galones para Calle Real, 16 galones para Oriente 9 y 199 galones para Calle Colón.

Comentarios Finales

El análisis y resumen de resultados se muestran a continuación, haciendo contraste entre el modelo original y la alternativa de solución que se propone para el proyecto.

Resumen de resultados

En este trabajo se estudiaron los tiempos de recorrido dentro de las calles de la ruta 8 mediante la construcción de dos modelos de simulación elaborados en SIMIO. Los resultados tras simular el número óptimo de corridas del sistema actual y la alternativa se muestran en la Tabla 4 y la comparativa entre éstos en la Figura 5.

Tabla 4. Resumen del tiempo de recorrido del sistema actual vs alternativa (horas)

	Sistema Actual	Alternativa 1
Calle Real	3.210	3.241
Oriente 9	2.790	2.883
Calle Colón	2.999	2.909



Figura 5. Comparación de resultados

Con relación a la alternativa planteada podemos observar que solo una medida de desempeño calle colón se ve disminuida, sin embargo, las otras dos pertenecientes a Calle Real y Oriente 9 se ven afectadas teniendo un incremento del 0.97% y 3.33% respectivamente, mientras que Calle Colón tiene una disminución del 3% en su tiempo recolección final.

Con relación a la estimación aproximada de la recolección de residuos sólidos urbanos, se obtuvieron los datos mostrados en la Figura 5, donde se observa un aumento proporcional al número de botes aumentados en Oriente 9, debido a que se duplica la cantidad, mientras que en Calle Real no se muestra afectada debido a que no se modificó la cantidad total de botes de toda la calle, mientras que Calle Colón con una disminución de 3 botes redujo la cantidad total de basura recolectada en un 11%.

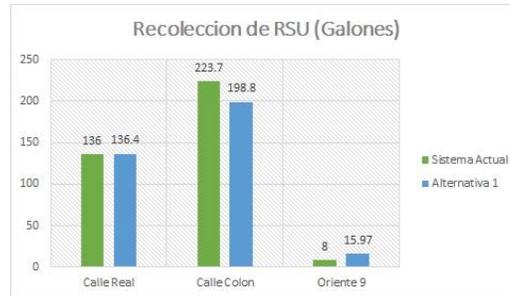


Figura 6. Comparación de resultados de RSU

Conclusiones

Los resultados demuestran que la alternativa brindada pese no tener un aumento significativo en el porcentaje de tiempos siendo este menor al 5%, no es el resultado deseado al ser solo una de las tres calles la que brinda una disminución en los tiempo de recolección. Este resultado es inesperado, dado que se realiza una disminución en la cantidad de botes del 10%, se esperaba que los tiempos de recorrido disminuyeran, con relación a la cantidad de RSU recolectados se tiene un impacto positivo de acuerdo con la reubicación de los botes. Es importante destacar que la finalidad de la simulación es replicar al sistema real y crear diferentes escenarios para poder plantear alternativas que pongan a prueba el modelo.

Recomendaciones

Con base en los resultados obtenidos, se recomienda plantear nuevos escenarios tomando en cuenta mas variables dentro del modelo de simulación, quedando abierto a la búsqueda de más alternativas de posibles soluciones futuras.

Referencias

- Cardós C., M., & Guijaro T., E. (2020). *Introducción a la simulación en Dirección de Operaciones*. Valencia : Universidad Politécnica de Valencia.
- Law. M., A. (2013). *Simulation modeling and analysis*. New York: McGraw Hill.
- Ortiz F., F., & Gómez B., B. (2007). Aplicación de la Metodología de Simulación para Sincronizar el Flujo del Producto en una Planta Tipo A con componenete compartidos por medio de la TOC. *UPIICSA XV, VI, 43*.
- Rondón, e. a. (2016). *Guía general para la gestión de residuo sólidos domiciliarios*. Santiago, Chile: Publicación de las Naciones Unidas.
- SIEGVER, S. d. (2021). *Cuadernillos municipales*. Orizaba: Subsecretaria de Planeación.

Diseño de un Sistema de Bombeo de Agua para Riego a Base de Energía Solar

Ing. Efraín de la Cruz Sánchez¹, Ing. Jorge Peralta Orozco², Álvaro Benítez Ríos³, Arq. Arodi Ariel Uicab Marín⁴, M. E David Peralta Regalado⁵, Dr. Florencio Sánchez Silva⁶, M.E Janette Areni Valmont Pineda⁷

Resumen— Este documento pretende realizar una propuesta que podría dar solución a uno de los problemas antes mencionados (la falta de agua, especialmente en los cultivos, problema derivado por la falta de energía eléctrica). Esto se puede lograr implementando un sistema de bombeo de agua para el riego en los cultivos haciendo uso de la energía solar en las localidades de difícil acceso al Sur del estado de Oaxaca. Esto puede ser posible gracias a las energías renovables, mismas que se obtienen a partir de fuentes naturales, que producen energía de forma inagotable e indefinida.

Palabras Clave— Sistema de riego, panel fotovoltaico, bomba sumergible, arquitectura,

Introducción

La energía es un importante factor para el desarrollo y crecimiento económico de un país, ya que provee de fuerza a muchos de los aparatos y maquinas que ayudan a producir trabajo. Aunque normalmente la energía que se utiliza es a través del uso de combustibles fósiles, la energía renovable como la del sol, son una fuente limpia, como abundante e inagotable fuente de energía.

Es entonces donde vimos la necesidad de implementar nuestros conocimientos adquiridos en el transcurso de estos años sobre las energías renovables, y nos dispusimos a proponer un sistema de bombeo solar fotovoltaico para el riego de cultivos del rancho Jiménez, aprovechando que en el lugar del proyecto existe un pozo, esto representa un gran potencial, pero no se ha aprovechado de manera sostenible.

Antecedentes

El uso de las fuentes alternativas para la generación de energía eléctrica ha tomado un auge importante; en particular el uso de la energía solar, que, mediante su utilización, se espera satisfaga la demanda de energía de diversas actividades humanas.

Los paneles solares se perfilan como la solución definitiva al problema de electrificación rural, debido a las largas distancias para enviar energía, se hace más fácil el mantenimiento, no produce ruido y lo mejor no consume combustible; una verdadera ventaja es que funciona también en días nublados ya que capta la luz que se filtra en las nubes y ayuda a la conservación del medio ambiente [1].

El bombeo de agua con energía fotovoltaica se presenta como una de las aplicaciones más importantes de la energía solar. Es especialmente interesante en zonas rurales en donde los pozos se encuentran en lugares de difícil acceso a la red eléctrica.

El bombeo solar de agua para riego, que, aunque actualmente, resulte excesivamente costoso, es una aplicación que puede presentar en el futuro un gran potencial de desarrollo. Teniendo en cuenta que las necesidades de agua para riego suelen ir asociadas a las épocas de mayor insolación, coincidiendo oferta y demanda [2].

Los sistemas de bombeo fotovoltaico se aprovechan de manera eficiente en lugares donde no se cuenta con energía eléctrica realizando una buena gestión del recurso acuífero. Instalar un sistema de riego por goteo para la producción de los cultivos es económico, porque puede durar hasta 10 años, garantiza un uso eficiente del agua y puede ayudar

¹ El Ing. Efraín de la Cruz Sánchez es Profesor de Ingeniería Eléctrica y Electrónica en el Instituto Tecnológico del Istmo, México y Jefe del laboratorio de Ingeniería Eléctrica, fain_07@hotmail.com

² El Ing. Jorge Peralta Orozco es Profesor de Ingeniería Eléctrica y Electrónica en el Instituto Tecnológico del Istmo, México, jorge.peralta16@hotmail.com

³ El C. Álvaro Benítez Ríos es alumno de la carrera de Ingeniería Eléctrica en el Instituto Tecnológico del Istmo, alvarobenitezrios11@gmail.com

⁴ El Arq. Arodi Ariel Uicab Marín es Profesor de Ciencias de la Tierra en el Instituto Tecnológico del Istmo, México, arodimarin@gmail.com

⁵ M. E David Peralta Regalado es Profesor de Sistemas e Informática en el Instituto Tecnológico del Istmo, México, david.pr@istmo.tecnm.mx

⁶ El Dr. Florencio Sánchez Silva es Profesor de los programas de posgrado en Ingeniería Mecánica y Electromecánica en el Instituto Politécnico, México, fsnchz@yahoo.com.mx

⁷ M.E. Janette Areni Valmont Pineda es Profesora de Ciencias Básicas en el Instituto Tecnológico del Istmo, México, arenivalmont@gmail.com

ante las afectaciones del cambio climático.

Lo mejor acerca de la energía solar fotovoltaica en términos de sus efectos ambientales es que casi no produce emisiones de carbón o gases de efecto invernadero. No quema petróleo, no genera residuos tóxicos, y su ausencia de partes móviles reduce las posibilidades de un accidente ambiental devastador a cero. De hecho, los únicos contaminantes que se consideran en la energía solar fotovoltaica son aquellos que participan en la construcción y transportación de sus partes; lo cual lo clasifica entre las formas de energía más limpia en la tierra [3].

¿Como funciona un sistema de bombeo fotovoltaico?

El bombeo solar es un sistema autónomo para proporcionar un suministro de agua basado en la energía del sol. En este artículo hablamos del funcionamiento de un bombeo solar.

En un bombeo de agua solar se utiliza la radiación del sol para generar a través de los paneles fotovoltaicos la energía necesaria para hacer funcionar la bomba de agua.

El kit solar de bombeo de agua recoge la radiación del sol que se destina al accionamiento de la bomba de agua y a satisfacer su consumo eléctrico. Este kit bombeo agua solar tiene que ubicarse en un lugar donde no se proyecten sombras, y con la orientación adecuada para conseguir la máxima radiación solar. Además, la cantidad instalada en paneles solares tiene que ser suficiente para accionar la bomba de agua en las primeras horas del día, siendo siempre su potencia superior a la de la bomba.

El otro elemento principal que interviene en el proceso de convertir la energía del sol en energía para hacer funcionar la bomba de agua es el controlador de bombeo. Este equipo permite variar la frecuencia de giro de la bomba permitiendo que funcione en las primeras y últimas horas del día donde hay menor radiación. El variador de frecuencia sigue el punto de máxima potencia del panel en cada instante, para que el panel produzca en todo momento lo máximo posible.

Por último, la bomba de agua conectada al controlador de bombeo impulsa el agua hasta un depósito o a una red de riego directo [4].

Arquitectura Del Sistema

¿Cuántos paneles necesito para mi instalación de bombeo solar?

Para determinar los paneles solares que necesitamos en nuestra instalación consideraremos diferentes aspectos importantes;

En primer lugar, ver si disponemos de bomba con alimentación monofásica o trifásica.

Las bombas monofásicas se suelen utilizar en casos donde necesitamos menos cantidad de agua. Existen equipos, como el convertidor INVT distribuido por atersa. shop, que se encargan de transformar la corriente continua de las placas solares en corriente alterna y que poseen una elevadora de tensión [5].

La instalación solar fotovoltaica para bombeo directo de agua está destinada a satisfacer las necesidades de consumo propio de electricidad para el accionamiento de la bomba, y consta de un esquema de instalación cuyos componentes principales se muestran en la figura 1.

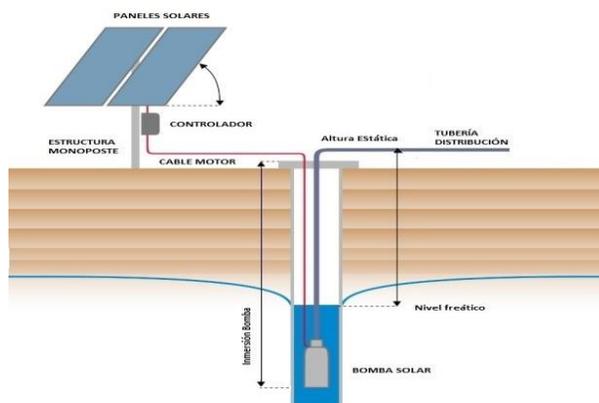


Fig. 1 Estructura del sistema de riego

Paneles o módulos solares: son los encargados de captar la radiación solar y transformarla en electricidad, generando una corriente continua (CC), también llamada corriente directa (DC) que alimenta a la bomba. El número de paneles quedará determinado por la potencia que se necesita suministrar a la bomba, de acuerdo al caudal de agua

a bombear y presión de suministro.

Asimismo, la disposición y forma del conexionado de los paneles (en serie o en paralelo), será en función de la tensión nominal y la intensidad de corriente necesaria para el accionamiento del motor eléctrico de la bomba.

Los paneles solares se situarán sobre un rack o estructura metálica a cierta altura para evitar que se proyecten sombras sobre la superficie de los paneles debida a la presencia de árboles o de cualquier otro obstáculo cercano.

Regulador o controlador de carga: dispositivo electrónico encargado de controlar el funcionamiento óptimo de la bomba de agua. El controlador ayuda a maximizar el rendimiento energético de los paneles solares, permitiendo que la bomba de agua funcione también durante periodos de menor irradiación solar [6].

Bomba solar sumergible

Las bombas solares trabajan por lo general sin baterías, conectadas directamente a los paneles fotovoltaicos a través del regulador o controlador de carga.

Son bombas en acero inoxidable para soportar la agresividad de las aguas subterráneas, y disponen de un motor eléctrico de corriente continua (CC/DC), a una tensión nominal que puede abarcar desde bombas que funcionan a 12/24V hasta modelos de bombas diseñadas para ofrecer grandes caudales y presiones con tensiones nominales de entre 300 y 500 Voltios.

Suelen ser bombas sumergibles que se instalan inmersas en pozos de agua, en cuyo caso, será necesario la instalación de sondas de nivel de agua en el interior del pozo para evitar que el nivel del agua pueda descender durante el bombeo por debajo de la boca de aspiración de la bomba, evitándose así que la bomba trabaje en seco.

En bombas sumergibles el riesgo de cavitación resulta muy bajo. No obstante, se recomienda comprobar el NPSH de la bomba en su punto de funcionamiento. Entonces, el valor de la inmersión mínima en el agua, expresado en metros, que deberá tener la bomba será aproximadamente de: $NPSH_{bomba} (m) - 10 (m)$.

Toda bomba deberá trabajar cerca de su máximo rendimiento, el cual se alcanza sólo en un estrecho margen de caudal, que será el criterio que se emplee para la selección del tipo de bomba. Esta información aparecerá en las curvas de funcionamiento de la bomba que deberán ser suministradas por el fabricante en sus catálogos técnicos.

Por lo tanto, el punto de funcionamiento de la bomba será aquel cuyo caudal que suministre, esté lo más próximo posible a su punto de rendimiento óptimo, o bien ligeramente a la derecha de éste [7].

Conclusiones

Se propuso el diseño de un sistema de bombeo el cual trabajara con energía solar para suministro de agua, tomando en cuenta conceptos conceptos tales como el bombeo y la generación de electricidad mediante paneles fotovoltaicos. De igual manera se propuso dimensionar el rancho donde se aplicará el proyecto al igual que el sistema de bombeo solar, se pretende también llevar a cabo el análisis experimental de un equipo de bombeo sumergible de corriente directa para conocer su operación y comportamiento en diferentes periodos.

Referencias

- [1] Natanael Elenes Felix (2012), "Análisis de factibilidad de un sistema de bombeo de agua con energía solar como propuesta de adaptación para riego en rayón, sonora", Tesis de maestría, Universidad de Sonora, Hermosillo Sonora.
- [2] David, A. R. (2008- 23952), Jiménez, B. R. (2009-30150) "Estudio de un sistema fotovoltaico para bombeo de agua".
- [3] Ramos, J. J. (2009) Diseño y construcción de un prototipo automatizado de un sistema debombeo de agua para riego, pecuario y consumo humano utilizando energía fotovoltaica.
- [4] Alonso, m. A. (2011) sistemas de bombeo fotovoltaico
- [5] Practical Action. (2017). Bombeo de agua mediante energía solar fotovoltaica.
- [6] Hermenegildo Rodríguez Galbarro, Instalación Solar Fotovoltaica para el Bombeo de Agua para Riego. Obtenido de <https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn193.html>
- [7] Serrano, J. S. (2009). Configuración de instalaciones solares fotovoltaicas.

Simulation of the Process of Obtaining Fermentable Sugars by Acid Hydrolysis of Waste Banana using Aspen Plus Simulator

Simulación del Proceso de Obtención de Azúcares Fermentables mediante Hidrólisis Ácida de Plátano de Desecho Usando el Simulador Aspen Plus

Denis Leyva Norma Alicia¹, Purata Pérez Nora Alicia²,
López Villarreal Francisco³, Antonio Cruz Rocío del Carmen⁴ y Juana Selván García⁵

Abstract— Using the Aspen Plus v10 simulator, the simulation for the process of obtaining fermentable sugars through the acid hydrolysis of waste plantain from experimental data is presented, a flow chart proposal is made, as well as the operating conditions of each of the teams involved in the process. For this simulation it was necessary to load the hypothetical components cellulose, hemicellulose and lignin, as well as their properties. The acid hydrolysis reaction is carried out with dilute sulfuric acid and required the use of two stoichiometric reactors where the reactions that occur and the conversions were loaded. The data used in this case for the simulation come from the technological process carried out in the research laboratory II of the Tecnológico Nacional de México Campus Villahermosa.

Keywords—Simulation, acid hydrolysis, cellulose, bioethanol.

Introduction

The plantain is one of the most harvested fruits in the state of Tabasco, however, among one of the practices that occur today in the agricultural industry is the cutting of the plantain plant so that another grows, which generates a large amount of waste that causes not only a negative impact on the environment but also on the quality of life of the inhabitants.

Currently, the interest in caring for the environment has been increasing due to the negative impact it has on living beings, for which the sustainable use of resources has been sought, as well as the use and use of natural waste in various processes. processing, which is why a good approach is to take advantage of all banana residues as a source of raw material for the production of bovine feed, bioethanol, among other chemical by-products.

One of the technological processes with the greatest impact in Mexico is the development of energy alternatives that contribute to the use of biomass such as lignocellulosic material, which has given rise to the generation of biofuels, mainly bioethanol.

Within the bioethanol production process, it is necessary to decompose the polymeric chains of lignocellulosic material such as lignin, cellulose and hemicellulose into elemental monomers that are the precursors of bioethanol, which is why it is necessary to use acid hydrolysis. For acid hydrolysis, mainly hydrochloric acid and sulfuric acid are used, and it is generally carried out at elevated temperatures and pressures.

Bioethanol is produced from various types of waste and various renewable raw materials such as plants. The sequence of unit operations used to obtain bioethanol from biomass consists of five main stages: pretreatment,

¹ Norma Alicia Denis Leyva es estudiante de la Maestría en Ingeniería en el Tecnológico Nacional de México, Campus Villahermosa; Villahermosa, Tab. México, aliciadenis1@hotmail.com

² La Dra. Nora Alicia Purata Pérez es Profesora de Ingeniería Química en el Tecnológico Nacional de México, Campus Villahermosa; Villahermosa, Tab. México nora.puratap@villahermosa.tecnm.mx (autor corresponsal)

³ El Dr. Francisco López Villarreal es Profesora de Ingeniería Química en el Tecnológico Nacional de México, Campus Villahermosa; Villahermosa, Tab. México francisco.lv@villahermosa.tecnm.mx

⁴ La Dra. Rocío del Carmen Antonio Cruz es Profesora de Ingeniería Química en el Tecnológico Nacional de México, Campus Villahermosa; Villahermosa, Tab. México rocio.ac@villahermosa.tecnm.mx

⁵ La M.C. Juana Selván García es profesora de Ingeniería Química en el Tecnológico Nacional de México, Campus Villahermosa; Villahermosa, Tab. México juana.sg@villahermosa.tecnm.mx

hydrolysis, fermentation, filtration or settling, and ethanol recovery or purification.

Albarracín et 2015 carried out acid hydrolysis of straw (*Stipa ichu*) with sulfuric acid at 8% w/w and a reaction time of 6 hours using a solid/liquid ratio of 50 g of straw for each liter of acid solution, they report a yield of 0.41 grams of reducing sugars for each gram of hydrolyzed straw.

The objective of this work is to develop the simulation of the acid hydrolysis of waste plantain to obtain fermentable sugars based on experimental data that can guarantee the performance and efficiency in terms of the final product of the process.

Method Description

Previous experimentation

For this project, data obtained from the laboratory were used for the acid hydrolysis of waste plantain.

The banana sample was collected from a banana plantation in the municipality of Teapa, Tab. Plantains that are considered as industrial waste are those that do not exceed quality standards, such as size, bruises, damage due to low temperature, parasites, must be intact from the pedunculum, and the bunches must be strong. All those who do not comply are considered waste and these will be the substrate. In the visits that were made to the banana plantations José Pedrero and Ronco Bananas, and through direct observation, we counted 1 to 2 discarded bananas for each hand of 5 bananas and 2 to 3 for those of 7 bananas. Figure 1 shows the waste plantain to which this work refers, clarifying that in the banana plantation it did not allow quantifying the waste plantain. The rejection rate can vary between 8 and 20%, this residue is used for animal feed, but most producers prefer to let it decompose in the open air for economic reasons (Guerrero, 2016).



Figure 1. Waste banana.

Acid hydrolysis was carried out adapting the methodologies of Ferrer (2002) and Domínguez (2012), according to a 33 factorial experimental design for a total of 27 elementary experiments with two repetitions each; the variables were sulfuric acid concentration (2, 4 and 6%); reaction time (2, 3 and 4 h) and acid volume of 10, 15 and 20 mL. The response variable is the concentration of reducing sugars in g/mL. The results are reported in Purata et al. (2018).

Process simulation:

The simulation of the acid hydrolysis process of banana residues was carried out using the Aspen Plus v10 simulator, which consists of eight stages: mixing, pretreatment, heating, acid hydrolysis, filtering, cooling, neutralization and filtering; to start the simulation, the lignocellulose components were loaded: cellulose, hemicellulose, lignin manually in the Components tab, because these components are not in the Aspen Plus database, all the information of these three components was loaded (structure and properties).

To load the specifications of the components it is necessary to change the type of component to solid since the software places it conventional by default, for this it is necessary to go to the Specifications section and then to Type. The chemical formula of each of the three components was loaded, for this the molecular structure section was selected and later in the formula each of the elements that are part of each chemical formula were loaded, as

well as their atomicity. The thermodynamic properties were loaded in properties, in the All Items section, there the Methods - Parameters - Pure Component folder was searched, New was selected to load each of the component properties.

For the simulation of this technological process, the NRTL thermodynamic model was selected, this because it is the most suitable model since it is working with organic matter for which it is necessary to make certain estimates regarding its properties in equilibrium; Chirito (2017), in addition to having been employed in previous works Capdevila (2015) and Fajardo (2020). The other components required for the hydrolysis process were loaded one by one, for this it was necessary to go to the Properties, components section and select Find to search one by one for their chemical formula (figure 2).

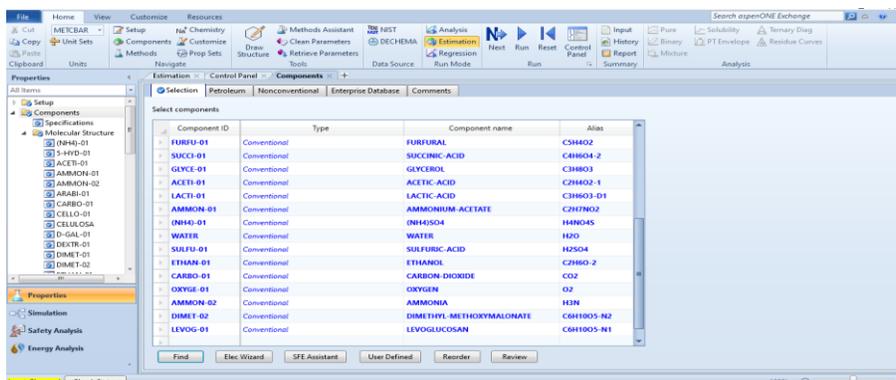


Figure 2. Window of components loaded in the process.

The simulation diagram starts with a mixer to which three streams are fed: (1) Banana: 1000 kg of dried and ground waste banana, whose composition is presented in table 1, (2) H₂SO₄: 2000 kg of a solution of 4% sulfuric acid and (3) STEAM: 10,000 kg of steam at 160°C. These three streams are put into a mixer (MIX1) because Aspen's reactors have a main inlet and a main outlet, so it was necessary to mix the components in a single stream.

Table 1. Composition of the waste plantain.

Component	% mass
Cellulose	19.13
Hemicellulose	7.04
Lignin	16.9
Amylose	7.04
Amilopectin	22.79
Sucrose	19.99
Glucose	6.55

In this process, two reactors were used, in the first a pretreatment is carried out where mainly hydration reactions of the components occur and in the second where the acid hydrolysis is already carried out. For both cases, a stoichiometric reactor was used, because there are data on conversions and yields of the reactions reported by Gómez (2009), Gómez et al. (2012), Ibrahim et al. (2017).

The operating conditions at which the first reactor (R1) works are 100 ° C temperature and 1 bar pressure, in addition to the specifications, the chemical reactions that take place in this stage of the process and the degree of conversion for each were loaded. one of them, these are shown in figure 3.

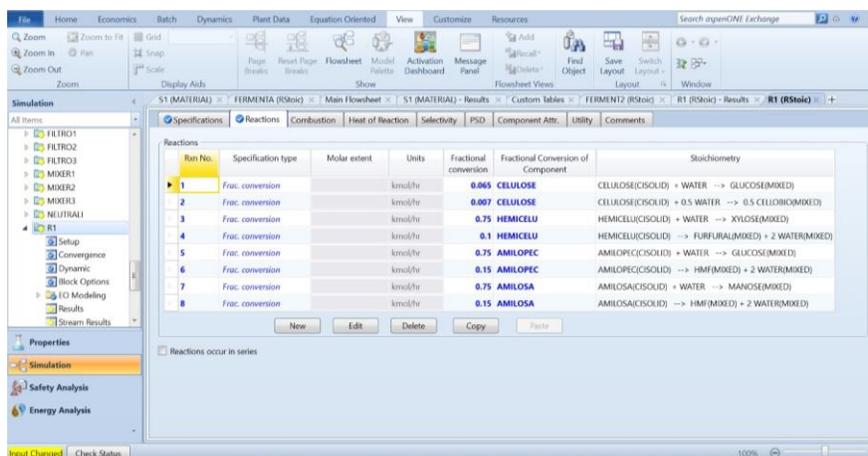


Figure 3. Window of the reactions used in the Pretreatment (R1).

The output current of R1 must be heated up to the temperature required for hydrolysis using a heat exchanger that takes it up to 220°C, which is necessary for the optimization of the process. For the acid hydrolysis reaction, a stoichiometric reactor (R2) was also used, which operates at 220 °C and 1 bar, the reactions and conversions that occur in it are captured, these are shown in figure 4.

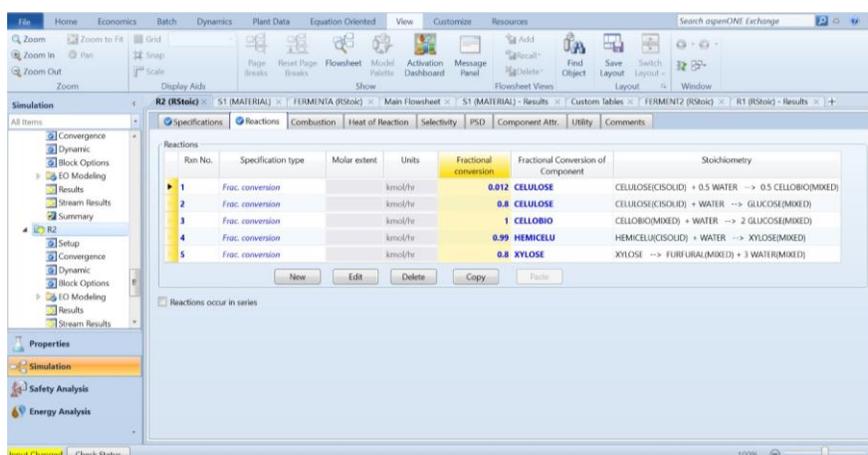


Figure 4. Window of reactions used in acid hydrolysis (R2)

In this process there are a lot of solids, to eliminate them a filter (FILTER1) was added where the elimination of all solid components and 0.01% of the liquid current is specified, it is cooled in the (ENF) up to 50°C.

Sodium hydroxide is added to neutralize the solution, but it is necessary to mix it with the main current in MIX2 and thus introduce them to a simple neutralization reactor (NEUTRA) where it is specified that a 95% neutralization is sought. Finally, it is filtered again to eliminate again the solids and 0.1% of the liquid stream (FILTER2).

Results

The flow diagram of the waste plantain acid hydrolysis process is shown in figure 5. The results in terms of flow, composition and conditions were obtained for each of the streams in the diagram (figure 6).

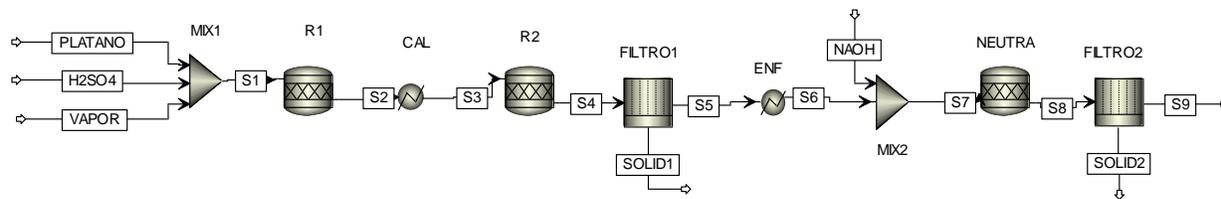


Figure 5. Flowsheet

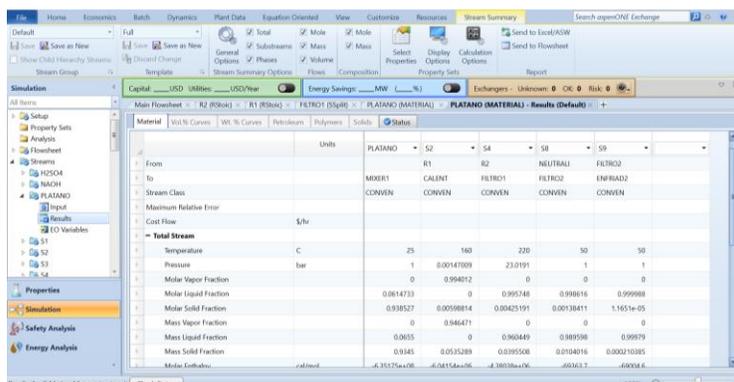


Figure 6. Window of the exit conditions of the main flows.

Table 2 shows the results of hydrolysis stage 1, in said process cellulose reacted by 7.2%, hemicellulose by 85%, amylopectin by 90% and amylose by 90% after hydration to give as a result, current S2 with 269,252 kg/h of glucose and 59,972 kg/h of xylose, which are the components of interest for the fermentation stage, this current came out at a temperature of 160 °C and 0.001470 bar of pressure, since it did not have the adequate temperature for hydrolysis 2 it was necessary to go through a heater up to a temperature of 220 °C and 1 bar of pressure (S3).

In hydrolysis 2, cellulose reacted by 81.2% to increase the amount of glucose produced in hydrolysis stage 1, obtaining 159.28 kg/h more to give a total of 428.532 kg/h of glucose between both stages, cellobiose reacted in 100%, hemicellulose 99% and xylose 80%.

Table 2 shows the results of hydrolysis 2, where it is observed that a large amount of cellulose and xylose are consumed and the hemicellulose is consumed almost entirely due to the conversion percentages of the reactions, other products of these reactions. They are furfural and HMF.

Stream S4 passed through a filter in which 3.94% solids were removed; cellulose, hemicellulose, lignin, amylose and amylopectin were fully expelled while cellobiose was largely extracted and some other components such as xylose and glucose in minimal amounts.

In the neutralization stage, 95% of the H₂SO₄ reacted with 96.46% of NaOH, obtaining a current (S8) with a high content of Na₂SO₄. The S8 current was connected to a filter in which it was possible to remove 1.11% of solids such as mannose, furfural and glucose, of which small amounts were removed.

Table 2. Mass flow for main streams.

Stream Name	Units	S2	S4	S5	S8	S9
From		HIDROLI1	HIDROLI2	FILTRO1	NEUTRALI	FILTRO2
To		CALENT	FILTRO1	ENFRIADO	FILTRO2	
Stream Class		CONVEN	CONVEN	CONVEN	CONVEN	CONVEN
Temperature	C	160	220	220	50	50
Pressure	bar	0.00147009	23.0191	23.0191	1	1

Mass Flows	kg/h	11000	11000	10566.1	10796.8	10676
CELULOSE	kg/h	177.519	33.3736	0	0	0
HEMICELU	kg/h	10.5552	0.105552	0	0	0
LIGNINA	kg/h	169.051	169.051	0	0	0
MANOSE	kg/h	63.3122	63.3122	63.3059	63.3059	63.2425
CELLOBIO	kg/h	201.303	202.138	2.24832	2.24832	2.24608
GLUCOSE	kg/h	269.252	428.532	428.49	428.49	428.061
XYLOSE	kg/h	59.972	23.8688	23.8665	23.8665	23.8426
AMILOPEC	kg/h	22.7925	22.7925	0	0	0
AMILOSA	kg/h	7.59749	7.59749	0	0	0
HMF	kg/h	35.4552	35.4552	35.4517	35.4517	35.4162
FURFURAL	kg/h	5.11769	35.8238	35.8202	35.8202	35.7844
WATER	kg/h	9898.07	9897.95	9896.96	10089.9	10079.8
H2SO4	kg/h	80	80	79.992	3.9996	3.9956

Conclusions

At the end of the development of this process, it is concluded that the Aspen Plus simulator is not designed for processes that involve biochemical components since to achieve this simulation it was necessary to declare the three main components of the substrate as well as its thermodynamic properties, data that is difficult to obtain. at experimental level.

It was possible to carry out the simulation for the acid hydrolysis of waste plantain, trying to recreate the reactions studied and reported experimentally. The results obtained by the hydrolysis reaction were 42.85% to glucose.

References

- Albarracín, K. G., Jaramillo, L. I., & Albuja, M. (2015). Obtención de Bioetanol Anhidro a Partir de Paja (Stipa ichu). *Revista Politécnica*, 36(2), 109. Recuperado a partir de https://revistapolitecnica.epn.edu.ec/ojs2/index.php/revista_politecnica2/article/view/526
- Capdevila, V. Kafarov, V, Gely, C. & Pagano, A.. (2015, febrero 26). Simulación del proceso fermentativo para la obtención de bioetanol a partir de residuos de arroz. *Avances en Ciencias e Ingeniería*, 6, 1-13. pp. 1.
- Chirito, E. (2019). Optimización paramétrica mediante la simulación de las variables de operación: temperatura, presión y flujo de vino y vapor en la columna de destilación de maple etanol. Tesis de grado, Universidad nacional de Piura, Peru.
- Gómez, O. (2009). Simulación del proceso de obtención de etanol a partir de bagazo de caña utilizando el software Hysys. Tesis de Maestría, Universidad Central “Marta Abreu” de las Villas, Santa Clara, Cuba.
- Gómez, O., Machado, O., González, E. & Morales, M.. (2012, junio 30). Simulación de la etapa de hidrólisis ácida del proceso de fraccionamiento del bagazo utilizando el programa Aspen Plus 11.1. *AENSI*, 2, 23-30
- Ibrahim, N., Ibrahim, W., Sakinaha, A., & Rizza, M. (2017, enero 26). Simulation of Dilute Acid Hydrolysis of Wood Sawdust for Xylose Production using Aspen Plus . *Australian Journal of Basic and Applied Science*, 3, 114-119.
- Merchan, H. (2020). Simulación del proceso para la obtención de Bioetanol a partir de residuos lignocelulósicos agroindustriales (bagazo de caña). Tesis de grado, Universidad de Guayaquil. pp 32.
- Purata, N. A. (2018). Obtención de bioetanol por fermentación de azúcares reductores de la hidrólisis de residuos de piña (annanás comosus) y plátano (musa x paradisiaca). Tesis de Doctorado, Instituto Tecnológico de Ciudad Madero, Cd. Madero, Tamaulipas.
- Tejeda B. , L., Marimón, W. ., & Medina, M. (2016). Evaluación del potencial de las cáscaras de frutas en la obtención de bioetanol. *Hechos Microbiológicos*, 5(1), 4–9. <https://doi.org/10.17533/udea.hm.323244>

Estudio DFT para el Almacenamiento de Hidrógeno en Carbino-Litio (CC-Li)

Dr. Luis Alberto Desales Guzmán¹ y Dra. Elizabeth Vázquez Rivas²

Resumen— Se investigaron computacionalmente las propiedades de almacenamiento de hidrógeno en el anillo de carbino C_8 en simetrías D_{nh} y $D_{(n/2)h}$ decorado con átomos de litio en su superficie externa. Los cálculos se llevaron a cabo bajo el formalismo de la Teoría de Funcionales de la Densidad (DFT) con el funcional GGA-PBE en el programa de modelado y simulación Biovia Materials Studio Dmol³. Basado en los resultados obtenidos, un máximo de 4 moléculas de H_2 fueron fisisorbidas por cada átomo de Li con una energía de enlace promedio de 0.22 eV/ H_2 . Esta fisisorción conduce a una capacidad gravimétrica de 7.25 % peso y una capacidad volumétrica de 0.046 kg H_2 /L. La estabilidad térmica y la temperatura de desorción de LiC_8-4H_2 se determinaron mediante cálculos de Dinámica Molecular y la ecuación de van't Hoff, mostrando que las moléculas de hidrógeno se desorben con facilidad a temperatura ambiente $T= 300$ K. De acuerdo con el análisis presentado, el carbino decorado con Li se destaca como un material potencial para el almacenamiento de hidrógeno con aplicaciones en celdas de combustible.

Palabras clave—carbino, cálculos DFT, Dinámica Molecular, fisisorción, almacenamiento de hidrógeno.

Introducción

El hidrógeno (H_2) se identifica como una fuente de energía limpia e ideal para remplazar los combustibles fósiles limitados y dañinos para el medio ambiente, particularmente en aplicaciones del campo del transporte como los vehículos con celdas de combustible de hidrógeno^[1,2]. No obstante, un obstáculo para la realización de la economía del H_2 es la falta de un nuevo medio de almacenamiento eficiente, seguro y asequible debido a las características físicas y químicas del hidrógeno. Un sistema óptimo debe ser capaz de almacenar hidrógeno con altas densidades gravimétricas y volumétricas en condiciones ambientales.

El Departamento de Energía de los Estados Unidos (DOE, por sus siglas en inglés) establece un objetivo para los materiales de almacenamiento de hidrógeno ideales: debe alcanzar una densidad gravimétrica de 5.5 al 6.5 % en peso con una densidad volumétrica de 40 a 50 g/L, y debe operar a temperaturas de entrega entre los 233 y 333 K, bajo un rango de presión de trabajo seguro de 35 bar y 100 bar para el año 2025^[3].

En la actualidad, las opciones convencionales y disponibles comercialmente de almacenamiento de hidrógeno en forma gaseosa son a presión, en recipientes de acero o en tanques ligeros de fibra de carbono, operando a presiones de 350 bar, o bien, en almacenamiento criogénico. En menor disponibilidad se encuentra el almacenamiento del hidrógeno sólido, que es potencialmente seguro y eficiente tanto para aplicaciones de transporte como estacionarias.

Recientemente se han desarrollado varias opciones de almacenamiento de hidrógeno en baterías de ion litio como líderes. Sin embargo, las opciones existentes hoy en día, como sistemas de almacenamiento de hidrógeno a pila de combustible aún continúan en estudio por su escaso almacenamiento y costo.

La adsorción del hidrogeno se puede presentar en nanoestructuras puras (fulereno, grafeno, carbón activado y nanotubos de carbono). Los materiales de carbono son químicamente inertes debido a las débiles interacciones de van der Waals (vdW) entre las moléculas de H_2 y el material huésped (~ 0.05 eV por molécula de H_2)^[4-6], limitando el almacenamiento de hidrógeno ya que solo se lograría confinar el hidrogeno a temperaturas criogénicas. La energía de adsorción deseada debe estar en el rango de 0.2 a 0.6 eV/ H_2 para llevar a cabo la adsorción y desorción de hidrógeno a temperatura ambiente.

Una forma para incrementar la capacidad de adsorción del hidrogeno en los materiales de carbono es su dopaje con metales alcalinos (AM)^[1,4,5,7]; tal es el caso del átomo de Li. En este proyecto se plantea el desarrollo de una batería de Carbino-Litio (CC-Li), para lo cual se tiene como primer objetivo un análisis teórico utilizando el formalismo de Teoría de Funcionales de la Densidad (DFT) para el cálculo de propiedades químicas del Carbino decorado con Litio (Li). Con el objetivo de evaluar e incrementar la capacidad de almacenamiento de hidrógeno en estos materiales con aplicaciones en celdas de combustible. Como segundo objetivo, la síntesis del material Carbino y su dopaje con Li.

El carbino (CC) es un alótropo de carbono con hibridación sp y se puede clasificar en base a la formación de sus enlaces en polino ($-C\equiv C-$)_n (enlaces simples y triples alternantes) y cumuleno ($=C=C=$)_n (enlaces dobles sucesivos). Estas dos estructuras representan los componentes básicos para el desarrollo de nanoestructuras (1D) y

¹ Luis Alberto Desales Guzmán es Profesor Investigador Cátedras COMECYT del TecNM-ITToluca ldesalesg@toluca.tecnm.mx

² Elizabeth Vázquez Rivas Posdoctorante del Departamento de Madera, Celulosa y Papel de la Universidad de Guadalajara y CONACYT lzbthvzqz@gmail.com

entre las propiedades más importantes que han sido predichas se encuentra su resistencia y dureza, siendo mayor que los nanotubos de carbono y el grafeno, abriendo el umbral de una nueva era de la ciencia y la tecnología del carbino^[2,6,8-13]. Sin embargo, la síntesis del carbino se encuentra en estudio y son referidos a nivel laboratorio, con escasos reportes sobre metodologías de obtención. A saber, síntesis en fase de solución^[14], ablación/irradiación laser del grafito^[15], métodos de deposición en fase gaseosa^[16] y recientemente manipulación atómica^[17].

Como antecedente a la síntesis de CC se tiene la obtención de carbono (C₁₈) usando manipulación atómica en una bicapa inerte de NaCl sobre Cu (111) a 5 Kelvin mediante la eliminación de monóxido de carbono de una molécula de óxido de ciclocarbono C₂₄O₆. La alta reactividad de este compuesto permitió inducir el acoplamiento covalente entre moléculas mediante la manipulación atómica^[17]. Recientemente, las metodologías de síntesis del CC son basadas en el uso de radiación sobre un material de carbono. Shi *et al.*^[18] utilizó radiación láser sobre nanotubos de carbono de doble pared (DWCNT) con acoplamiento de un espectrómetro Raman para la obtención de CC. Brzhezinskaya and Zhivulin^[19] utilizaron fluoruro de polivinilideno (PVDF) para realizar una modificación con radiación monocromática de rayos X de varias energías. En este caso, un átomo de flúor y un átomo de hidrógeno se separan y se eliminan en forma de una molécula de HF con la formación de enlaces dobles carbono-carbono (enlace simple CF enlace doble CH enlace simple), dando origen a la formación de carbino, en la que los átomos de carbono se conectan en una cadena por medio de enlaces dobles carbono-carbono (enlace doble C, enlace dobleC, enlace doble) o alternancia de enlaces simples y triples de carbono (enlace sencilloC, enlace tripleC, enlace sencillo).

Descripción del Método

Se realizaron cálculos de Teoría de Funcionales de la Densidad (DFT) en anillos de carbino C₈ utilizando el programa Biovia Materials Studio Dmol³^[20,21] para determinar las propiedades químicas y su capacidad máxima de almacenamiento de hidrógeno. Para calcular las energías de adsorción, se usó la aproximación de gradiente generalizada GGA-PBE funcional con spin restringido^[22,23]. Las energías de interacción entre las moléculas de gas con una unidad de anillo de carbino se calcularon mediante un conjunto de bases numéricas dobles (DND), que es equivalente a la base analítica Gaussian 6-31 G*. Todas las optimizaciones de geometría se obtuvieron hasta que las fuerzas máximas fueron inferiores a 0.002 Ha/Å en simetría D_{nh} y D_(n/h). El efecto de las interacciones van der Waals (VDW) se incluyó mediante el uso del esquema de corrección empírica de Grimme (DFT-D) para sistemas periódicos^[24,25]. Valores estándar de coeficientes de dispersión C₆ son: 1.75 J nm⁶ mol⁻¹, para C, radio VDW (1.452 Å), radio de corte para interacciones de pares es 30.0 Å, el factor de escala global S6 (0.75) y el factor de amortiguamiento D (20.0). Entonces se aplicaron los funcionales GGA-PBE y el método DFT-D de esquema de corrección empírica Grimme. Además, se calcularon las energías totales, la densidad de carga electrónica HOMO-LUMO y el análisis de población de Mulliken.

Resultados

Se desarrollo el análisis del complejo Li-carbino y se encontró que las configuraciones más estables de la molécula de carbino C₈ y los átomos de Li adsorbidos a su superficie externa. En primer lugar, la molécula de carbino ha sido predicha teóricamente como una estructura estable y es posible encontrarla in dos formas dependiendo la longitud de enlace y ángulos de enlace. Polino con alternancia de enlaces simples y triples (–C≡C–)_n y cumuleno formando enlaces dobles a lo largo del anillo (=C=C=)_n. Dichas estructuras pueden explicarse en términos de aromaticidad con distorsiones de segundo orden Jahn-Teller y efectos de inestabilidad de Peierls. La figura 1 muestra la optimización geométrica de los carbinos C₈ que corresponden a la estructura C_{4N} con N=2; la estructura (a) corresponde a un estado de transición estructural de la molécula de polino con una simetría D_{nh} completa y la estructura (b) corresponde a la molécula de cumuleno con una simetría D_{(n/2)h}, debido a los efectos de segundo orden Jahn-Teller. La energía de formación muestra valores de –304.359484 Ha y –304.421434 Ha para las estructuras A y B respectivamente.

Como segundo paso, se estudió el caso de un solo átomo de Li adsorbido al carbino separado a 2.48 Å y se analizó la estabilidad del complejo Li-carbino calculando la energía de enlace a partir de la siguiente ecuación.

$$E_b^{Li} = \frac{1}{x} [E_{C_8} + xE_{Li} - E_{Li_xC_8}] \quad (1)$$

donde E_{C_8} es la energía total de la molécula de carbino (polino, cumuleno), E_{Li} es la energía total por átomo de Litio y $E_{Li_xC_8}$ es la energía total de una molécula de carbino decorada con x átomos de Litio.

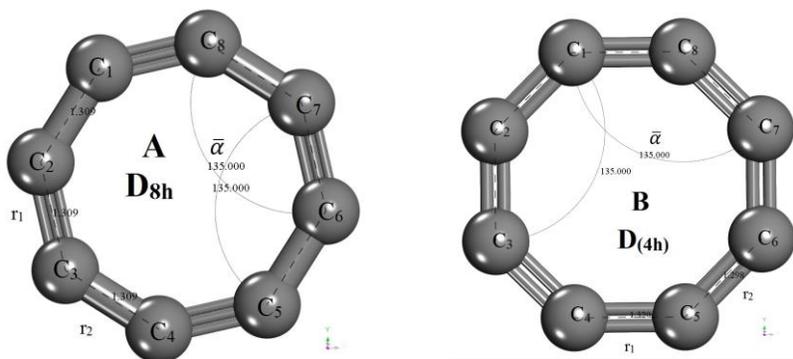


Figura 1. Optimización Geométrica de carbino C_8 . a) Molécula de polino con simetría D_{8h} completa (longitudes de enlace iguales $r_1, r_2=1.309 \text{ \AA}$ y ángulos de enlace $\alpha=135^\circ$); b) Molécula de cumuleno con simetría $D_{(n/2)h}$ (alternancia en longitudes de enlace $r_{prom}=(r_1+r_2)/2$ (igual a 1.309 \AA) y ángulos de enlace igual a α).

La energía de enlace del complejo LiC_8 mostró un valor de 1.93 eV y 2.13 eV para las estructuras A y B respectivamente, indicando que los sistemas se encontraban fuertemente quimisorbidos, además el valor positivo E_b^{Li} indicó que el complejo LiC_8 era termodinámicamente estable. Los valores típicos de quimisorción se encontraron en un valor de 155 kJ/mol (1.66 eV)^[26]. Por otra parte, la energía de enlace que mostró el complejo dopado fue más alta que la energía cohesiva que presentó el enlace $Li-Li$ (1.63 eV)^[27], indicando la no formación de clústeres metálicos que tiene como consecuencia la disminución drástica de almacenamiento de hidrógeno en estos materiales. Los resultados obtenidos son comparables con los de materiales a base de C-, B- y N- como fullerenos, grafenos, nanotubos de carbono, cadenas de carbino y heterofullerenos^[2,4,5,27-30], lo cual confirma el potencial de los anillos de carbino (polino, cumuleno) como materiales para el almacenamiento de hidrógeno.

Por otra parte, la posición óptima para el primer átomo de Li se encontró frente a los enlaces triples $C_2=C_3, C_6=C_7$ para el polino y los enlaces dobles $C_5=C_6, C_1=C_2$ para el cumuleno, que son zonas que presentaron valores positivos de la función de onda (lóbulos azules) zonas preferidas por el átomo de Li, ya que en esa región existe un par de electrones que puede ceder o perder más fácilmente la molécula de carbino (Figura 2). En alguna otra posición (centro del anillo o frente a los átomos de carbono, el sistema tiende a ser inestable, las optimizaciones geométricas no llegan a su convergencia.

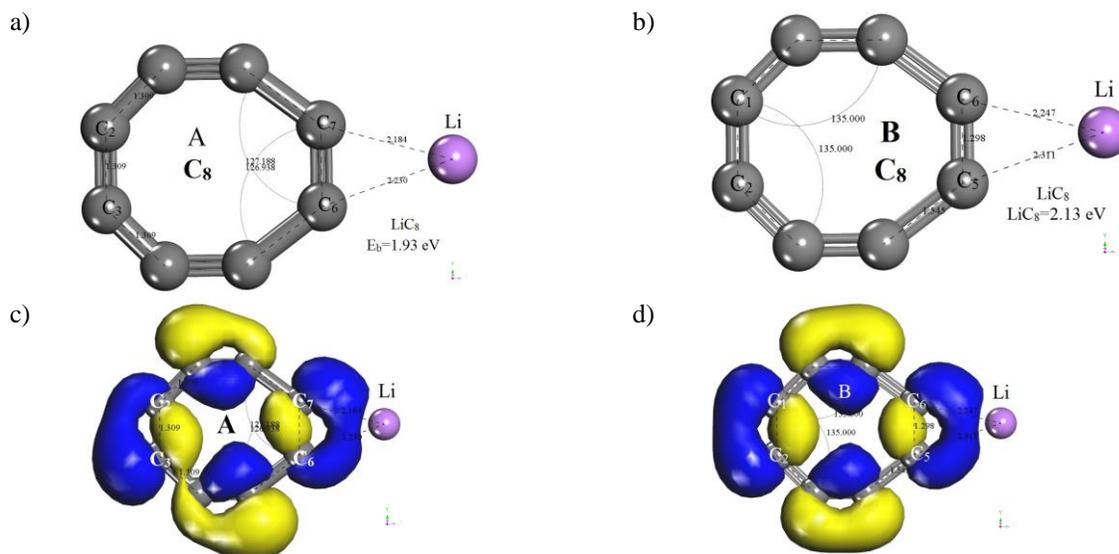


Figura 2. Complejo LiC_8 de la molécula de polino (A) y cumuleno (B). (b) Molécula de polino con distribución electrónica HOMO en los enlaces triples $C_6=C_7, C_2=C_3$; (c) Molécula de cumuleno en los enlaces dobles $C_5=C_6, C_1=C_2$.

Se analizó el mecanismo de unión del átomo de Li en la molécula de carbino. La figura 3 muestra la densidad de estados (DOS) para la molécula de carbino C₈; se determinó la transferencia de carga que indica el número existente de estados para cada intervalo de energía de la molécula de carbino al momento de colocar el átomo de Li. La transferencia de carga mostrada por el átomo de Li resultó en carga positiva de +0.921e y +0.873e para la molécula de polino y cumuleno respectivamente a través del análisis de población de Mulliken. Las cargas de ajuste electrostático resultaron en +1.012e y +0.973e para la estructura A y B como resultado de la donación de electrones de los átomos de carbono al átomo de Li produciendo la formación de enlace en el complejo dopado (Figura 3).

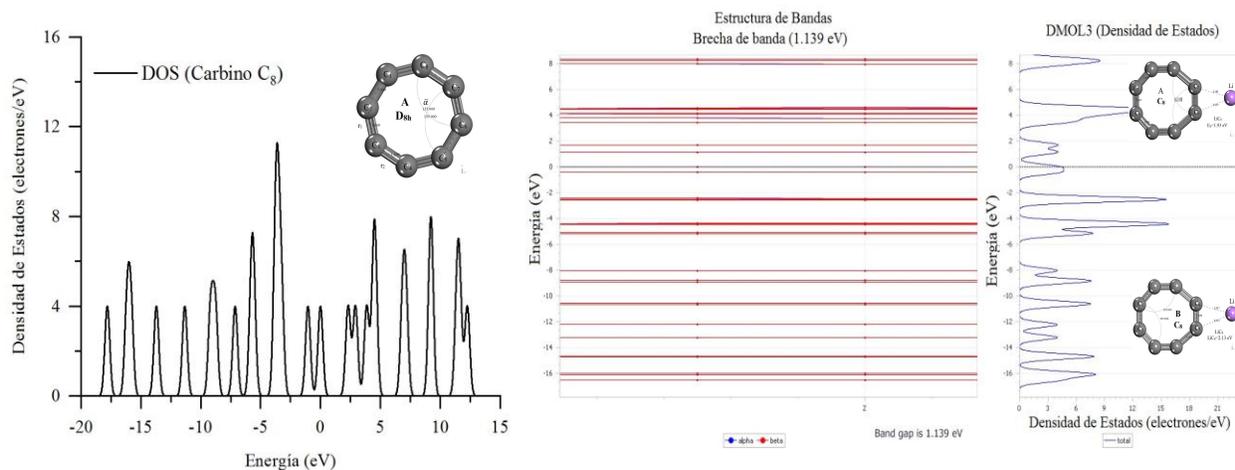


Figura 3. Densidad de estados (DOS) para molécula de carbino C₈ (polino) y el complejo copado LiC₈, con una brecha de banda igual a 1.139 eV (polino, cumuleno).

Una vez obtenidos los complejos dopados en equilibrio, se estudió la adsorción de las moléculas de H₂ en el complejo dopado. Las moléculas de hidrógeno fueron agregadas una a una hasta llegar a un máximo de 4 moléculas de H₂ adsorbidas en el complejo dopado. Se calcularon las energías de enlace promedio de las nH₂ moléculas de hidrógeno adsorbidas por el complejo LiC₈ usando la ecuación 2^[5,7,31].

$$E_{prom} = \frac{[E_{(LiC_8)} + nE_{(H_2)} - E_{(LiC_8-nH_2)}]}{n} \quad (2)$$

donde $E_{(LiC_8)}$ y $E_{(H_2)}$ son las energías totales del complejo LiC₈ y una molécula de H₂ aislada respectivamente. $E_{(LiC_8-nH_2)}$ es la energía del complejo dopado con nH₂ moléculas adsorbidas.

También se examinó la adsorción de hidrógeno en el complejo dopado en más de 3 configuraciones en la formación de las moléculas de hidrógeno. Se observó que las moléculas fueron adsorbidas alrededor de la decoración metálica, alcanzando un máximo de cuatro moléculas de hidrógeno por decoración metálica obteniendo un sistema estable LiC₈-4H₂. La figura 4 muestra el proceso de adición de las moléculas de H₂ al complejo dopado, las estructuras optimizadas para los sistemas polino y cumuleno son similares, por lo tanto, solo se consideró la molécula de cumuleno para mostrar el proceso de adición de las moléculas de hidrógeno. A través de este estudio la energía de enlace promedio calculada por la ecuación 2 es de 0.22 eV por molécula de H₂, energía en el rango deseable para almacenar hidrógeno en condiciones ambientales. Luego, se determinó la relación entre la distancia del átomo de Li y las moléculas de hidrógeno y como es sabido cuando la distancia es menor que 2.5 Å las energías de adsorción son mayores a 0.2 eV por molécula de H₂^[2,7]. Por lo tanto, todas las distancias Li-H₂ se encontraron en el rango de 2.1 a 2.3 Å y el promedio de longitud de enlace del hidrógeno molecular en el rango de 0.77 Å para ambas simetrías. Como nota, todos los cálculos para la adición de moléculas de H₂ al complejo dopado se llevaron a cabo bajo el esquema DFT-D de Grimme.

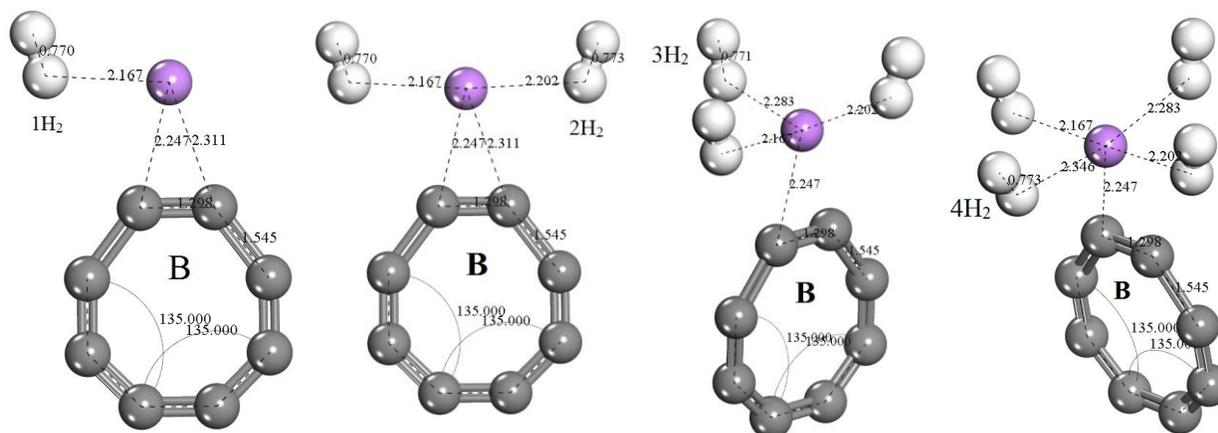


Figura 4. Optimización geométrica del complejo $\text{LiC}_8\text{-nH}_2$, con $n=1$ a 4 moléculas de hidrógeno. Los colores de los átomos del complejo dopado corresponden a: color gris para los átomos de carbono, color lila para el átomo de Litio y color blanco para las moléculas de hidrógeno.

Como siguiente paso se tomaron dos medidas para determinar las densidades gravimétricas y volumétricas (% peso y volumen) durante el proceso de adsorción de las moléculas de hidrógeno al complejo dopado a través de las ecuaciones 3 y 4.

$$\% \text{peso } H_2 = \frac{nW_{H_2ads}}{nW_{H_2ads} + W_{LiC_8}} \times 100 \quad (3)$$

$$V_c = \frac{mH_2}{V} \quad (4)$$

donde n es la cantidad de moléculas de H_2 adsorbidas en el complejo dopado, W_{H_2ads} y W_{MC_8} es la masa de moléculas de H_2 y masa del complejo dopado (LiC_8). Finalmente mH_2 es el peso total de las moléculas de H_2 adsorbidas y V es el volumen de complejo dopado.

Por lo tanto, la capacidad de hidrógeno obtenida en este estudio fue de 7.25 % peso con una sola decoración metálica y 4 moléculas de H_2 adsorbidas por el átomo de Litio, con una densidad volumétrica de 0.046 kg H_2 /L. Para la densidad volumétrica (Ecuación 4) consideramos el peso total de las 4 moléculas de hidrógeno y el volumen V fue tomado por el software Materials Studio (volumen y módulo de superficie) que exhibe un valor de 230.62 \AA^3 para el complejo LiC_8 . De acuerdo con este análisis y a los objetivos establecidos por el Departamento de Energía de los Estados Unidos para finales del año 2025 el carbino C_8 decorado con Li cumple satisfactoriamente estos objetivos, marcando un buen inicio y dirección en el estudio de estas estructuras cíclicas (anillos).

Además, también se investigó la temperatura de desorción (T_D) para aplicaciones prácticas de almacenamiento de hidrógeno, lo cual representa la temperatura a la que el material puede adsorber/desorber normalmente el hidrógeno. La temperatura de desorción estuvo relacionada con la estabilidad térmica y la energía de enlace de las moléculas de hidrógeno en los complejos dopados. Se calculó la ecuación de van't Hoff para estimar la temperatura de desorción para los diferentes números de moléculas de H_2 adsorbidas al complejo dopado utilizando la siguiente ecuación^[5,8].

$$T_D = \frac{E_{ad}}{k_B} \left(\frac{\Delta S}{R} - \ln p \right)^{-1} \quad (5)$$

donde E_{ad} es la energía de adsorción promedio por molécula de hidrógeno (en J por molécula de H_2), k_B es la constante de Boltzmann ($1.380 \times 10^{-23} \text{ J K}^{-1}$), y R constante de gas ($8.314 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$). ΔS y p son el cambio en la entropía de hidrógeno de gas molecular a fase líquida ($75.44 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$) y la presión de equilibrio (1atm) respectivamente.

La figura 4(d) es considerada como la mayor densidad gravimétrica para estimar las temperaturas de desorción de hidrógeno. La figura 5 muestra los perfiles de temperatura correspondientes al 7.25 % peso alcanzando por el complejo LiC_8 . Todas las dependencias $T_D(p)$ se obtuvieron empleando las energías de adsorción de hidrógeno. A presión

atmosférica normal a 1 atm la T_D promedio es de 300 K, 288 K, 285 K, 283 K para la primer, segunda, tercer y cuarta molécula de hidrógeno, que es mucho más alta que el punto crítico del hidrógeno (33 K) y más del triple del punto de ebullición del nitrógeno líquido. Conforme la presión aumenta hasta 10 atm, la temperatura de desorción máxima para las moléculas de hidrógeno es de 343 K, 320 K, 318 K y 315 K. Indicando la facilidad de desorber a temperatura ambiente la cantidad total de moléculas que puede adsorber el complejo dopado con Li, haciéndolo buen candidato para almacenar hidrógeno en condiciones ambientales, teniendo ciclos de carga y descarga considerables.

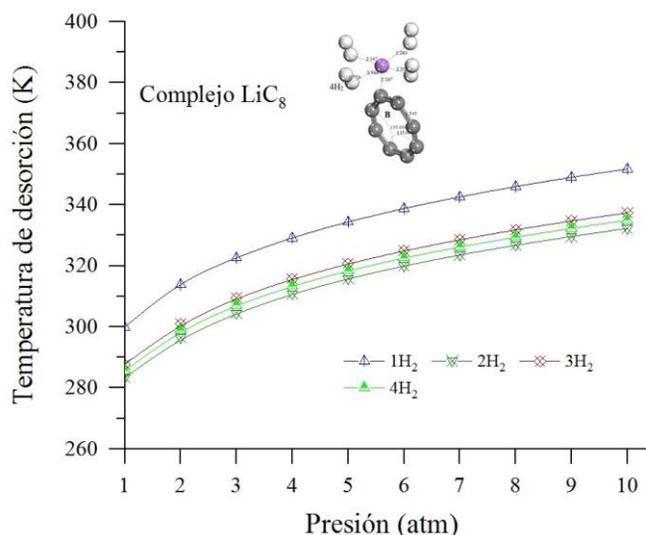


Figura 5. Temperatura de desorción de hidrógeno del complejo $\text{LiC}_8\text{-4H}_2$ adsorbidas a su superficie externa usando la ecuación de van't Hoff.

Por otra parte, se realizaron Dinámicas Moleculares basadas en DFT para el complejo dopado para estudiar la estabilidad estructural y térmicas de los sistemas involucrados. Las simulaciones se llevaron a cabo en un ensamble NVT con una temperatura específica de 300 K. Las dinámicas moleculares se realizaron durante 6 ps con 1 fs. como tiempo de paso usando el termostato Nosé-Hoover. El sistema fue equilibrado durante 3-6 ps, y después de 5 ps de ejecución de la dinámica molecular no se observó la rotura de enlaces, lo que implica la estabilidad estructural y térmica del sistema. Se observó, una vez finalizada la dinámica molecular que las moléculas de hidrógeno tienden a desorberse del complejo dopado (Figura 6). También se muestra el desplazamiento medio cuadrático (MSD) para el complejo dopado, que está fuertemente ligado a la temperatura del sistema.

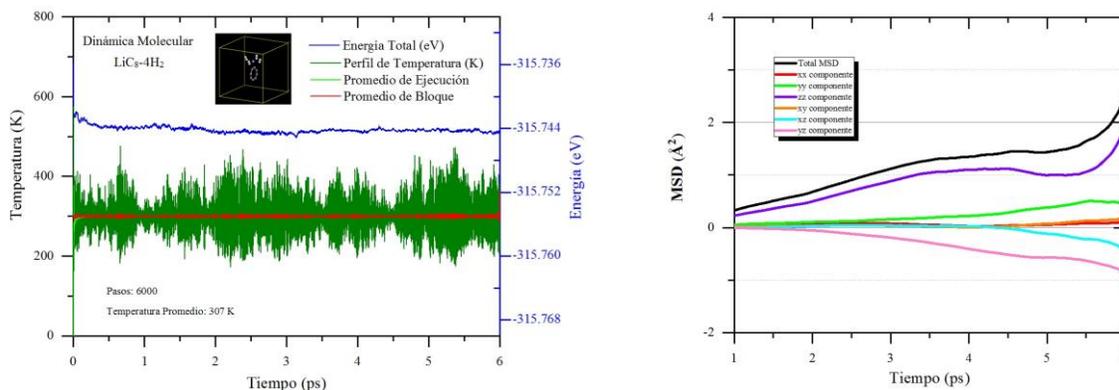


Figura 6. Dinámica Molecular del complejo dopado $\text{LiC}_8\text{-4H}_2$ a 300 K y tiempo de ejecución de 6 ps. d) Desplazamiento medio cuadrático (MSD) del complejo dopado.

A lo largo de los estudios presentados en este trabajo, podemos determinar que el anillo C_8 decorado con átomos de Li puede adsorber 4 moléculas de H_2 con una energía de enlace promedio de 0.22 eV por molécula de H_2 alcanzando un porcentaje en peso de 7.25 % y una capacidad volumétrica de 0.046 kg H_2/L . Esta capacidad gravimétrica como volumétrica cumple con los objetivos establecidos por el Departamento de Energía de los Estados Unidos para finales del año 2025. Por lo tanto, el material considerado podría ser una opción prometedora para medios de almacenamiento de hidrógeno eficientes, por lo que el material ciertamente requiere investigación experimental adicional.

Resultados

En resumen, se desarrolló el análisis de Li-decorado en carbino C_8 en las simetrías D_{nh} y $D_{(n/2)h}$ por medio de cálculos DFT para determinar la capacidad máxima de almacenamiento de hidrógeno. La estructura C_8 usada en este trabajo correspondió al tipo C_{4N} con $N=2$ e incluye dos tipos de estructuras: *i*) molécula de cumuleno con una simetría D_{nh} completa y *ii*) una estructura distorsionada con simetría $D_{(n/2)h}$, debido a los efectos de distorsión de Jahn-Teller de segundo orden, esto comprende a una estructura del tipo polino y cumuleno respectivamente. Las simulaciones confirman que el anillo C_8 enlaza al átomo de Li con una energía de enlace promedio de 2.62 eV indicando que el sistema se encuentra fuertemente quimisorbido y es termodinámicamente estable. A través del análisis de población de Mulliken y cargas de ajuste de potencial electrostático (ESP) se encontró una transferencia de carga positiva de +0.921e y +0.873e respectivamente. Determinamos que un solo átomo de Li puede adsorber hasta un máximo de 4 moléculas de hidrógeno alrededor del átomo de decoración con una energía de enlace promedio de 0.22 eV por molécula de H_2 , lo que lo hace adecuado para almacenar hidrógeno en condiciones ambientales.

La capacidad máxima de almacenamiento de hidrógeno del complejo LiC_8-4H_2 alcanzó una capacidad gravimétrica 7.25 % en peso y una capacidad volumétrica de 0.046 kg H_2/L . Además, se realizaron Dinámicas Moleculares basadas en DFT para el complejo dopado con un tiempo de 6 ps a 300 K con el termostato Nosé-Hoover para determinar la estabilidad térmica. A través de los resultados presentados, fue posible confirmar el alto potencial del carbino como material para almacenar grandes cantidades de hidrógeno en condiciones ambientales, cumpliendo los estándares proporcionados por el Departamento de Energía de los Estados Unidos (DOE) para finales del año 2025.

Referencias

- 1 Y. Yong, S. Hu, Z. Zhao, R. Gao, H. Cui and Z. Lv, *Mater. Today Commun.*, 2021, **29**, 102938.
- 2 L. A. Desales-Guzmán, J. H. Pacheco-Sánchez, F. J. Isidro-Ortega and K. De la Mora-Zarco, *Int. J. Hydrogen Energy*, 2020, **45**, 6780–6792.
- 3 U.S Department of Energy, DOE Technical Targets for Onboard Hydrogen Storage for Light-Duty Vehicles | Department of Energy, <https://www.energy.gov/eere/fuelcells/doe-technical-targets-onboard-hydrogen-storage-light-duty-vehicles%0Ahttps://energy.gov/eere/fuelcells/doe-technical-targets-onboard-hydrogen-storage-light-duty-vehicles>, (accessed 13 January 2023).
- 4 Y. Zhang, P. Liu and X. Zhu, *Int. J. Hydrogen Energy*, 2021, **46**, 4188–4200.
- 5 E. Anikina, A. Banerjee, V. Beskachko and R. Ahuja, *Sustain. Energy Fuels*, 2020, **4**, 691–699.
- 6 L. A. Desales Guzmán, J. H. Pacheco Sánchez, F. J. Isidro Ortega and G. García Rosales, *Rev. Mex. Física*, 2018, **64**, 634–641.
- 7 F. J. Isidro-Ortega, J. H. Pacheco-Sánchez and L. A. Desales-Guzmán, *Int. J. Hydrogen Energy*, 2017, **42**, 30704–30717.
- 8 L. A. Desales Guzmán, J. H. Pacheco Sánchez and J. S. Arellano Peraza, *ACS Omega*, 2022, **7**, 10100–10114.
- 9 S. Pecorario, A. D. Scaccabarozzi, D. Fazzi, E. Gutiérrez-Fernández, V. Vurro, L. Maserati, M. Jiang, T. Losi, B. Sun, R. R. Tykwinski, C. S. Casari and M. Caironi, *Adv. Mater.*, 2022, **34**, 2110468.
- 10 G. Yang, *Mater. Sci. Eng. R Reports*, 2022, **151**, 100692.
- 11 T. Torelli and L. Mitás, *Phys. Rev. Lett.*, 2000, **85**, 1–4.
- 12 Y. Tobe, H. Matsumoto, K. Naemura, Y. Achiba and T. Wakabayashi, *Angew. Chemie Int. Ed. English*, 1996, **35**, 1800–1802.
- 13 M. Tommasini, A. Milani, D. Fazzi, A. Lucotti, C. Castiglioni, J. A. Januszewski, D. Wendinger and R. R. Tykwinski, *J. Phys. Chem. C*, 2014, **118**, 26415–26425.
- 14 Y. Sato, T. Kodama, H. Shiromaru, J. H. Sanderson, T. Fujino, Y. Wada, T. Wakabayashi and Y. Achiba, *Carbon N. Y.*, 2010, **48**, 1673–1676.
- 15 M. Samykano, *Mater. Charact.*, 2021, **179**, 111373.
- 16 L. Ravagnan, P. Piseri, M. Bruzzi, S. Miglio, G. Bongiorno, A. Baserga, C. S. Casari, A. Li Bassi, C. Lenardi, Y. Yamaguchi, T. Wakabayashi, C. E. Bottani and P. Milani, *Phys. Rev. Lett.*, 2007, **98**, 216103.
- 17 K. Kaiser, L. M. Scriven, F. Schulz, P. Gawel, L. Gross and H. L. Anderson, *Science (80-.)*, 2019, **365**, 1299–1301.
- 18 L. Shi, R. Senga, K. Suenaga, J. Chimborazo, P. Ayala and T. Pichler, *Carbon N. Y.*, 2021, **182**, 348–353.
- 19 M. Brzhezinskaya and V. E. Zhivulin, *Polym. Degrad. Stab.*, 2022, **203**, 110054.
- 20 B. Delley, *J. Chem. Phys.*, 1990, **92**, 508–517.
- 21 B. Delley, *J. Chem. Phys.*, 2000, **113**, 7756–7764.
- 22 J. P. Perdew, K. Burke and M. Ernzerhof, *Phys. Rev. Lett.*, 1996, 3865–3868.
- 23 M. Ernzerhof and G. E. Scuseria, *J. Chem. Phys.*, 1999, **110**, 5029–5036.
- 24 S. Grimme, *J. Comput. Chem.*, 2006, **27**, 1787–1799.
- 25 S. Grimme, J. Antony, S. Ehrlich and H. Krieg, *J. Chem. Phys.*, 2010, **132**, 154104.
- 26 P. Atkins and J. De Paula, *Physical Chemistry*, W. H. Freeman and Company, 8th edn., 2006.
- 27 L. Si and C. Tang, *Int. J. Hydrogen Energy*, 2017, **42**, 16611–16619.

- 28 S. Er, G. A. De Wijs and G. Brocks, *J. Mater. Chem. A*, 2015, **3**, 7710–7714.
29 G. Wu, J. Wang, X. Zhang and L. Zhu, *J. Phys. Chem. C*, 2009, **113**, 7052–7057.
30 Y. Zhang, P. Liu, X. Zhu and Z. Liu, *Int. J. Hydrogen Energy*, 2021, **46**, 32936–32948.
31 Y. Zhang and X. Cheng, *Chem. Phys.*, 2018, **505**, 26–33.

Rendimiento de Maíz Tehuacanero y el Número de Plantas por Mata

Dr. José Alberto Salvador Escalante Estrada¹, M.C. Yolanda Isabel Escalante Estrada², Dr. Cid Aguilar Carpio¹ y M.C. Bernardo Cárdenas Velázquez¹

Resumen.- La siembra de maíz nativo en México es común por agricultores de pequeñas extensiones, El objetivo del estudio fue determinar en maíz “Tehuacanero” el efecto del número de plantas por mata (PM) sobre: el rendimiento (RG) y componentes por planta y superficie. La siembra fue el 16 de abril 2020 en campo con lluvia y riego en Montecillo México, de clima templado con tratamientos de 2, 3 y 4 PM. Por planta, el RG, el número de granos (NG), el tamaño del grano (TG), número de granos por hilera (GH) y el peso de la mazorca (PMZ) se redujo al tener mayor PM. En contraste, el peso del olote se incrementó. Por superficie, el RG, NG y PMZ más espigas más alto fue con 3 y 4 PM. La fenología no fue afectada. El NG, NGH y TG fueron los componentes más relacionados con los cambios en RG.

Palabras clave.- Fenología, número de granos por hilera, tamaño del grano, número de granos, peso de mazorca

Introducción

La siembra de cultivares (cvs) nativos en México es común principalmente por agricultores de pequeñas extensiones, debido a que entre otras cosas a que pueden seleccionar semilla para siembras próximas. Dentro de estos cvs tenemos de grano azul cuyas características han sido presentadas por Escalante *et al.*(2021). También existen de grano de color blanco de diferentes tamaños de grano y procedencias. En Tehuacán Puebla, es común la siembra del nativo “Tehuacanero”. Ortiz-Torres *et al.*(2013) mencionan que en cuanto a la producción de elote, este cv puede presentar de 9 a 11 t aproximadamente, con la siembra de 2 plantas por mata, cada 50 cm, surcos a 80 cm y fertilización de 180-60-00. Por otra parte, debida a la demanda de maíz por la población se requiere incrementar el rendimiento. Dentro de las estrategias para lograr este objetivo, se ha propuesto el aumento en densidad de población (DP), el cuál se puede lograr mediante reducción de la distancia entre hileras de siembra (Escalante *et al.*, 2015), manejo de la distancia entre matas (Escalante *et al.* ,2021).aumento en el número de plantas por mata (Rojas *et al.*, 2017) cuyo estudio ha sido limitado. Al respecto no se puede generalizar conocer una densidad óptima para los diversos cultivares de maíz, por lo que es necesario realizar estos estudios para cada cultivar. Al respecto, Escalante *et al.*(2021) encontraron que la distancia para alto rendimiento (344 g m⁻²) en maíz nativo Azul fue una planta por mata cada 25 cm que genera una DP de 5 plantas m⁻² y 480 mm de precipitación con 2 riegos de auxilio. Rojas *et al.* (2017), menciona que con 3 plantas de maíz por mata, 412 mm de precipitación y 2 riegos de auxilio se logró 508 g m⁻² en maíz azul. Ambos estudios en una distancia entre surcos de 80 cm. El objetivo del estudio fue determinar en maíz nativo cv “Tehuacanero” el efecto del número de plantas por mata sobre: a) los días a etapas fenológicas; b) el rendimiento y componentes por planta y superficie; c) el número de plantas óptimo para alto rendimiento; c) los componentes del rendimiento que influyen en los cambios en el rendimiento; d) caracterizar con base a variables agronómicas el cultivar.

Materiales y método

Localidad y tipo de suelo

El estudio se realizó en condiciones de campo bajo régimen de lluvia en Montecillo, municipio de Texcoco, Estado de México, México, (19° 29' N y 98° 53' O y 2250 msnm) de clima templado (García, 2005). El suelo es arcillo-limoso, con pH 7.6, CE de 1.9 dS m⁻¹ y MO de 3.5%.

Tratamientos y diseño experimental

Los tratamientos consistieron en la siembra de maíz nativo Tehuacanero de grano blanco el 16 de abril, 2020 bajo riego, en patrón de siembra de 0.9 m * 1 m. a 2, 3 y 4 plantas por mata (PM). La unidad experimental fue de 4

¹ 1 Dr. José Alberto Salvador Escalante Estrada. Profesor Investigador. Postgrado en Botánica. Campus Montecillo. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Texcoco, Edo. de Méx., México.56264. jasee@colpos.mx.

² M.C. Yolanda Isabel Escalante Estrada. Profesor Investigador del Instituto de Investigación Científica Área de Ciencias Naturales. Universidad Autónoma de Guerrero, Chilpancingo, Guerrero México.
y_escalante@yahoo.com.mx.

¹ Dr. Cid Aguilar Carpio. Investigador. Postgrado en Botánica. Campus Montecillo Colegio de Postgraduados. Montecillo, Texcoco, Edo. de Méx., México.56264.cid.aguilar.carpio@gmail.com

¹ M.C. Bernardo Cárdenas Velázquez. Estudiante de doctorado. Postgrado en Botánica. Campus Montecillo. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Texcoco, Edo. de Méx., México.56264. cardenasvber@gmail.com

surcos de 4 m de longitud. Se sembró 4,6 y 8 semillas por mata de acuerdo al tratamiento y posteriormente se aclareo al número de plantas por mata deseado.

Variables en estudio

Fenología

Se registró los días a ocurrencia a etapas fenológicas como fecha de emergencia, inicio de floración y madurez fisiológica.

Elementos del clima

Se registró la temperatura máxima (T_{máx}), mínima (T_{mín}) y la precipitación pluvial (PP.mm) durante el desarrollo del cultivo.

A la madurez fisiológica

Se registró por planta: el peso de la mazorca (PMZ), peso del olote (PO), peso del grano (RG), número de granos (NG), tamaño del grano (TG), número de granos por hilera (NGH), número de hileras (NH). Por m²: rendimiento en grano (RGS), número de granos (NGS), peso de la mazorca más espátas (PMES), peso de mazorca (PMZS) y peso de espátas (PES).

Análisis estadístico

Se aplicó un análisis de varianza (ANDEVA) y la prueba de comparación de medias de Tukey mediante el paquete SAS 9.0 (SAS, 2003)

Resultados y discusión

Fenología y elementos del clima

La emergencia a los 8 días de la siembra (dds), la floración a los 60 dds y la madurez fisiológica a los 150 dds. La T_{máx} durante la etapa vegetativa fue de 34°C y la T_{mín} de 16°C y en la etapa reproductiva de 28°C y 5°C, respectivamente. La temperatura media diaria óptima para maíz es de 24-30°C, con un rango térmico de 15 a 35°C (Doorenbos y Kassam, 1979). Durante el desarrollo del cultivo la PP estacional fue de 490 mm, de la cual el 56% ocurrió en la etapa vegetativa y el 44% en la etapa reproductiva

Rendimiento en grano y sus componentes

A excepción del NH, el RG y sus componentes presentaron diferencias significativas por efecto del PM. El RG, NG y TG, más alto se logró con 2 PM; seguido de 3 y 4 PM al que correspondió el valor más bajo. Tendencia semejante se observó en el PMZ. En contraste, el NGH y PO aumentó al tener menor PM (Cuadro 1). Estos cambios en el RG, como se presenta en el cuadro 2, se asociaron con cambios en el NGH (r = 0.97**) ; TG (r= 0.95) y el NG (0.87*) . También se observó una relación alta con el PMZ (r= 0.99**) y una relación negativa con el PO (r=-0.99*). Esto indica que para lograr un mayor RG, se tiene que buscar mayor NGH, TG y NG en la mazorca. También mazorcas de mayor peso y menor acumulación de materia seca en el olote.

Cuadro 1. Número de hileras, granos por hilera, número de granos por planta, tamaño del grano, rendimiento del grano por planta, peso de mazorca y peso de olote en función del número de plantas por mata. Montecillo Méx. 2020.

PM	NH	NGH	NG	TG (g)	RG (g)	PMZ (g)	PO(g)
4	15	25c	317c	0.435b	138 c	219c	81a
3	15	32b	353b	0.510a	180b	232 b	52b
2	15	38a	471a	0.505a	238 a	286a	48b
Media	15	31	471	0.483	196	256	60
Tukey 0.05	2	5	35	0.25	20	11	10
Prob F	NS	**	**	**	**	**	**

PM = número de plantas por mata; NH = número de hileras; NGH = número de granos por hilera; NG= número de granos por planta; TG= tamaño del grano; RG= rendimiento de grano por planta; PMZ= peso de mazorca; PO= peso del olote. **Prob F >0.01; NS= cambios no significativos P> 0.05.

Correlación entre los componentes del rendimiento

El análisis de correlación presentado en el cuadro 2 indica que los cambios en RG fueron asociados con el NGH y TG (r= 0.99), seguido del NG (r= 0.87). También presentó una relación alta con el PMZ (r= 0.99). Esta relación fue alta pero negativa con el PO (r=- 0.99). Esto indica que para buscar mayor RG se debe tener mazorcas de mayor peso, que tengan mayor NGH, NG y peso individual del grano. En contraste, se requiere menor acumulación de materia seca en olote. Por otra parte, para incrementar el NG se requiere buscar mayor NGH.

Cuadro 2. Correlación de Pearson entre el rendimiento y sus componentes por planta del maíz “Tehuacano”. Realizado con los valores medios. Montecillo Méx. 2020.

	NGH	NG	TG	RG	PMZ	PO
NGH		0.83 *	0.86 *	0.97**	0.98**	-0.94**
NG	0.84*		0.79 NS	0.87*	0.87 *	-0.86*
TG	0.86*	0.79NS		0.95**	92**	-0.98**
RG	0.97**	0.87*	0.95**		0.99**	-0.99**
PMZ	0.99**	0.87*	0.92**	0.99**		-0.98**
PO	-0.93**	-0.85*	-0.98**	-0.98**	-0.97**	

NGH= número de granos por hilera; NG= número de granos; TG= tamaño de grano; RG= rendimiento en grano; PMZ= peso de mazorca; PO= peso del olote.

Modelo de regresión entre el rendimiento y sus componentes

Al buscar mediante un modelo de regresión múltiple los componentes que explican los cambios en el rendimiento por planta, encontramos que el modelo que explicó estos cambios fue: $RG = -212 + 4.3 NGH + 0.04 NG + 522 TG$ con un $R^2 = 0.93^{**}$. Esto indica que para incrementar el RG del maíz Tehuacanero hay que aumentar el NGH y el TG.

Rendimiento en grano y características agronómicas por m²

Las variables por m² mostraron diferencias significativas debido al cambio en PM (Cuadro 3). El RGS más alto se obtuvo con 3 y 4 PM (540 a 552 g m⁻²). El más bajo a 2 PM con 476 g m⁻². Tendencias semejantes se observaron en el NGS, PMES, PMZS y el PES, seguido de 2 PM que presentó el valor más bajo (Cuadro 3). Además del olote las espátas tienen valor comercial.

Cuadro 3. Peso de mazorcas con espátas, peso de mazorca, peso de espátas, rendimiento en grano y número de granos. Datos por m². Montecillo Méx. 2020.

PM	PMES (g)	PMZS (g)	PES (g)	RGS (g)	NGS
4	972a	876a	96a	552 a	1268a
3	864 a	792b	72b	540 a	1245a
2	632c	572c	60c	476c	942b
Media	823	797	76	554	1337
Tukey 0.05	110	85	11	20	228
Prob F	**	**	**	**	**

PMES = peso de mazorca con espátas; PMZS = peso de mazorca; PES= peso de espátas; RGS= rendimiento en granos; NGS= número de granos; **Prob F >0.01; NS= cambios no significativos P > 0.05.

Conclusiones

Los días a ocurrencia a etapas fenológicas no fueron afectados por el cambio en el número de plantas por mata.

A nivel de planta, el rendimiento en grano, el número de granos, el tamaño del grano, número de granos por hilera y el peso de la mazorca se reduce al tener mayor número de plantas por mata. En contraste, el peso del olote se incrementa.

A nivel de superficie, el rendimiento en grano número de granos más alto se encontró con 3 y 4 plantas por mata.

De los componentes a mejorar para incrementar el rendimiento por planta son el número de granos, granos por hilera y el tamaño del grano.

En cuanto al peso por m² de: mazorcas con espátas, peso de mazorcas y el peso de las espátas los valores más altos de encontraron con 4 plantas por mata, seguido de 3 y 2.

Estos resultados se lograron con una temperatura máxima promedio durante el ciclo de 32°C, mínima de 12 °C y una precipitación de 490 mm y tres riegos de auxilio.

Literatura citada

Doorenbos, J., y Kassam A. 1979. Efectos del Agua sobre el Rendimiento de los Cultivos. FAO. Riego y Drenaje 33. Roma, Italia. 212.p.

Escalante-Estrada, J. A. S., M. T. Rodríguez-González y Y. I. Escalante-Estrada. 2015. Acumulación y distribución de materia seca en cultivares de maíz asociados con frijol en clima templado. Rev. Mex. Cienc. Agríc. 1: 139-143.

Escalante-Estrada José Alberto Salvador, Yolanda Isabel Escalante-Estrada Y Cid Aguilar-Carpio.2021. Distancia entre plantas, biomasa y rendimiento del maíz (*Zea mays* L.) azul. 106-110. En: "Contribuciones tecnológicas para el futuro forestal y agropecuario Veracruzano .2021" Compiladores: Rigoberto Zetina Lezama, Oscar Hugo Tosquy Valle, Ana Lid Del Angel Pérez, Ángel Ríos Utrera, Marcos Ventura Vázquez Hernández, Valentín Alberto Esqueda Esquivel, Claudia Perdomo Montes.491 pág.

García, E. L. 2005. Modificación al sistema de clasificación climática de Köppen. 4a (Ed.). Universidad Autónoma de México (UNAM). D. F., México. 217 p.

Ortiz-Torres Enrique, Pedro Antonio López, Abel Gil-Muñoz, Juan de Dios Guerrero-Rodríguez , Higinio López-Sánchez, Oswaldo R. Taboada-Gaytán, J. Arahón Hernández-Guzmán y Mario Valadez-Ramírez.2013. Rendimiento y calidad de elote en poblaciones nativas de maíz de Tehuacán, Puebla.2013. Revista Chapingo Serie Horticultura 19(2): 225-238.

Rojas Victoria, N. J., J. A. S. Escalante Estrada, F. V. Conde Martínez, J.A. Mejía Contreras y R. Díaz Ruíz. 2017. Rendimiento del frijol ayocote y maíz del agrosistema asociado en función del número de plantas por mata.Terra Latinoamericana 35: 219-228.

SAS Institute Inc. 2011. SAS@93 Guide to Software updates. Cary. NC: SAS Institute Inc.

Funcionamiento de un Cojinete Presurizado

Dr. Tomás Fernández Gómez¹, Ing. Genaro E. Méndez Uscanga¹, M.C. Francisco J. Miranda Sánchez¹, M.C. Vladimir D. Fernández Pérez¹, Ing. Heber Abel Cruz Rodríguez, ¹Ing. Josué Hernández Juárez¹.

Resumen- De cada diez máquinas rotatorias que operan en el campo industrial en México alrededor de nueve de ellas tienen, han tenido, y/o experimentarán problemas vibratorios ocasionados por desbalance de masa y/o por desalineamiento en sus ejes-coples-chumaceras.

Los cojinetes lubricados controlables de película de fluido han probado ser la solución más apropiada para disminuir el desgaste, la fricción, las vibraciones mecánicas, así como las resonancias y las vibraciones excitadas por los desbalances y fisuras en el eje, así mismo el postergar la inestabilidad.

Palabras clave- Desalineamiento, desbalance, vibración y turbomaquinaria.

Introducción

La mayoría de las máquinas rotatorias están soportadas por chumaceras hidrodinámicas de película de fluido. Entre ellas están los compresores, bombas, motores eléctricos, generadores eléctricos, turbinas y otros.

Cojinete presurizado.

Este cojinete es un nuevo desarrollo tecnológico que no se ha visto antes y es el invento de los últimos cien años en lo que se refiere a cojinetes. Todos los días la gente alrededor del mundo intentan resolver los problemas de inestabilidad en su maquinaria con una variedad de medidas, frecuentemente usan cojinetes tilting-pad para intentar corregir las inestabilidades en su maquinaria

Los cojinetes presurizados y controlables son menos costosas que las tradicionales y ofrecen mejores resultados, mejor estabilidad, mejores propiedades de carga, mejor flexibilidad en opciones de fluido y una ajustabilidad genuina.

Campos de Aplicación

Cojinete presurizado.

Este nuevo cojinete puede ayudar a solucionar problemas de inestabilidades como el latiguo de aceite en el interior de la chumacera. Con esta cojinete presurizado y controlable se tiene el objetivo de mejorar la estabilidad y ajuste de las propiedades de la misma.

El uso de cojinetes presurizados es al menos relegado en aplicaciones de muy baja velocidad, buscando su posición para grandes aplicaciones, estas se conocen como chumaceras hidrostáticas. Las cuales son capaces de soportar muchas toneladas, uniformemente cuando no hay movimiento entre las partes rotatorias y estacionarias de la chumacera.

¹ Dr. Tomas Fernández Gómez, profesor de Ingeniería Mecánica en el Tecnológico Nacional de México / Tecnológico de Orizaba (autor corresponsal) fernandez_gt@yahoo.com

¹ Ing. Genaro E. Méndez Uscanga, profesor de Ingeniería Mecánica en el Tecnológico Nacional de México / Tecnológico de Orizaba.

¹ Ing. Francisco J. Miranda Sánchez, profesor de Ingeniería Mecánica en el Tecnológico Nacional de México / Tecnológico de Orizaba.

¹M.C Vladimir D. Fernández Pérez, profesor de Ingeniería Mecánica en el Tecnológico Nacional de México / Tecnológico de Orizaba.

¹ Ing. Heber Abel Cruz Rodríguez, profesor de Ingeniería Mecánica en el Tecnológico Nacional de México / Tecnológico de Orizaba.

¹Ing. Josué Hernández Juárez residente de Ingeniería Mecánica en el Tecnológico Nacional de México / Tecnológico de Orizaba.

Características

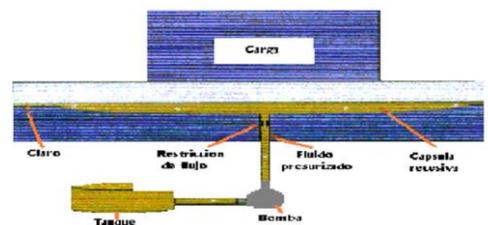
- Baja resistencia a la fricción.
- Proveen amortiguamiento viscoso para reducir las vibraciones de las máquinas.

Aplicaciones

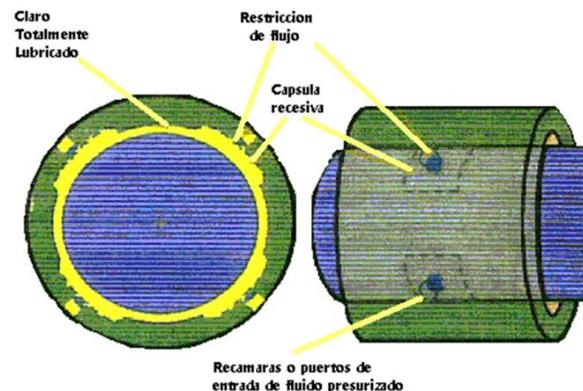
- Máquinas rotatorias modernas
- Compresores
- Bombas

Datos técnicos

- El fluido es presurizado de una fuente externa.
- Se mantiene con una lubricación completa (360 grados)
- El flujo es a la vez circunferencial y axial. (A lo largo del rotor)
- Proporciona una alta densidad de carga a poca excentricidad.
- Tiene los elementos positivos de un elemento de rotación. Película de fluido y Cojinetes magnéticos, con menos atributos negativos.
- Puede aplicarse tanto radial como axialmente, o una combinación de ambas, incluso puede usarse en el centro de la máquina (Sello/Cojinete) para incrementar la rigidez.
- La chumacera nos proporciona rigidez y el control del amortiguamiento y la adaptabilidad rotodinámica.
- Provee un cojinete muy robusto, poca pérdida mecánica con baja fricción.
- Puede ser usado para el control de inestabilidades como latiguelo y remolino.
- Puede usar fluidos compresibles e incompresibles.



Cojinete controlable y/o presurizado



Cojinete presurizado radial

Metales de cojinetes

Las cualidades esenciales de una aleación de chumacera es que deberá ser relativamente tenaz y dúctil para resistir el choque mecánico; pero al mismo tiempo, ser dura y resistente a la abrasión, de manera que resista al desgaste y opere con el mínimo valor de pérdidas de fricción.

Las aleaciones para chumaceras a base de cobre incluyen a los bronce fosforados (que contienen de 10 a 13% de estaño y 0.3 a 1.0% de fósforo) y los bronce al estaño ordinarios (que contienen de 10 a 15% de estaño). Ambos tipos de bronce satisfacen los requisitos estructurales de un metal de chumacera, ya que contienen partículas de los compuestos intermetálicos duros.

Los latones de chumacera generalmente son del tipo 60-40, hasta con 1.0% de aluminio, otro tanto de hierro y manganeso. Los metales "blancos" de chumaceras pueden tener base de estaño o base de plomo. Los primeros, que representan las mejores aleaciones blandas para chumacera, se llaman con frecuencia "metales Babbitt"

Tabla a				METALES BLANDOS PARA CHUMACERA
Composición (%)				características y usos
Sn	Sb	Pb	Cu	
S3	Sb	-	3.5	Usado principalmente para chumaceras de cabeza de biela.
S6	10.5	-	3.5	Chumaceras principales para motores de automóviles y de avión; también para trabajo general.
80	11	6	3	Trabajo general en que es necesario el servicio pesado.
60	10	28.5	1.5	Locomotoras, máquinas de vapor, motores de combustión interna, generadores y dinamos.
40	10	48.5	1.5	Servicio mediano en equipo rodante de vía.
20	15	63.5	1.5	Una aleación de servicio más bajo que la anterior.
5	15	50	-	Metal Megnolio – útil a temperaturas elevadas para presiones y velocidades más bajas.

Metales blandos más importantes para chumacera.

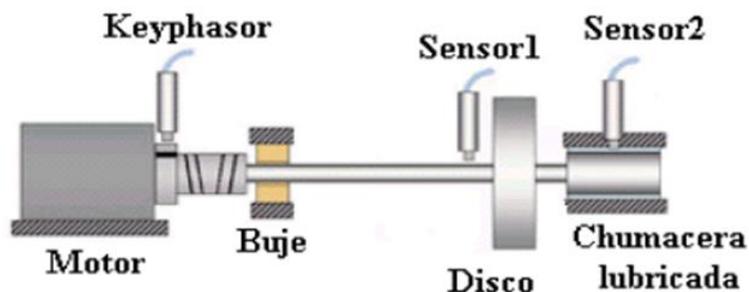
Otros metales de cojinetes a base de plomo contienen pequeñas cantidades de los metales alcalinos (Fig. 34) calcio y bario, así como sodio. Estas aleaciones se manufacturan por la electrólisis de cloruro de calcio, sodio o bario, utilizando un cátodo de plomo fundido en el cual se disuelve el metal liberado.



Chumaceras de metales alcalinos

Coefficientes rotodinámicos con inyección de lubricante a presión.

Para la obtención de los coeficientes rotodinámicos de rigidez y de amortiguamiento, se toma como base un sistema rotor-chumacera; Este sistema presenta ciertas características rotodinámicas que facilitan al análisis del sistema y al mismo tiempo, la obtención de los valores de los coeficientes.



Configuración del sistema rotor-chumacera.

En el modelo Jeffcott original, es necesario que las chumaceras cilíndricas sean de características geométricas idénticas, esto es, que las chumaceras no presentan variaciones entre ellas. Al hacer uso del modelo Jeffcott reducido con una sola chumacera evitamos el problema de los claros idénticos en ambos soportes, al igual evitamos las pequeñas variaciones que pudieran presentarse en el subministro del fluido lubricante presurizado.

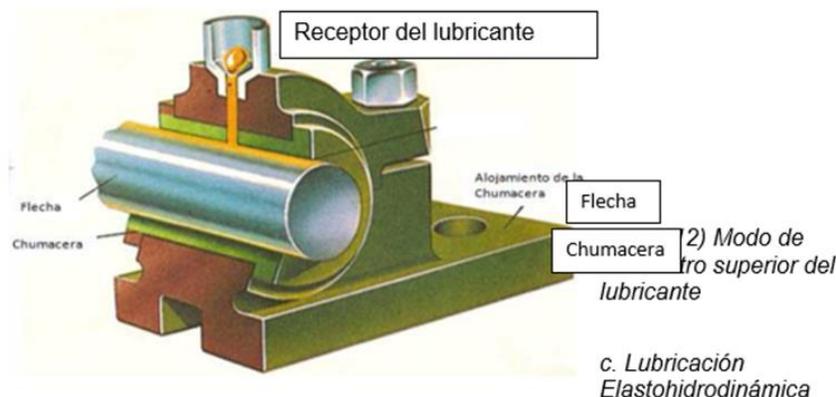
Tipos de Lubricación en Cojinetes.

La lubricación consiste en la introducción de una capa intermedia de un lubricante ajeno entre las superficies en movimiento, esta película lubricante, además de disminuir la fricción y el desgaste tiene una afectación muy importante en el comportamiento rotodinámico del sistema. Este lubricante se puede mover entre las caras móviles (muñón y chumacera) por medio de una acción hidrodinámica. El espesor de capa fluida en una chumacera depende de diferentes factores tales como:

- Viscosidad del lubricante.
- Módulos de elasticidad de las partes en contacto.
- Velocidad relativa entre las superficies.
- Carga que se debe soportar.
- Relación geométrica de radios de acuerdo de las superficies en contacto.
- Coeficiente que relaciona la viscosidad del lubricante y la presión que soporta.

La lubricación se clasifica según el grado con el que el lubricante separe las superficies deslizantes. Para el caso de chumaceras lubricadas podemos encontrar tres casos, estas son de:

- a) Lubricación de película gruesa.
- b) Película mixta.
- c) Película límite o marginal (orthwein, 1996; Norton, 1998).



Modo de suministro superior del lubricante

Viscosidad

Para que un lubricante resulte efectivo debe ser lo suficientemente viscoso como para mantener una película lubricante en condiciones de operación; puesto que el aceite se agarrara de las dos superficies, la capa más inferior no se moverá del todo, mientras que la capa superior se moverá con una velocidad igual a la del muñón, y las capas intermedias se moverán con velocidades directamente proporcionales a sus distancias desde la placa estacionaria.

Rigidez dinámica y las ventajas de chumaceras de película fluida presurizados externamente

La mayoría de las turbomáquinas en uso hoy en día emplean Chumaceras de manguito lubricados con aceite. estas chumaceras han evolucionado durante el último siglo, pero virtualmente todos comparten las siguientes características:

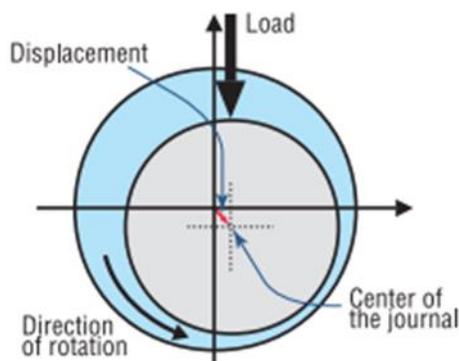
- Están parcialmente, en lugar de totalmente, lubricados.
- Son de baja presión; la presión de suministro de lubricante es generalmente alrededor de 15 a 20 psi (103 a 138 kPa).
- Se basan en el movimiento relativo entre estático y superficies giratorias para generar la película fluida

Para un resorte, la rigidez es una cantidad escalar en lugar de vectorial, y el desplazamiento es en la dirección de la fuerza aplicada.

Sin embargo, para un cojinete de película fluida, la rigidez es una cantidad vectorial, que consta de una componente radial y una componente tangencial.

Nos referimos a estos dos componentes de la rigidez dinámica como sigue:

1. Rigidez Dinámica Directa. Esta componente de rigidez es en la dirección de la carga aplicada.
2. Rigidez dinámica en cuadratura. Este componente de rigidez está en la dirección ortogonal a la carga aplicada.



El muñón de un rodamiento de película fluida cede ante una carga aplicada tanto en dirección directa como en cuadratura

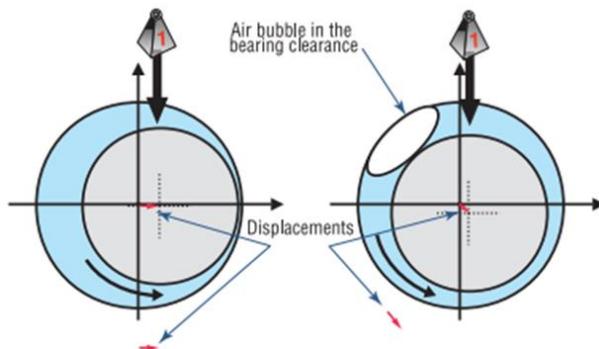
Bajo una carga ligera, el desplazamiento del eje es casi perpendicular a la dirección de la carga, lo que indica que la Rigidez Dinámica total está dominada por el término en cuadratura, en lugar de directo. Es decir, el rotor se mueve perpendicular a la fuerza aplicada. Cuando la inercia fluidica los efectos están presentes, los rotores ligeramente cargados pueden incluso moverse por encima de la línea central del rodamiento (Figura 44b). Con incremento (Figura 44c), el rotor comienza a moverse en la dirección de la carga aplicada.

Finalmente, bajo una carga muy pesada (Figura 44d), la Rigidez Dinámica está dominada por la directa, en lugar de cuadratura, componente. Esto produce desplazamientos principalmente en la dirección de la carga aplicada.

Cojinetes parcialmente lubricados, rigidez dinámica directa y estabilidad

Cuando la película fluida no está completamente desarrollada, La rigidez dinámica directa aumenta dramáticamente y elimina el efecto de inercia fluidica. Esto da como resultado un cambio tanto de dirección como de magnitud del desplazamiento: la dirección se vuelve más cerca de la de la carga aplicada y la magnitud disminuye, ya que la Rigidez Dinámica total (incluyendo tanto la directa como la componente de cuadratura) se vuelve más grande.

En cambio, la forma correcta de mejorar la rigidez dinámica directa es aumentando la caída de presión a lo largo de la Llevando. Los siguientes son los principios básicos de la rigidez dinámica directa, así como los principales factores que la afectan.



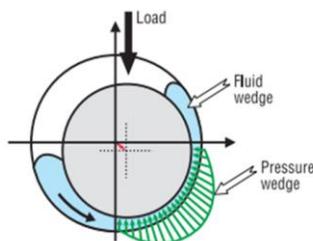
Introducción de una burbuja de aire en la holgura del rodamiento produce un aumento dramático en la rigidez dinámica directa, y alivia el fluido efecto de inercia.

Origen de la rigidez dinámica directa

Hay ciertos factores puramente mecánicos que afectan rigidez dinámica directa, como la rigidez y la masa del propio rotor. Los factores restantes, sin embargo, son el fluido dinámico del sistema.

Hace mucho tiempo que se estableció que la capacidad de un rodamiento para la carga de transporte se basa en una cuña de fluido convergente-divergente en la dirección circunferencial, que existe dentro de un rodamiento.

Una cuña de fluido en la dirección circunferencial contribuye principalmente a fuerzas tangenciales en un cojinete, que son fuentes de Rigidez dinámica en cuadratura. Sin embargo, hay otra cuña que contribuye a lo bien que funciona el rodamiento.

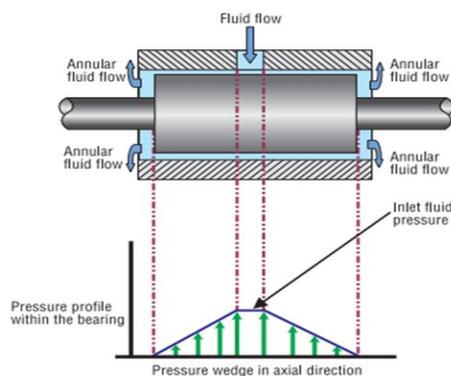


El fluido lubricante forma una cuña de fluido en la circunferencia dirección.

Hidrodinámico versus presurizado externamente, totalmente chumaceras Lubricadas

En las chumaceras hidrodinámicas de película fluida, la capacidad de transportar la carga se produce principalmente por medio de una interacción hidrodinámica entre el rodamiento y el muñón que gira rápidamente.

El flujo circunferencial del fluido suele ser mucho más rápido que el flujo axial porque el movimiento giratorio del eje tiende para "arrastrar" el fluido en movimiento, con una velocidad igual a la de la rotación del eje. Esto conduce a una alta rigidez en cuadratura. Como anteriormente, alta rigidez en cuadratura sin adecuada la rigidez directa conduce a la inestabilidad.



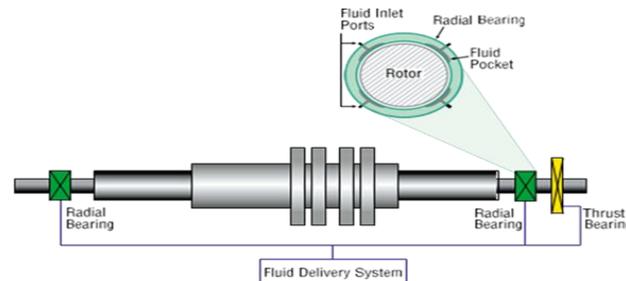
Cuña de presión de fluido en dirección axial

Rodamiento de control de ServoFluid

El rodamiento de control ServoFluid es un rodamiento de fluido presurizado externamente y totalmente lubricado. La práctica convencional predominante es evitar la lubricación completa y la presurización de los rodamientos en la creencia de que conduce a la inestabilidad en los rodamientos de película fluida aplicados a la turbomaquinaria.

El diseño único del SFCB obliga a que el fluido fluya principalmente a lo largo del eje, en lugar de alrededor de él, formando una cuña de soporte predominantemente axial, en lugar de una cuña de soporte predominantemente circunferencial como en los rodamientos convencionales de película fluida.

La figura muestra una representación básica del nuevo rodamiento de control ServoFluid. El fluido de trabajo se suministra al rodamiento mediante un sistema de suministro de fluido presurizado. El fluido presurizado fluye a través de orificios a los puertos y bolsillos del rodamiento especialmente diseñados. El movimiento del rotor y el diseño geométrico del rodamiento crean un diferencial de presión entre las partes opuestas del rodamiento. Bolsillos (separados 180 grados) para proporcionar una fuerza de restauración al rotor durante el funcionamiento, centrando así el rotor y creando un cojinete rígido y estable.



Resultados de las pruebas de perturbación del SFCB

En un rodamiento de manguito radial hidrodinámico convencional, se sabe que las siguientes características cambian de forma no lineal en función de la posición de excentricidad del rotor (e):

- La rigidez de la película de fluido del rodamiento K . (con unidades de lb/in)
- Amortiguación D . (con unidades de lb-seg/in)
- λ (Lambda), la relación de velocidad media circunferencial del fluido, (con unidades adimensionales)
- Ángulo de actitud, ψ , (con unidades de grados angulares)

Conclusión

Durante la última década se han realizado investigaciones de los efectos de una lubricación completa, los diseños de las chumaceras presurizadas fueron usados en aplicaciones de maquinaria de alta velocidad. Los trabajos útiles fueron progresando con varios diseños experimentales, sin embargo, algunos problemas persistían, los cuales fueron solucionados proporcionando una presión de fluido externo con una bomba de alta velocidad, probada con un control activo para soportar y estabilizar la rotación del eje.

Finalmente se considera que este proyecto es una buena propuesta que cumple con las expectativas esperadas y, además se puede considerar como parte de otros trabajos futuros.

Referencias bibliográficas

1. Bently, Donald E., "Fundamentos de Maquinaria Rotacional diagnósticos", Primera Edición, Bently presurizado Teniendo Press, 2002
2. Evans, Walter R., "Dinámica de control-sistema", McGraw-Hill, 1954
3. D. Bently, 2000 "Servofluid Control Bearing" Orbit fourth quarter.
4. Bently, D.E, Petchenev, A., "Dynamic Stiffness and the Advantages of Externally Pressurized Fluid-Film Bearing," ORBIT, First Quarter 2000, pp.18-24.

5. Reynolds, O., "On the Theory of Lubrication and Its Application to Mr. Baughn's Tower's Experiments Including an Experimental Determination of the Viscosity of Olive Oil," *Philos. Trans. R. Soc. London, Series A*, Vol. 177, Part 1, 1886, pp. 157-234.
6. Ocvirk, F.W., "Short-Bearing Approximation for Full Journal Bearings," National Advisory Committee for Aeronautics (NACA) TN 2808, 1952.
7. Harrison, W.J., "The Hydrodynamical Theory of Lubrication of a Cylindrical Bearing Under Variable Load and of a Pivot Bearing," *Transactions of the Cambridge Philosophical Society*, Vol. 22, April 24, 1919, pp. 373-388.
8. Bently D.E., Hatch, Grissom, "Fundamentals of Rotating Machinery Diagnostics," 2002.
9. LALANNE / FERRARIS, Rotor dynamics prediction in engineering ed. Wiley and sons.
10. Estimating allowable shaft vibration limits for fluid film journal bearings, by James D. Mc Hugh, General Electric Co., Schenectady, N. Y., Presented at Vibration Institute Seminar, 1982.
11. FERNANDEZ-PEREZ, Vladimir Damián, MIRANDA-SANCHEZ, Francisco Javier, FERNANDEZ-GOMEZ, Tomas. "Metodología para Diseño Mecánico Utilizando Realidad Aumentada como Herramienta de Aprendizaje," "Methodology for Mechanical Design Using Augmented Reality as a Learning Tool," 19th ECORFAN® International Conference - Science, Technology and Innovation, 13 December, 2022.

Balance de Energía Térmica en una Fábrica Azucarera

Dr. Tomás Fernández Gómez¹, M.C Vladimir D. Fernández Pérez Ing. Genaro E. Méndez Uscanga¹, M.C. Francisco J. Miranda Sánchez¹, Ing. Ángel Terrazas Carmona¹

Resumen— Se presentarán cálculos de un balance de energía térmico necesarios para una empresa donde se elabora azúcar.

Palabras clave— Vapor, valor calórico, Producción de vapor.

Introducción

Desarrollar un balance térmico con base a información obtenida en un ingenio azucarero basándonos en el manual para ingenieros azucareros

- Desarrollar cálculos para poder obtener datos de operación en la fábrica.
- Encontrar los puntos donde haya más consumos de vapor.

Marco Teórico

Este proceso no es complejo, se apega a los cálculos básicos de fórmulas y a un manejo sencillo de los datos, este proceso es guiado por el balance de vapor del Manual para Ingenieros Azucareros que tiene inicio desde el cálculo del poder calorífico de la azúcar, hasta el vapor sobrante de lo producido y ocupado en las áreas de mayor interés en el proceso de formación de la azúcar.

Procedimiento del balance térmico explicado y aplicado.

Producción de vapor

Para el empezar este proceso, de manera inicial se debe calcular el **Valor Calorífico Neto** del bagazo de caña de azúcar (**V.C.N.**), para esto se deben considerar datos como son: el porcentaje de fibra, porcentaje de azúcar y el porcentaje de humedad.

Por otro lado, debemos obtener de igual manera el **Valor Calorífico Superior (V.C.S.)** el cual también incluye los datos de fibra, azúcar (sacarosa) y humedad, el procedimiento inicia con una relación de fórmulas entre el valor calorífico y las kilocalorías por kilogramo que aporta.

Valor calorífico superior:

V.C.S. = $4600/100 F$ (Fibra) + $4000/100 S$ (% sacarosa) a esta fórmula se le agregan el cálculo del poder calorífico del agua, incorporando la humedad (w) a la ecuación para poder obtener el **V.C.N.**

Entonces tenemos que:

$$V. C. N = \frac{4600}{100} F + \frac{4000}{100} S - 350 \left(\frac{100 - w}{100} \right) - 600$$
$$V. C. S. = 46F + 40S$$
$$V. C. N. = 47F + 40S - 2.5w - 350$$

Sustituyendo los valores de F, S Y w tenemos que:

$$F = 100 - S - w$$

$$S = 4000 \text{ kcal/kg}$$

$$S' = S / .80 = 1.25 \quad \text{por lo tanto } F = 100 - 1.25 - w$$

¹ Dr. Tomas Fernández Gómez, profesor de Ingeniería Mecánica en el Tecnológico Nacional de México / Tecnológico de Orizaba (**autor corresponsal**) fernandez_gt@yahoo.com

¹ M.C Vladimir D. Fernández Pérez, profesor de Ingeniería Mecánica en el Tecnológico Nacional de México / Tecnológico de Orizaba.

¹ Ing. Genaro E. Méndez Uscanga, profesor de Ingeniería Mecánica en el Tecnológico Nacional de México / Tecnológico de Orizaba.

¹ Ing. Francisco J. Miranda Sánchez, profesor de Ingeniería Mecánica en el Tecnológico Nacional de México / Tecnológico de Orizaba.

¹ Ing. Ángel Terrazas Carmona, Profesor de ciencias básicas en el Tecnológico Nacional de México / Tecnológico de Orizaba.

W= variable entre 45-49% = .45-.49

De manera simplificada tenemos que:

$$V.C.S. = 4600(1-w) \quad \text{sustituyendo}$$

$$V.C.S. = 4600(1-.495) = 2323 \text{ kcal.}$$

$$V.C.N. = V.C.S. - 6000E \quad \text{donde E= peso del vapor del agua en la combustión de 1 kg de bagazo } H_2 + O = H_2O = 2gr + 16gr = 18 gr \text{ por lo tanto } E = 9H$$

$$E = 9H(1-w) + w \quad \text{donde H= peso del hidrogeno.}$$

Sustituyendo tenemos que:

$$V.C.N. = 4600(1-w) - 600(9 \times 0.065)(1-w) - 600w$$

$$V.C.N. = 4250 - 4850w$$

$$V.C.N. = 4250 - 4850(.495) = 1849.25 \text{ kcal.}$$

Y de esta forma queda calculado el **Valor Calorífico Neto** que aporta el bagazo como combustible para la caldera; este dato nos será de importancia en el proceso más adelante.

Como siguiente paso, se procede a calcular las pérdidas de calor sensible en los gases de la combustión.

Pérdidas de calor en la chimenea:

En este apartado se calculará la pérdida de calor latente del vapor del agua que arrastran los gases de la chimenea.

Las pérdidas más importantes son correspondientes a la pérdida de calor sensible arrastrado por estos gases.

Para el desarrollo de las fórmulas de este cálculo, se debe tener en cuenta cuales son los gases que salen de la chimenea y sus pesos respectivamente, los cuales son representados en la siguiente tabla:

Elemento	Variable denominada	Formula
N ₂	q ₁	4.42 (1-w) m x 0.250t
O ₂	q ₂	1.33 (1-w) (m-1) x 0.218t
H ₂ O	q ₃	[0.585 (1-w) + w] x 0.499t
CO ₂	q ₄	1.72 (1-w) x 0.215t

Sumando, simplificando y aproximando se obtiene la pérdida total de calor sensible (a partir de 0°C) con la siguiente formula:

$$q = t(1-w) \left(1.4m + \frac{0.50}{1-w} - 0.12 \right)$$

$$q = 275(1-.495) \left([1.4 * 1.5] + \frac{0.50}{1-.495} - 0.12 \right) = 412.47 \text{ kcal}$$

Donde:

t = temperatura de los gases de entrada a la chimenea

w = % de humedad ejemplo: 45% = 0.45

m = relación entre el peso del aire empleado al peso de aire estrictamente necesitado: 1.5

Ya que:
$$m = \frac{\text{peso del aire empleado}}{\text{peso del aire estrictamente necesario}} = 1.5$$

En resumidas cuentas, aquí acabaría el cálculo de pérdidas de calor en la chimenea, este dato será de utilidad más adelante en el proceso de este balance.

Por consiguiente, pasaremos a realizar los demás cálculos del proceso de balance; ahora nos toca desarrollar la cantidad de calor recuperado en el vapor.

Cantidad de calor recuperado en el vapor.

En el desarrollo de estas fórmulas se debe recordar que están sujetas por unidad de peso de bagazo; y retomaremos un poco variables explicadas con anterioridad las cuales son representadas por los símbolos de Alfa, Beta y Eta.

Pérdidas:

$$\alpha = \text{pérdidas por solidos no quemados} = 0.99$$

$$\beta = \text{pérdidas por radiación del horno y caldera} = 0.90 - 0.80$$

$$\eta = \text{pérdidas por mala combustión} = 0.99 - 0.80; \text{ Que depende de la humedad del bagazo, el poco exceso de aire en los hornos y la temperatura del horno elevado.}$$

Para un horno moderno se ocuparía un coeficiente de .90
Teniendo en cuenta lo anterior, ahora se procede a calcular la cantidad de calor que queda para pasar al vapor.

$$MV = (4250 - 4850w - q)\alpha\beta\eta$$

$$MV = (4250 - 4850(0.495) - 412.47) * .99 * .95 * .90 = 1216.16 \text{ kcal}$$

Donde encontraremos que:

M_v = Calor transmitido al vapor por kg de bagazo quemado en kcal.

w = Humedad por unidad de bagazo

q = calor sensible (anteriormente calculado)

El calor transmitido al vapor (MV) también puede calcularse de la siguiente manera, en dado caso que cuente con los datos correspondientes a la formula, se podría calcular como:

$$MV = P * N_s$$

Donde:

P = a la eficiencia térmica de combustión

N_s = Valor Calorífico Superior (V.C.S.)

Sustituyendo entonces tenemos que:

$$MV = \eta * V.C.S.$$

$$MV = \eta * [4600(1 - w)]$$

Pero para el balance real se debe ocupar la formula como se muestra a continuación:

$$MV = (V.C.S. - q) * \alpha\beta\eta$$

Poniendo en práctica parte de los resultados generados con las fórmulas anteriores tenemos el siguiente caso:

La vaporización de 1 kg de vapor, necesita de 26 kg/cm² absolutos y 350 °C de temperatura.

Teniendo en cuenta el consumo de calorías para evaporar el agua (749 kcal/kg) a una temperatura de 350 °C (tablas de agua saturada).

Tenemos: 749 - 90 = 659 kcal. (90 es la temperatura del agua del tanque de alimentación).

1 kg de bagazo dará entonces: $\frac{mv}{659} = X$

Donde X son los kg de vapor a 25 kg/cm² a 350 °C.

Ahora bien, multiplicando nuestro resultado X por el dato del peso de bagazo en kg/T.C.H. que encontramos al inicio del balance obtendríamos la cantidad de vapor vivo producido.

Para el caso de nuestro balance, ocupando los datos obtenidos anteriormente, pondremos a prueba las fórmulas recientemente explicadas:

Entonces tenemos que 1 kg de vapor a 320°C con 18 kg/cm², y con un valor de 734.8 kcal (dato obtenido de la tabla 151 de calor total de vapor sobrecalentado del Manual para ingenieros azucareros) para el agua y una temperatura en el tanque de alimentación de 104.2°C:

734.8-104.2 = 630.6 kcal.

Ahora ocupando las fórmulas anteriores encontramos que:

1 kg de bagazo dará entonces: $\frac{MV}{630.6} = \frac{1216.16}{630.6} = 1.92 \text{ kg de vapor a } 18 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \text{ y } 320^\circ\text{C}$

Y si multiplicamos el resultado obtenido por el dato inicial del balance de las toneladas de caña molida por hora (T.C.H.) obtenemos el vapor vivo que cada tonelada de caña podría producir:

$$1.92 \text{ kg} * 240 \text{ T.C.H.} = 462.85 \text{ kg de vapor por T.C.H.}$$

Consumo de vapor

Para dar inicio al cálculo del consumo de vapor de la fábrica, primero tenemos que calcular el vapor consumido por los motores y después se verá el consumo de la fabricación.

CALCULO MOTORES

Entonces tenemos que la potencia de los motores de una fábrica se ve reflejado en la tabla 185 que ya se había ocupado con anterioridad, tomando en cuenta la consideración de si es una fábrica electrificada o no electrificada.

TABLA 185. POTENCIA MEDIA TOTAL CONSUMIDA

(a) Molinos	18 a 24, H.P./T.C.H.
(b) Otras máquinas:	12 a 16 H.P./T.C.H.
Fábricas electrificadas	6 a 8 H.P./T.C.H.
Fábricas no electrificadas	8 a 12 H.P./T.C.H.
Total:	
Fábricas electrificadas	18 a 24, promedio 20 H.P./T.C.H.
Fábricas no electrificadas	20 a 28, promedio 24 H.P./T.C.H.

Suponiendo que la fábrica consume en total 20 HP/T.C.H. en los registros de la plata esta cifra correspondería a:

$$\frac{20}{0.85 * 0.97} = 25 \text{ HP/T.C.H.}$$

Donde:

0.85 es el rendimiento promedio de los motores

0.97 es el rendimiento medio de las líneas de transmisión

Ahora bien, para con un consumo de 8 kg de vapor por HPH, se necesitarán en los turbogeneradores: $25 * 8 = 200$ kg de vapor/T.C.

Sin embargo este vapor no se pierde, se vuelve a encontrar casi totalmente en la forma de vapor de escape.

Para el cálculo de pérdidas en los turbogeneradores:

Se tomará en cuenta el porcentaje de 5%, es decir: $200 * 0.05 = 10$, también se toman en cuenta las pérdidas por fugas en las tuberías, 5 kg por T.C.

Por lo tanto, tendríamos un total de 15 kg de vapor/T.C. y en el vapor de escape se recuperarán: $M = 200 - 15 = 185$ kg/T.C.

Ahora bien, para nuestro particular caso, el ingenio cuenta con 2 turbogeneradores, funcionando con 16 kg/cm^2 , 320°C y un flujo de 43,881.88 kg/h de vapor sobrecalentado. Trabajando $\frac{3}{4}$ de carga y la carga completa consumirá aproximadamente entre 8 y 12 kg/Vapor/kWh.

Como siguiente paso, en nuestro caso en especial se realizó un pequeño estudio para obtener el consumo de HP de la fábrica, este pequeño estudio consistió en recurrir a los registros de consumo de kilowatt hora en el taller eléctrico de la fábrica, tomando un total de 3 días de zafra al azar y formar un promedio del consumo diario de kW/h, teniendo en cuenta lo anterior obtuvimos el dato de 11.485 kW/h por T.C.H. que si los convertimos a HP nos refleja un valor de 15.40 HP, considerando el valor anterior procederemos a realizar los cálculos anteriores, pero esta vez con los valores reales de fábrica, por lo tanto tendremos que: $\frac{15.40}{0.85 * 0.97} = 18.67 \text{ HP/T.C.H.}$

Para el cálculo del consumo de vapor para generar un HP se realizó un estudio parecido al anterior, esta vez los datos tomados fueron del área de calderas y del taller eléctrico de la fábrica; el estudio consistió en sacar un promedio de 3 días diferentes de generación de vapor y 3 días diferentes respecto a la generación de kW, para de esta forma sacar un promedio de ambas variables y después relacionarlas de la siguiente forma.

Promedio en kW/h: 64,939.5 kW/h = 87,050.268 HP

Promedio de vapor generado: 1,054,000 kg/h

Por lo tanto: $\frac{1,054,000}{87,050.268} = 12.10 \text{ kg de vapor por HP}$

Una vez obtenidos los datos anteriores, ya podemos calcular el **vapor generado**:

$$18.67 * 12.10 = 225.9 \text{ kg de vapor/T.C.},$$

De igual forma que en el ejemplo realizado con anterioridad, se procede a incluir las diferentes perdidas por turbogeneradores y por fugas en tuberías, y entonces el **vapor de escape recuperado será**:

$$M = 225.9 - 16.295 = 209.6 \text{ kg/T.C.}$$

Y de esta forma quedaría calculado el apartado del consumo de motores, reflejando como resultados los diferentes consumos de turbos, las diferentes perdidas que se manejan y más importante, el vapor de escape recuperado a la salida de los turbogeneradores.

CÁLCULO EN FABRICACIÓN.

A continuación, entraremos a los diferentes consumos de vapor en las áreas más importantes del proceso de fabricación de azúcar, de igual forma todos los datos están calculados por T.C.H. y utilizaremos diferentes datos calculados u obtenidos anteriormente, en su mayoría proporcionados por la tabla de datos inicial más en concreto en el apartado de “Consumo de vapor”.

Empezaremos proponiendo un ejemplo del funcionamiento del cálculo y posteriormente se desarrollarán las fórmulas reales de nuestro caso particular. Se propone un caso general de un múltiple efecto, en este caso un cuádruple efecto proporcionado con termocompresor para el primer cuerpo. El número de tomas no modifica evidentemente el equilibrio entre la cantidad de vapor emitido en cada calandria y la cantidad de agua que se evapora en el cuerpo.

Posteriormente calculamos el consumo de vapor del primer cuerpo con las siguientes fórmulas que serán entonces:

Vapor a 23 kg/cm^2 (dato obtenido del proceso de elaboración):

$$q = y/\mu$$

Donde:

q: es el consumo de vapor motriz del termocompresor

y: la cantidad de vapor absorbida por el termocompresor

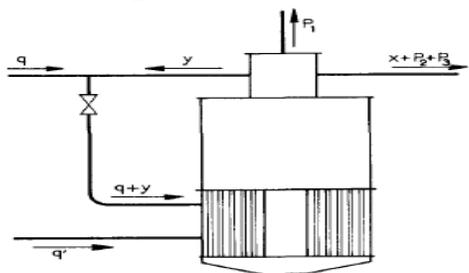
μ : la relación de arrastres; lo que quiere decir es que es la relación entre el peso del vapor aspirado y el peso del vapor

$$\text{motriz, } \mu = \frac{\text{peso de vapor aspirado}}{\text{peso de vapor motriz}}$$

Como nota importante para la realización de esta operación el valor de μ es estas condiciones es de orden 2, sustituyendo valores encontramos que:

$$q = \frac{200}{2} = 100 \text{ kg}$$

Para tener una idea más clara de cómo actúan las variables dentro del equipo, observe el siguiente esquema donde se ilustra con un poco más de detalle de donde surgen:



c. 393. Diagrama de operación en el primer efecto

Como siguiente paso, tomamos la presión en el siguiente cuerpo, es decir, vapor a 0.5 kg/cm^2 , ocupando una relación antes vista en la suma de vapor por cada cuerpo, en esta relación ya incluiremos el valor calculado de X, y por consiguiente:

$$q' = (x = 110) + 20 + 30 + 40 + 200 - 200 - 100 = 100 \text{ kg / T. C.}$$

Es decir, en total tendríamos que el gasto de vapor es: $q + q' = 100 + 100 = 200 \text{ kg/T.C.}$

Hasta aquí sería el procedimiento para el cálculo del múltiple efecto, pero para nuestro caso particular, tomaríamos acción sobre el cuádruple efecto y el quíntuple efecto, llegando a la solución:

De igual manera nos apoyaremos en las ecuaciones explicadas con anterioridad para aplicarlas en nuestro caso, empezando por calcular el agua evaporada tanto para el cuádruple efecto como para el quíntuple efecto, sin embargo nuestro cálculo se abstendrá de utilizar las ecuaciones connotadas para el apartado del termocompresor, debido a que los equipos actuales montados en el proceso real de elaboración en este caso cuádruples y quíntuples, no cuentan con accesorios o aditamentos como lo son el termocompresor o turbocompresor como en el caso del ejemplo anterior.

Entonces tendríamos que dejar en claro las condiciones de operación de los equipos en cuestión, dejando claro variables como presiones, temperaturas y haciendo uso de los valores reales del proceso de evaporación.

Ejemplo rápido con explicación del proceso y origen de fórmulas:

Se supondrá que en cada cuerpo, cada kilogramo de vapor entrando a la calandria evapora 1 kg de agua, sea entonces un cuádruple efecto sobre cuyos cuerpos se toma respectivamente, por T.C. las cantidades de vapor:

P_1 kg del 1er cuerpo = 40

P_2 kg del 2do cuerpo = 30

P_3 kg del 3er cuerpo = 20

P_4 kg del 4to cuerpo = x

Entonces se calcula la cantidad de agua evaporada (E) mediante la siguiente formula:

$$E = J \left(1 - \frac{B_j}{B_g} \right) = \text{Cantidad de agua evaporada en kg/T.C.}$$

Donde:

E= la cantidad de agua evaporada en kg/T.C.

J= Peso del jugo mezclado por T.C.

B_j = Brix del jugo claro

B_g = Brix de la meladura a salida del múltiple efecto

X = cantidad de vapor del último cuerpo al condensador

Como el último cuerpo evapora ($x+P_4$), debe recibir del 3er cuerpo una cantidad igual. El 3er cuerpo, que evapora ($x+P_4$)+ P_3 , deberá recibir del 2do esta misma cantidad ($x+P_4+P_3$). Asimismo, el primero deberá dar el 2do, $x+P_4+P_3+P_2$ y será necesario darle vapor de escape en una cantidad: $Q = x+P_4+P_3+P_2+P_1$

Entonces tenemos que la evaporación total dada por el cuádruple efecto ocupando valores de ejemplo mencionados anteriormente, tenemos que:

$$E = 1000 \left(1 - \frac{12}{60} \right) = 800 \text{ kg /T.C.}$$

Y ahora se calcula la distribución de esta evaporación en los diferentes cuerpos del sistema del múltiple efecto, llamando X a la evaporación en el último cuerpo del mismo:

$$\begin{aligned} &4\text{to cuerpo } x \dots\dots\dots (X+P_4) \\ &3\text{er cuerpo } x + 20 \dots\dots\dots (X+P_4+P_3) \\ &2\text{do cuerpo } x + 20 + 30 \dots\dots\dots (X+P_4+P_3+P_2) \\ &1\text{er cuerpo } x + 20 + 30 + 40 + 200 (X+P_4+P_3+P_2+P_1) \\ &E = 4x + 60 + 60 + 40 + 200 = 800 \end{aligned}$$

Puede verse entonces que la cantidad de agua evaporada por el cuádruple efecto es igual a:

- 4 veces la cantidad evaporada por el 4to cuerpo
- +3 veces la cantidad tomada por el 3er cuerpo
- +2 veces la cantidad tomada por el 2do cuerpo
- +1 vez la cantidad tomada por el 1er cuerpo

Igualando con la cantidad de agua evaporada calculada anteriormente y mediante un despeje sencillo obtenemos que:

$$X = \frac{800-360}{4} = 110$$

Datos para el cálculo:

Vapor requerido por el primer cuerpo (pre evaporador) = 43.64 kg/cm² y 260.6 °C

Quíntuple efecto:

Equipo	Presión (kg/cm ²)	Temperatura (°C)	Volumen (Litros)
Pre-evaporador	43.64	228.2	24,000
Primer cuerpo	20.45	231	15,000
Segundo cuerpo	13.36	219	9,800
Tercer cuerpo	13.36	194	9,800
Cuarto cuerpo	8.91	183.2	9,800
Quinto cuerpo	8.91	180.08	9,800

Cuádruple efecto:

Equipo	Presión (kg/cm ²)	Temperatura (°C)	Volumen (Litros)
Pre-evaporador	43.64	228.2	24,000
Primer cuerpo	19.89	219	12,500
Segundo cuerpo	9.07	194	5,700
Tercer cuerpo	9.07	183.2	5,700
Cuarto cuerpo	9.07	70	5,700

Una vez obtenidos los datos de operación, podemos realizar los cálculos necesarios para obtener los datos de consumo de vapor, empezando por la cantidad de agua evaporada por el cuádruple efecto, seguido de la cantidad evaporada por el quintuple.

$$E = 954.18 \left(1 - \frac{14.84}{60.58} \right) = 720.43 \text{ kg/T. C.}$$

Distribución de evaporación:

4to cuerpo: X

3er cuerpo: X + 9.07

2do cuerpo: X + 9.07 + 9.07

1er cuerpo: $\frac{X + 9.07 + 9.07 + 19.89 + 43.64}{4}$

$$4x + 27.21 + 18.14 + 19.89 + 43.64 = 720.43$$

De donde: $X = \frac{720.43 - 108.88}{4} = 152.887 \text{ kg/cm}^2$

El consumo de vapor del primer cuerpo será entonces:

Con vapor a 19.89 kg/cm²:

$$q = \frac{43.64}{2} = 21.82 \text{ kg de vapor}$$

Tachos

El peso de la meladura es: $S = J - E$

Dónde: S = Peso de la meladura

J = Peso del jugo mezclado por T.C.

E = Peso del agua evaporada

Entonces tenemos que:

$$S = 954.18 - 720.43 = 233.75 \text{ kg/T. C.}$$

Y el consumo de las templeas mediante la fórmula:

$$C = S \left(1 - \frac{\text{Brix de entrada al tacho}}{\text{Promedio de Brix por templea}} \right) 1.5$$

Dónde: 1.5 es la relación de consumo de vapor y la evaporación de agua que contiene la meladura

Aplicando la formula anterior encontramos entonces que:

$$C = 233.75 \left(1 - \frac{60.58}{96} \right) 1.5 = 129.366 \text{ kg/T. C.}$$

Calentadores

Para el consumo de vapor de escape de calentadores, encontramos que:

$$R = \frac{PJP \times CE \times (TCJ - TEJ)}{KJS \times CTC} + \frac{PJS \times 0.9 \times (TCJ - TEJ)}{KJS \times CTC}$$

Donde:

R = consumo de vapor de escape por los calentadores primarios y secundarios

PJS = Peso del jugo primario

CP = Calor específico = 1 - 0.006Brix de entrada

TCJ = Temperatura de calentamiento de los jugos primario y secundario

TEJ = Temperatura de entrada de los jugos

KJS= kilocalorías por kg a la temperatura de salida de los jugos

CTC= Coeficiente de transmisión de calor del orden 0.95

PJS = Peso del jugo secundario

Aplicando la formula anterior encontramos los siguientes valores:

$$R = \frac{1050.34 \times 1 - (0.006 * 14.84) \times (110 - 98)}{532.4 \times 0.95} + \frac{525.17 \times 1 - (0.006 * 14.84) \times (110 - 98)}{532.4 \times 0.95}$$

$$R = 22.70 + 11.350 = 34.06 \text{ kg de vapor/T.C.}$$

El consumo total de la fabricación es entonces:

Evaporación	q	21.82 kg/T.C.
Tachos	C	129.366 kg/T.C.
Calentadores	R	<u>34.06 kg/T.C.</u>
		185.246 kg/T.C.

Falta agregar los siguientes gastos:

Lavado de las centrifugas = 20 kg%

 Kg de azúcar ≈ 20 kg/T.C.

20 kg/T.C.

Michaelis, sopladores de hollín, lavado de los filtros, calentamiento de las mieles, etc.

25 kg/T.C.

Pérdidas por condensación, fugas, trampas de vapor, válvulas, etc.

40 kg/T.C.

270.246 kg/T.C.

Consumo de vapor de los motores primarios.

(a) **Fabricas electrificadas.**

El consumo de vapor de las turbinas puede calcularse.

Ejemplo. Un turbogenerador toma vapor a 22 kg/cm² y 350°C; su escape está a 600 g/cm², el consumo de vapor está dado en la tabla 186.

TABLA 186. CONSUMO DE VAPOR DE UN TURBOGENERADOR (22 kg — 600 g)

Consumo	a 1/2 carga	a 3/4 carga	a carga completa
kg de vap/kWH	11.6	10.8	10
kg de vap/H.P.H.	8.5	7.9	7.4

(b) **Fabricas no electrificadas.**

El consumo de vapor de los motores de vapor, varía considerablemente de acuerdo con las condiciones y la presión de éste. Puede calcularse de la gráfica a continuación y en la tabla de abajo se presentan algunos ejemplos.

TABLA 187. EJEMPLOS DEL CONSUMO DE VAPOR EN LOS MOTORES

Tipo de motor	Admisión	Escape	Consumo
Corliss	8 kg/cm ² sat.	0,5 kg/cm ²	14 kg/C. V. H.
Válvula múltiple	15 — 250°	0,7 —	9,5 —

Los consumos más altos de vapor son los de las bombas de acción directa dúplex, que necesitan por lo menos 35 y a veces hasta 45 y 50 kg/H.P.H. En la practica el cálculo del consumo de vapor de los motores debe hacerse considerándolos uno por uno, dando a cada cual su consumo propio.

Pérdidas. Como se indicó en los cálculos numéricos anteriores, deben tomarse en cuenta dos tipos de pérdidas:

- (a) *Pérdidas en los motoras* por condensación, fugas en las válvulas, etc. Pueden tomarse las cifras en la tabla siguiente:

TABLA 188. PERDIDAS DE VAPOR EN LOS MOTORES

Turbinas de vapor	1/20 del consumo
Motores de vapor ligeramente sobrecalentado	1/10 del consumo
Motores de vapor saturado	1/6 del consumo

Estas pérdidas tienen lugar entre la admisión y el escape del vapor.

- (b) *Tuberías.* Las pérdidas de vapor en las tuberías son por las fugas en las juntas, etc. Se estima que en una fábrica debe tener aproximadamente 5 m²/T.C.H. de superficie en las tuberías de alta presión y otro tanto en las de escape. Es decir, un total de 10 m²/T.C.H.

Si estas tuberías están desnudas, perderán:

En el escape: 1 200 kcal/m²/h = 10 kg de vapor/T.C.

En la alta presión: 3 600 kcal/m²/h = 30 kg de vapor/T.C.

Si están recubiertas de material aislante, perderán en promedio 300 kcal/m²/h es decir, aproximadamente 5 kg de vapor/T.C.

- (c) *Múltiple efecto.* Si se estima que un evaporador de *n* efectos evapora *n* kg de agua por kilogramo de vapor admitido en el primer efecto, deben tomarse en cuenta las pérdidas que ocurrirán necesariamente por la radiación y por la convección. Sin embargo, este sería el caso de un múltiple efecto aislado cuidadosamente. Si este no es el caso, ya se ha visto antes, que las pérdidas deben calcularse.

Consumo de vapor por tonelada de caña.

El consumo de vapor por T.C., varía en porciones amplias de acuerdo con que la fábrica esté electrificada o no, según el grado de economía de vapor que se alcanza en la elaboración, es decir, si se trabaja en triple, cuádruple o quíntuple efecto: de acuerdo con el uso que se haga de vapores del evaporador; de acuerdo con el uso o no de la termocompresión, etc.

Los consumos más altos de vapor, se alcanzan cuando se fabrica azúcar blanca, con evaporación en triple efecto y con un uso extenso de vapor directo para las bombas. En este caso, el consumo de vapor puede llegar al 70-80% de la caña.

Las fábricas modernas, con planta eléctrica que alimenta a las pequeñas unidades y particularmente a las bombas, y en las cuales se haya tenido especial atención en el uso del vapor, pueden reducir su consumo de vapor hasta el 50-60% de la caña.

Cuando se emplea un quintuple efecto y se hace uso de todas las autoevaporaciones, y todos los calentamientos posibles se llevan a efecto con vapor del evaporador, si se emplea la termocompresión o la evaporación a presión y el vapor es sobrecalentado y a alta presión, el consumo puede bajar hasta 40-50% de la caña.

En una fábrica moderna de 80 T.C.H., moderna con turbinas de vapor, totalmente electrificada, con excepción de los molinos, con un contenido de fibra en la caña del 12.5%, un rendimiento de azúcar del 12.66% y una eficiencia en las calderas de 66.7%, se estima que:

Potencia eléctrica necesaria para los motores: 10 kWh/T.C. = 13.4 H.P. /T.C.

Consumo de vapor para la elaboración: 525 kg/T.C. = 52.5% de la caña.

Variaciones del consumo de vapor.

Las variaciones de las necesidades momentáneas del vapor, en una fábrica de azúcar, se deben a factores diversos de los cuales solo uno, en la práctica, es inevitable: las variaciones del consumo de vapor en los tachos. Ya se ha visto las tremendas variaciones de la velocidad de evaporación al principio y al fin de una templa. Dado que el número de tachos es generalmente entre 4 y 6, estas variaciones individuales tienen un efecto muy notable en el consumo general de vapor de la fábrica.

Para los tachos, puede estimarse aproximadamente, una variación total del 50% (en otras palabras, de 50 a 150 si el consumo medio es de 100). De acuerdo con los valores de brix adoptados para la meladura, las cantidades de agua de dilución y de lavado, etc., sumadas en este departamento de tachos, el consumo total de vapor en este departamento variara del 5 al 10% de la caña.

Debe observarse que es preferible expresar esta variación en porcentaje de caña y no en porcentaje de consumo total de vapor, porque, en la práctica, esta variación sólo se relaciona con las variaciones del consumo de vapor en los tachos. Esta representa, en por ciento del consumo total de vapor, entre ± 10 y $\pm 20\%$.

Potencia total. Igualmente, la potencia total consumida por la fábrica, es bastante variable. Se estima que: 18 H.P. /T.C.H. ó de 25 H.P. /T.C.H.

Pero este último valor se observa que es necesario calcularlo en cada vaso, porque difiere notablemente entre diversas instalaciones, la estimación un poco más general es de 18 a 25 H.P. /T.C.H.

Influencia de la electrificación. Es conveniente aclarar que la electrificación en sí, no representa economía del vapor. Necesita tres transformaciones de energía (energía térmica a mecánica, mecánica a eléctrica, eléctrica a mecánica) que afecta el consumo de vapor en cada caso, perdiéndose el beneficio de la alta eficiencia termodinámica de la turbina de vapor.

Por ejemplo, los cálculos de balance de vapor hechos para una fábrica con molinos movidos con vapor, motor de vapor para el sistema de vacío central y planta eléctrica para las bombas y las pequeñas unidades aisladas, en la que los motores de vapor fueron de válvulas múltiples trabajando a 15 kg/cm² con vapor ligeramente sobrecalentado, a 250°C, da un consumo de vapor total apenas un poco mayor que el de una fábrica electrificada: 470 kg/T.C.

La verdadera economía de vapor producida por la electrificación, está en el cambio de las bombas de acción directa y de las pequeñas unidades aisladas. Este es el mejoramiento más importante y el primero que debe llevarse a cabo.

Distribución general del circuito de vapor.

El circuito de vapor más simple, en una fábrica moderna, consiste en producir vapor en calderas de alta presión y expandirlo a la presión necesaria para la elaboración en los turboalternadores (T.A.) que producen la energía eléctrica necesaria para la fábrica.

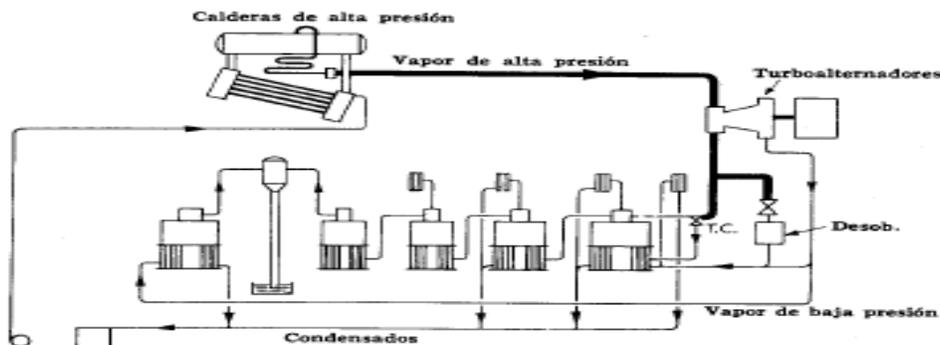


FIG. 394. Circuito de vapor número 1

Dado que la cantidad de vapor de escape producido por la planta eléctrica es insuficiente, el circuito de alta presión se conecta al circuito de baja presión a través de un reductor de sobrecalentador de vapor que proporciona el vapor complementario necesario. Finalmente, el circuito de alta presión debe conectarse al termocompresor (T.C.). En el caso en que los molinos no estén electrificados debe haber un circuito de presión media para los motores de vapor. Se tiene una alternativa entre dos arreglos para los turbogeneradores. Pueden instalarse para trabajar con una caída de presión AP/PM, o alternativamente para una caída entre AP/BP (como se ve en la figura siguiente). Estas dos soluciones son prácticamente equivalentes desde el punto de vista termodinámico, pero la segunda es mucho más conveniente, porque permite la posibilidad de una electrificación total.

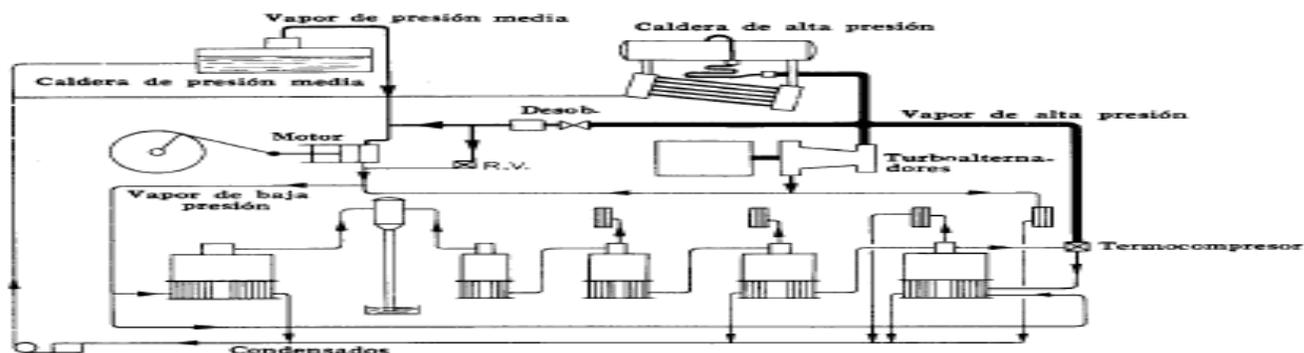


FIG. 395. Circuito de vapor número 2

Debe instalarse un reductor-desobrecalentador entre la alta presión y la presión media; sin embargo, es suficiente un simple reductor entre los dos circuitos señalados.

Elección de la presión del vapor

En una fábrica de azúcar hay tres presiones principales de vapor:

- (a) El vapor de alta presión, para la planta eléctrica.
- (b) El vapor de presión media, para los motores recíprocos.
- (c) El vapor de baja presión, para la elaboración.

Elección del vapor de alta presión.

Para lograr una operación económica de las turbinas, es necesario que esta presión se encuentre entre 16 y 40 kg/cm². A menos de 16 kg/cm² el consumo de vapor de las turbinas aumenta rápidamente. De la misma manera el dominio de los motores recíprocos llega hasta 15 kg/cm². Si este límite no se excede, se tendrán todas las ventajas tanto desde el punto de vista del primer costo de instalación como del consumo de vapor, siempre que se cuente con un motor de válvula múltiple trabajando a 15 kg/cm² con un ligero sobrecalentamiento de 250°C. Sobre 40 kg/cm², los costos de la instalación debidos al valor de las calderas, que aumentan rápidamente con la presión, reducen con rapidez el valor de la economía de vapor. Deben conservarse las condiciones generales que se muestran en la siguiente tabla.

TABLA 189. CONDICIONES OPTIMAS DEL VAPOR DE ALTA PRESION EN LAS FABRICAS DE AZUCAR

18 kg/cm ²	—	300 a 350° C:
20	—	325 a 375 C:
25	—	350 a 400 C:
30	—	375 a 425 C:

Comparando estos cuatro valores, se observa que sus ventajas se compensan unas con otras y, en opinión del autor, la elección no tiene sentido.

Elección de la presión media.

La presión media es más interesante por el uso del vapor en los motores recíprocos. Para obtener una operación económica en estos, es necesario que la presión se encuentre entre 6 y 15 kg/cm².

Las presiones más altas (12 a 15 kg/cm²) sólo son convenientes en las fábricas que tienen motores grandes, especialmente cuando los molinos no son de mando eléctrico. En estas condiciones, pueden obtenerse economías de operación particularmente provechosas.

No debe usarse una presión menor de 6 kg/cm², porque el consumo de vapor de los motores recíprocos aumenta rápidamente debajo de este límite.

Conclusión

Gracias al balance térmico y a los cálculos establecidos pudimos concluir el destino que lleva el vapor por cada área o aparato que requiera este tipo de energía.

Las variables a obtener como lo son producción de vapor, valor calorífico superior, pérdidas de calor en la chimenea, cantidad de calor recuperado en el vapor, consumo de vapor, cálculo en fabricación, fabrica electrificada como la fabrica no electrificada se pudieron obtener gracias al balance implementado y gracias a ello los resultados necesarios para la fabrica se pudieron encontrar con la ayuda de dichos cálculos

Referencias bibliográficas

1. Yunus A. Cengel. Transferencia de Calor. Ed. Mc Graw Hill.
2. Frank P. Incropera & David P. De Witt. Fundamentos de Transferencia de Calor (4ª. Edición) Ed. Prentice Hall, México, 1999.
3. J. A. Manrique. Transferencia de Calor (2ª. Edición) Ed. Alfaomega, México 2002.
4. J. R. Welty. Transferencia de Calor aplicada a la ingeniería. Ed. LIMUSA, 1988.
5. Y. Pysmenny, G. Polupan, I. Carvajal, F. Sánchez. Manual para el cálculo de Intercambiadores de calor y bancos de tubos aletados. Ed. Reverté. México, 2007.
6. Donald Q. Kern, Procesos de Transferencia de Calor. C.E.C S.A., México 1981 (ISBN 968-26-1040-0)
7. Necati Özisik, M., Transferencia de Calor. Ed. McGraw Hill Latinoamericana S.A, 1975. (ISBN 0-07-091944-5)
8. B. V. Karlekar & R. M. Desmond. Transferencia de Calor. Ed. Interamericana. México, 1985.
9. Alan J. Chapman. Transmisión de Calor. Ed. Bellisco (3ª ed. amp. y act.).
10. ISBN: 8485198425
11. Anthony F. Mills. Transferencia de Calor. Ed. Irwin. ISBN: 8480861940.
12. Holman, J. P. Transferencia de Calor. Editorial CECSA. México, 1989
13. C:/MANUAL%20PARA%20INGENIEROS%20AZUCAREROS%20EN%20ESPA%C3%91OL.pdf
14. C:/MANUALES%20PDF/Handbook%20of%20Cane%20Sugar%20Engineering%20Hogot.pdf
15. C:/MANUALES%20PDF/Calderas-a-Bagazo.pdf
16. C:/MANUALES%20PDF Tablas / _de_vapor_de_agua.pdf
17. C: Manual de contabilidad azucarera.
18. <https://miguelhadzich.com/wp-content/uploads/2012/10/Tablas-Termodin%C3%A1mica-completas-Hadzich.pdf>
19. <https://www.armstronginternational.com/es/tablas-de-vapor>
20. <http://www.quitecsa.com/phocadownload/Balances%20de%20Vapor%20y%20Energ%c3%ada%20en%20Ingenios%20Azucareros.pdf>
21. FERNANDEZ-PEREZ, Vladimir Damián, MIRANDA-SANCHEZ, Francisco Javier, FERNANDEZ-GOMEZ, Tomas. "Metodología para Diseño Mecánico Utilizando Realidad Aumentada como Herramienta de Aprendizaje," "Methodology for Mechanical Design Using Augmented Reality as a Learning Tool," 19th ECORFAN@ International Conference - Science, Technology and Innovation, 13 December, 2022.

Polarización Óptica Para La Determinación de Bandas Raman de Miel del Estado de Campeche

Dr. Aarón Flores Gil¹, Dra. Magdalena Bandala Garcés², Dra. Olena Benavides³,
Dr. Lelio de la Cruz May⁴, y Dr. Juan Gabriel Flores Trujillo⁵

Resumen—La tecnología láser de espectroscopía Raman es no inclusiva y permite la determinación de propiedades de materiales orgánicos como la miel, por medio de vibraciones y rotaciones moleculares sin alterar o destruir la estructura interna de la muestra de estudio. Esta tecnología recientemente se ha utilizado como alternativa para definir algunas bandas espectrales que están relacionadas con posibles nutrientes o composición química de la miel, tal como la Fructuosa, Glucosa y Sucrosa, junto con el polen, agua, aminoácidos y minerales. Sin embargo, hemos encontrado que algunas bandas son apreciables, o bien desaparecen bajo ciertos ángulos de polarización, que finalmente pudieran influir para definir la calidad de las mieles. En este trabajo se presentan las bandas Raman espectrales en la región de 400-1600 cm⁻¹ de muestras de mieles del estado de Campeche, obtenidas bajo la acción de un láser infrarrojo de 785 nm, y la inclusión de polarización óptica. Se mostrará el comportamiento de las bandas Raman principales de la miel en función del ángulo de polarización, que pudieran ser utilizadas como pruebas de diagnóstico de la calidad de la miel.

Palabras clave—Miel de Campeche, láser infrarrojo de 785 nm, espectroscopía Raman, Polarización.

Introducción

La miel es un producto orgánico compuesto con una gran variedad de nutrientes que, hacen difícil determinar su calidad en base a una sola componente, un solo parámetro o a través de una sola técnica. No obstante, el estado de Campeche se caracteriza por ser uno de los principales productores de miel a nivel nacional, con una calidad altamente reconocida a nivel mundial; es un producto de exportación, siendo el mercado europeo uno de los principales compradores. Se utiliza como complemento alimenticio, para ceras, productos médicos, entre otros.

Tradicionalmente, la determinación del origen botánico de la miel se realiza por el polen (mellisopalynologia) presente en la miel. Este método se basa en la identificación del polen por examen de microscopio, y requiere de la experiencia del analista. Se consumen tiempos muy largos y es totalmente dependiente de la habilidad e interpretación del experto. Por lo cual se requiere de nuevos métodos que no sean totalmente dependientes de la opinión del analista y a la postre sujeto a una opinión poco confiable Corbella E. and Cozzollino D. (2008). Nuevas técnicas para el análisis de las mieles incluyen: análisis de conductividad eléctrica y métodos fisicoquímicos como cromatografía de líquidos, electropéresis y Resonancia Magnética Nuclear, incluso por métodos denominados de reconocimiento de patrones por coloración de la miel para determinar contenido de cenizas y actividad antioxidante Sahameh. S. et al. (2014). También métodos óptico-químicos se han empleado para determinar el origen botánico de la miel, sugiriendo que la miel consiste principalmente de tres azúcares que son: la Fructuosa, Glucosa y Sucrosa, junto con el polen, agua, aminoácidos y minerales, Fernández Pierna J. A. et al. (2005), Royston G. et al. (2002), Strehle M. A. et al., (2003)

En los últimos años se ha aplicado la tecnología de láser Raman espectroscopía como un método no inclusivo y no destructivo que, al incidir la radiación láser a cierta potencia, se induce rotaciones y vibraciones en el dipolo de las moléculas que componen las muestras de miel.

La espectroscopía Raman es un método óptico-químico que registra las vibraciones de ligadura de grupos funcionales, a través de la medición del intercambio de energía con radiación electromagnética a una longitud de onda particular (por ejemplo, el láser infrarrojo a 785 nm como el que se utilizó en este trabajo). Sin embargo, efectos como la fluorescencia y cristalización de las mieles, no hacen sencilla el registro de las bandas Raman de las componentes moleculares de las muestras de estudio. Para evitar estas dificultades derivadas de esto efectos, se han reportado

1 El Dr. Aarón Flores Gil es Profesor investigador en la Universidad autónoma del Carmen, Ciudad del Carmen, Campeche, México aflores@pampano.unacar.mx (autor corresponsal).

2 La Dra. Magdalena Bandala Garcés es Profesora investigadora en la Universidad autónoma del Carmen, Ciudad del Carmen, Campeche, México mbandala@pampano.unacar.mx

3 La Dra. Olena Benavides es Profesora investigadora en la Universidad autónoma del Carmen, Ciudad del Carmen, Campeche, México obenavides@pampano.unacar.mx

4 El Dr. Lelio de la Cruz May es Profesor investigador en la Universidad autónoma del Carmen, Ciudad del Carmen, Campeche, México ldelacruz@pampano.unacar.mx

5 El Dr. Juan Gabriel Flores Trujillo es Profesor investigador en la Universidad autónoma del Carmen, Ciudad del Carmen, Campeche, México jgflores@pampano.unacar.mx

experimentos en los que se incluye ya sea agua destilada o bien alcohol a distintas concentraciones Muller. Molnar, C. et al. (2020). Estos experimentos denotan cambios en la intensidad de bandas características de las mieles, así mismo como la presencia de bandas a intensidades relativamente bajas de algunas componentes moleculares a ciertas concentraciones tanto de agua destilada o de solventes como el alcohol.

En concordancia con este congreso de Academia Journals Puebla 2023, el propósito de este trabajo es implementar la polarización óptica a la tecnología Raman como una alternativa para analizar el comportamiento de bandas Raman a diferentes ángulos de polarización que pudieran ser útiles para determinar la calidad de las mieles. Vale la pena comentar que hasta donde es nuestro conocimiento, no hay reportes sobre estudios de polarización de las mieles orgánicas con espectroscopía Raman, salvo el reporte en su tesis de Maestría de Saucedo Orosco I. (2012), que realizó estudio de polarización para mieles comerciales. Por otro lado, realizar lecturas por espectroscopía Raman, representa la colección de una gran cantidad de datos, por lo que por lo pronto en este artículo se presenta la metodología empleada a una muestra representativa del Estado de Campeche, específicamente de la región de Calakmul. Por otro lado, también vale la pena comentar que el diseño experimental que se presenta en este artículo es bajo la configuración de 90 grados y permite registrar las bandas Raman suprimiendo el efecto de la fluorescencia.

El propósito de este trabajo es aplicar el método de láser de espectroscopia Raman y complementar este método con polarización óptica para validar los cambios en intensidad de bandas Raman características de la miel en relación con el ángulo de polarización, que consideramos puede ser relevante para una clasificación certera de las mieles del Estado de Campeche. Aunque bien vale la pena comentar que esta metodología de polarización Raman requiere de un análisis extenso, por lo que solo se presenta el estudio correspondiente para una sola muestra de miel,

Este artículo consiste en la introducción en su primera sección. En la segunda sección se muestra el diseño experimental. En la tercera sección los cambios de bandas Raman características de la miel con respecto al ángulo de polarización. En la cuarta sección resultados obtenidos, y finalmente en la sección cinco se muestran las conclusiones de este proyecto.

Descripción del Método

Diseño óptico

El diseño óptico está considerado como un arreglo de 90 grados, en los cuales la dirección del haz del láser incidente es perpendicular al receptor o espectrógrafo ver Ferraro (2003) y Somerville et al. (2010). El diseño consiste de un porta-muestras que es un contenedor cubico de 2.5 cm por lado, en el cual es posible colocar muestras de miel contenidas en celdas cilíndricas de no más de 1.5 de radio. En la Figura 1, se muestra una vista “superior” del diseño óptico. Se puede apreciar que el láser a 785 nm incide sobre la muestra en la dirección vertical, se colocaron espejos en caras laterales del cubo. La idea de los espejos es concentrar la mayor cantidad de fotones sobre la muestra para inducir la emisión Raman. Por otro lado, perpendicular a la dirección del láser se recoge la emisión Raman con una lente de 1.5 cm de distancia focal. Esta emisión sigue su trayectoria pasando por el polarizador, y finalmente se registra en el espectrógrafo QE65000 configurado para registrar la emisión Raman a 785 nm.

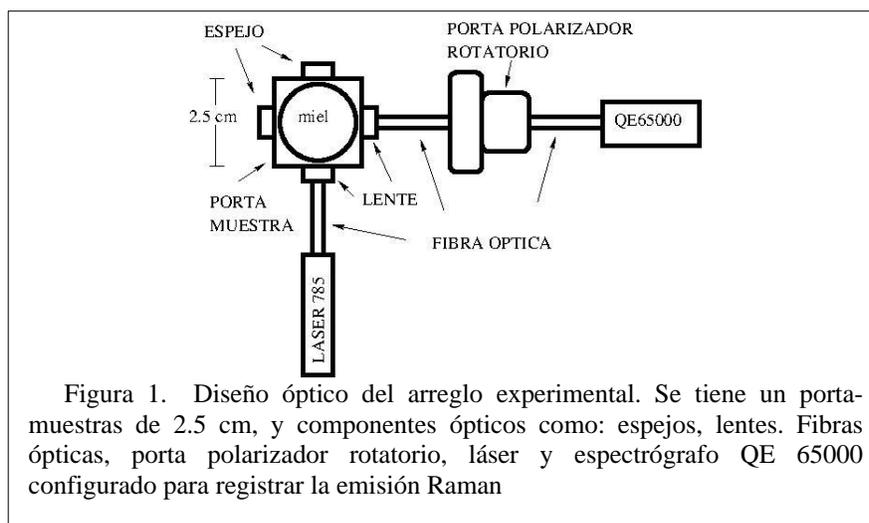
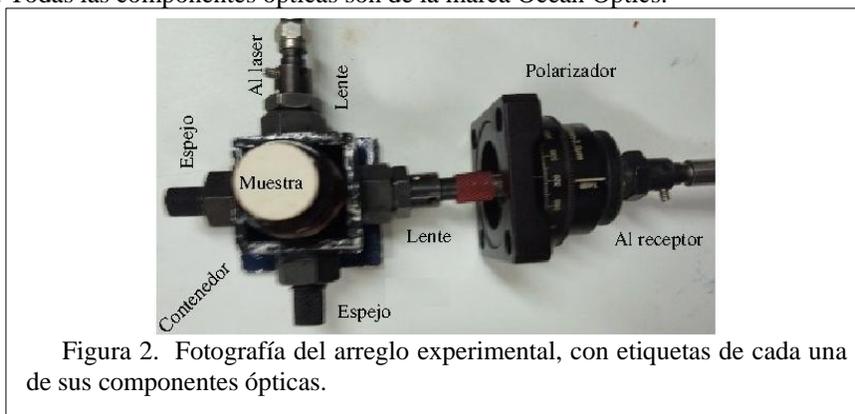


Figura 1. Diseño óptico del arreglo experimental. Se tiene un porta-muestras de 2.5 cm, y componentes ópticos como: espejos, lentes. Fibras ópticas, porta polarizador rotatorio, láser y espectrógrafo QE 65000 configurado para registrar la emisión Raman

Montaje experimental

En la Figura 2, se muestra una fotografía real del arreglo experimental. El porta-muestras se construyó con láminas de aluminio de 2 mm de grosor. Las lentes biconvexas de 1.5 mm de distancia focal, una para excitación, y perpendicular a esta una de colección. Las lentes tienen conectores SMA para fibra óptica. Se utiliza una fibra óptica de excitación de 200 μm de núcleo de plástico, y una fibra óptica de colección (al espectrógrafo), de 100 μm de núcleo de plástico también. Finalmente se tiene el porta filtro polarizador, con un filtro Notch de densidad óptica 4 a 785 nm, y polarizador lineal, ambos de 25 mm de diámetro, con lente y conector SMA para la fibra óptica del detector. El láser a 785 nm de fábrica es polarizado linealmente, mientras que el espectrógrafo QE 65000 está configurado para lecturas de emisión Raman. Todas las componentes ópticas son de la marca Ocean Optics.



Espectros Raman de la miel

Bandas Raman de la miel

En un esquema de análisis por polarización, se requiere de una fuente de radiación no polarizada, un polarizador lineal en una base fija, al cual se le denomina polarizador, y un polarizador lineal en una base rotatoria, al cual se le denomina analizador. En nuestro diseño, como ya se describió en el apartado anterior, el láser a 785 nm está polarizado linealmente, por lo que sólo requerimos del analizador. En nuestros experimentos, el láser a una potencia de 30 mW incide sobre la miel, induce emisión Raman, la cual se registra por el detector, no sin antes pasar por el analizador. En la Figura 3, se muestran los espectros Raman para cada ángulo de rotación del analizador, en este caso particular con espectros de 0° a 180°. Esto es, se registra el espectro a la referencia 00, se rota el analizador 30°, y se registra el espectro, posteriormente se fija el analizador en 60°, se registra el espectro. Así sucesivamente hasta completar el ciclo completo de 360°. En el extremo derecho de la Figura se tienen las etiquetas correspondientes a los ángulos de 0° a 180°.

Cada espectro que se muestra en la Figura 3, representa el promedio de 75 espectros obtenidos en un intervalo de 15 segundos. Esto, con el propósito de buena calidad de señal a ruido, para garantizar que los cambios registrados sean reales y no debido a ruido instrumental, o fluorescencia. La ventana espectral en la que se muestran los espectros corresponde a la ventana denominada “huella digital” de la miel, de 400 cm^{-1} a 1800 cm^{-1} .

Cabe mencionar que este proyecto está en la primera fase, y consiste precisamente en validar si las bandas Raman características de la miel son diferentes para cada ángulo de polarización. O bien, si las bandas Raman cambian de intensidad con respecto a la rotación del analizador.

Por inspección visual de la Figura 3, se puede apreciar las bandas en la vecindad de 1064 cm^{-1} , 1266 cm^{-1} , 1367 cm^{-1} , y 1460 cm^{-1} se asocian a la glucosa, las bandas en la vecindad de 708 cm^{-1} y 424 cm^{-1} se asocian a la fructuosa y glucosa, la banda 515 cm^{-1} se atribuye a la fructuosa. Otras bandas que se pueden asociar a la fructuosa se localizan en las bandas de 979 cm^{-1} , 865 cm^{-1} , 822 cm^{-1} , y 630 cm^{-1} , mientras que las bandas de la glucosa se pueden encontrar en la vecindad de 1127 cm^{-1} , 916 cm^{-1} y 777 cm^{-1} .

En general también por inspección visual se puede apreciar cambios en la forma de las bandas espectrales, como las encerradas en las elipses del intervalo espectral de 600-850 cm^{-1} (elipse 1), del intervalo espectral de 1020-1200 cm^{-1} (elipse 2), y las del intervalo de 1350-1400 cm^{-1} (elipse 3). En la elipse 1 se puede apreciar un pico de intensidad baja solo en los espectros de 150° y 180°. La banda a 650 cm^{-1} , cambia su forma e intensidad para cada ángulo de rotación del analizador. Mientras que la banda a 680 cm^{-1} , cambia sólo su intensidad en cada ángulo de rotación. En la elipse 2, la bandas de 1650 cm^{-1} y 1130 cm^{-1} cambian su intensidad con el ángulo de rotación. Finalmente, en la elipse 3, la banda centrada en 1380 cm^{-1} parece ser la superposición de al menos dos bandas ya que hay cambios en la forma e intensidad de esta banda espectral con el ángulo de rotación del analizador.

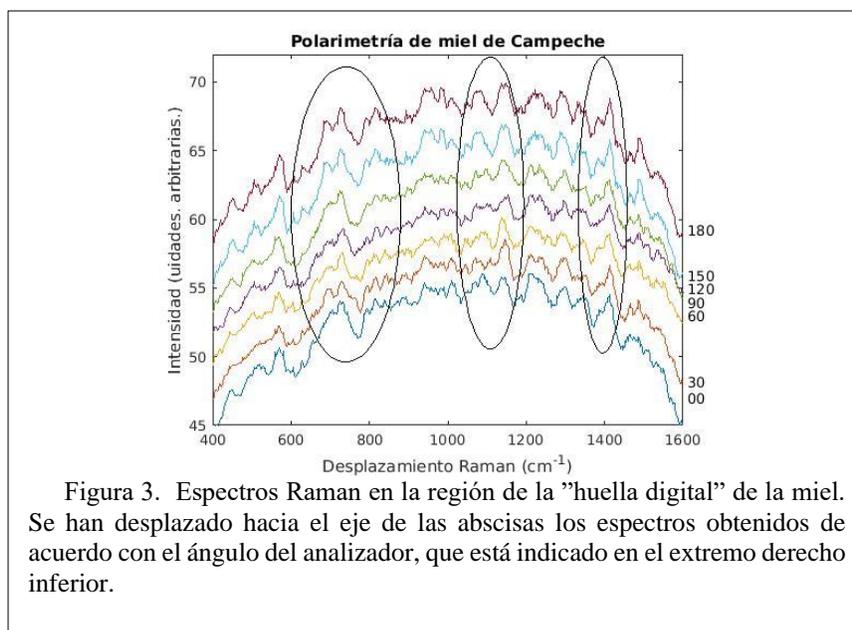


Figura 3. Espectros Raman en la región de la "huella digital" de la miel. Se han desplazado hacia el eje de las abscisas los espectros obtenidos de acuerdo con el ángulo del analizador, que está indicado en el extremo derecho inferior.

Resultados

En el Cuadro 1, se presentan las características de las bandas espectrales registradas en nuestros experimentos. En primer lugar, se indica la región central de la banda Raman, la intensidad de la misma, y el tipo de vibración molecular que se puede encontrar en la literatura. Cabe mencionar que la intensidad de las bandas Raman se definen como el área bajo el perfil de línea, el cual se calculó con la tarea de Matlab *ipeak*, O'Haver T. (2023).

Número de Onda (cm ⁻¹)	Intensidad	Tipo de Vibración
420	Alta	Deformación de C-C-O y C-C-C
515	Alta	Deformación de C-C-O y C-C-C
586	Alta	Vibración esquelética
622	Débil	Deformación-Aro
899	Débil	Deformación de C-H
972	Regular	Desconocido
1070	Fuerte	Estirado de C-O
1144	Fuerte	Deformación de C-H-O, vibración de C-N (proteína o aminoácido)
1262	Fuerte	Deformación de C-C-H, O-C-H y C-O-H, vibración de Amide III
1374	Fuerte	Deformación simétrica en el plano de CH ₂
1454	Fuerte	Deformación simétrica en el plano de CH ₂

Cuadro 1. Identificación y tipo de vibración de las principales bandas Raman de la miel, en la región espectral de 400-1800 cm⁻¹.

Ley de Malus

El comportamiento por polarización lineal se define por la denominada Ley de Malus, la cual es una función analítica definida por:

$$I = I_0 \cos^2(\theta) \tag{1}$$

Donde I_0 es la intensidad de la banda Raman a $\theta = 0$, y θ es el ángulo de rotación del analizador.

Con el propósito de validar si los cambios presentados en este trabajo son directamente proporcionales a la rotación del analizador, y por consiguiente estos cambios obedecen a la ley de Malus, se eligieron las bandas a 1070 cm^{-1} , 1140 cm^{-1} , y 1410 cm^{-1} , para analizar este comportamiento. En la Figura 4, se muestran los cambios de la intensidad de estas bandas respecto al ángulo de rotación del analizador de 0° a 360° , se puede apreciar que las bandas 1070 cm^{-1} y 1140 cm^{-1} , se pueden ajustar a la tendencia que marca el ajuste de la ley analítica de Malus.

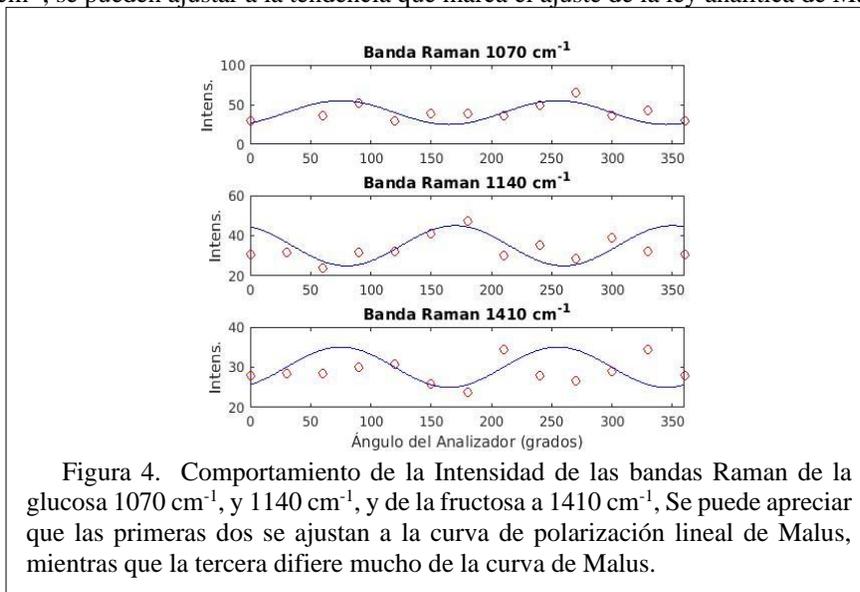


Figura 4. Comportamiento de la Intensidad de las bandas Raman de la glucosa 1070 cm^{-1} , y 1140 cm^{-1} , y de la fructosa a 1410 cm^{-1} , Se puede apreciar que las primeras dos se ajustan a la curva de polarización lineal de Malus, mientras que la tercera difiere mucho de la curva de Malus.

Mientras que los cambios de banda de 1410 cm^{-1} no del todo se ajustan a la ley de Malus. Esto posiblemente que esta banda espectral contiene una sub-banda superpuesta que pudiera ser debido a otra componente molecular de la propia miel, o bien otra componente debido a una posible adulteración. Por lo que se requiere de aplicar la metodología de este trabajo, a mayor cantidad de muestras de miel, para tener una explicación certera de estas componentes espectrales.

Conclusiones

El diseño experimental mostrado en este trabajo permite la supresión de la fluorescencia, y se resaltan las bandas Raman que son representativas de miel orgánica. Se permite realizar mediciones a potencia de la miel relativamente baja (no más de 30 mW), y tiempos de exposición cortos (70 segundos). Además es posible realizar mediciones de polarización lineal. De tal forma que se puede apreciar el comportamiento de ciertas bandas en función del ángulo de rotación del analizador. Se encuentra que para ciertas líneas su intensidad varía de acuerdo a la polarización lineal esperada, y se ajustan a una ley de Malus de polarización lineal. Mientras que otras no se ajustan a esta ley analítica. Por otro lado, algunas bandas de menor intensidad aparecen sólo en ciertos intervalos del ángulo de rotación. Se encuentra incluso que otras bandas tienen un comportamiento azaroso, ya que en realidad corresponden a la convolución con otras bandas espectrales.

Trabajo a futuro

Se requiere por supuesto de aplicar la misma metodología de espectroscopía Raman con polarización para mayor cantidad de muestras de miel, para realizar estudios comparativos de las mieles de diferentes regiones del Estado de Campeche. Esta metodología por polarización, pudiera ser útil para pruebas de diagnóstico de la calidad de la miel, o bien de la posible adulteración de las mismas cuando se ponen a la venta para el consumo humano, o a la diversidad de usos que tiene este producto.

Referencias

- Corbella E. and Cozzolino D. Combining Multivariate Analysis and Pollen Count to Classify Honey Samples Accordingly to Different Botanical Origin. *Chilean Journal of Agricultural Research* 68(1):102-107 (january-march 2008)
- Fernández Pierna J.A. et al., 2005. Discrimination of Corsican honey by FT-Raman spectroscopy and chemometrics. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.* 2011 15(1), 75-84
- Ferraro, J.R. *Introductory Raman Spectroscopy*, 2nd ed; Academic Press: San Diego, CA, USA, 2003.
- Luke A. Reisner et al., "[An Integrated Software System for Processing, Analyzing, and Classifying Raman Spectra](#)", *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, vol. 105, no. 1, pp. 83-90, 2011
- Muller Molnar C. Berghian-Grosan, C. Alina Magdas, D. An optimized green preparation method for the successful application of Raman spectroscopy in honey studies, *Talanta* [Volume 208](#), 1 February 2020, 120432
- Naes, T., T. Isaksson, T. Fearn, and T. Davies. 2002. A user-friendly guide to multivariate calibration and classification. 344 p. NIR Publications, Chichester, UK.
- O'Haver T. (2023). iPeak (<https://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/23850-ipeak>), MATLAB Central File Exchange. Retrieved February 15, 2023.
- Royston Goodacre,* Branka S. Radovic, and Elke Anklam. Progress Toward the Rapid Nondestructive Assessment of the Floral Origin of European Honey Using Dispersive Raman Spectroscopy. *Applied Spectroscopy*, Volume 56, Number 4, 2002
- Sahameh Shafiee, Saeid Minaei, Nasrollah Moghaddam-Charkari, Mohsen Barzegar, Honey characterization using computer vision system and artificial neural networks, *Food Chemistry*, Volume 159, 15 September 2014, Pages 143-150
- Saucedo Oroscó Izcoatl. Tesis de Maestría. APLICACIONES POLARIMÉTRICAS PARA LA IDENTIFICACIÓN DE ADULTERACIONES EN LA MIEL DE ABEJA Centro de Investigaciones en Óptica Instituto
- Somerville. W. R. C, Le Ru. E. C. Northcote. P. T, and Etchegoin. P. G. High performance Raman spectroscopy with simple optical components *American Journal of Physics* 78, 671 (2010).
- Strehle M. A. et al., 2003. Raman Spectroscopic Study of Spatial Distribution of Propolis in Comb of *Apis mellifera carnica* (Pollm.). *Biopolymers (Biospectroscopy)*, Vol. 72, 217-224 (2003)
- Surojit and Li, Mau-Shiun and Kumar Roy, Pradip and Wu, C. T. "Non-enzymatic glucose sensing by enhanced Raman spectroscopy on flexible CVD graphene", *Analyst*, 2015, Volume 140, issue 12, pages 3935-3941.

Impacto de la Gestión Integral de Residuos Peligrosos en el Tecnológico Nacional de México Campus La Laguna

M.I.I. Olympia Selene Franco García¹, Dra. Martha Alicia Lira Sifuentes²,
M.I.I. Ana Cristina de Los Santos Charles³, Ing. Palmira García Domínguez⁴, Jesús Enrique Morales López⁵

Resumen— El TecNM Campus La Laguna, es una Institución Tecnológica Superior de vanguardia, el cual se encuentra preocupado por el cuidado del medio ambiente, es por ello que ha implementado la Gestión Integral de Residuos Peligrosos desde el año 2013. Considerando los datos recabados por medio de información documentada, se conoce que se han dado disposición final a más de 8 toneladas de Residuos Peligrosos, incluyendo Residuos Biológicos Infecciosos, lo cual ha apoyado en el logro de las certificaciones como la ISO 14001:2015, además ha permitido una mejor cultura ecológica en alumnos y personal que trabajan directamente con la generación de RP en la Institución. Se concluye que, al desarrollar un sistema de Gestión Integral de Residuos Peligrosos, impacta favorablemente a la Institución conllevando logros como las certificaciones de Normas Internacionales, cumplimiento de requisitos legales y lo más importante el cuidado al medio ambiente.

Palabras clave— *Impacto, Gestión, Residuos Peligrosos, Requisitos legales.*

Introducción

Los Residuos Peligrosos (RP) son aquellos desechos que de acuerdo con la NOM-052-SEMARNAT-2005, en el punto 7, presentan características CRETIB, los cuales pueden generar un daño al medio ambiente o a la salud (Diario Oficial de la Federación, 2005)

Es de suma importancia considerar que todo generador de residuos peligrosos se encuentra obligado a cumplir con una serie de requisitos legales, caso contrario serán acreedores a multas y/o sanciones que la LGPGIR en el Capítulo III (Diario Oficial de la Federación, 2015). Entre los requisitos legales a cumplir se puede mencionar: darse de alta como generadores de RP ante SEMARNAT, conocer el tipo de generador al que se pertenece, contar con un almacén temporal de residuos en el cual no se debe exceder por más de seis meses el resguardo de los mismos, contar con correcto etiquetado y clasificación durante su almacenaje, solicitar el transporte de los mismos por una empresa que cuente con las autorizaciones pertinentes, entrega de manifiesto de disposición de RP y dar trazabilidad de la destrucción y/o resguardo final de los desechos peligrosos.

El siguiente artículo trata de la importancia de mantener un sistema de Gestión de Residuos Peligrosos dentro del Tecnológico Nacional de México campus La Laguna.

Descripción del Método

Contenido

El Tecnológico Nacional de México Campus La Laguna, es una Institución educativa que cuenta con más de 50 años de antigüedad, en sus comienzos la Institución contaba con una pequeña infraestructura, sin embargo, con el paso del tiempo, al abrirse las diferentes carreras que hasta la actualidad se ofrecen y debido a la alta demanda se tuvo la necesidad de extender la infraestructura e implementar prácticas de laboratorios para las diferentes carreras.

En el año 2010 se busca obtener la certificación de la institución en las norma ISO 14001:2004, para lograr la certificación en el sistema de gestión ambiental se realizó un estudio cumpliendo con lo estipulado en la norma ISO 14001:2015 “... la organización debe determinar los aspectos ambientales de sus actividades, productos y servicios que puede influir y sus impactos ambientales asociados...” (IMNC, 2015) analizando cada área o proceso y evaluando según la matriz de Leopold que aspectos ambientales resultarían significativos de tal manera que se generen objetivos ambientales y acciones que conlleven al cuidado del medio ambiente y de la sociedad. En esta primera evaluación los RP no resultaron significativos, sin embargo, se observó que cuenta con requisitos legales a cumplir, por lo cual se

¹ La M.I.I. Olympia Selene Franco García es Coordinadora del SGA y Docente del Dpto. de Química-Bioquímica en el Tecnológico Nacional de México campus La Laguna, Coahuila. osfrancog@correo.itlalaguna.edu.mx (autora corresponsal).

² La Dra. Martha Alicia Lira Sifuentes es Coordinadora del SGen y Docente de tiempo completo adscrita al Dpto. de Económico-Administrativa en el Tecnológico Nacional de México campus La Laguna, Coahuila. maliras@correo.itlalaguna.edu.mx

³ La M.I.I. Ana Cristina de Los Santos Charles es Jefa de los Laboratorios de Análisis e Inorgánica y técnico docente de tiempo completo adscrita al Dpto. de Química-Bioquímica en el Tecnológico Nacional de México campus La Laguna, Coahuila. acdelossantos@correo.itlalaguna.edu.mx

⁴ La Ing. Palmira García Domínguez es jefa de Proyectos de Docencia y Docente del Dpto. de Química-Bioquímica en el Tecnológico Nacional de México campus La Laguna, Coahuila. hon.pgarciad@correo.itlalaguna.edu.mx

⁵ El M.S.C Jesús Enrique Morales López es docente del área de Sistemas y computación del Instituto Tecnológico De La Laguna, en Torreón, Coahuila, México jemoralesl@correo.itlalaguna.edu.mx.

optó por implementar el sistema de gestión integral de residuos peligrosos dentro del plantel, además y según la historia del Tecnológico de La Laguna, el control en el manejo o disposición de reactivos, los desechos líquidos de prácticas de laboratorios de Ingeniería Química no tenían una disposición final adecuada.

En el año 2013 se comienza la implementación del sistema de gestión integral de RP, como área pionera química-Bioquímica en conjunto con el Dpto. De Mejora continua de la Institución, buscaron cumplir con el cuidado en el medio ambiente en materia de RP, en este año se logró disponer adecuadamente 1.2 toneladas de RP.

Durante este lapso se llevaron a cabo diagnósticos y estudios de las partes interesadas y se consideró pertinente cumplir primeramente con los requisitos legales, en segundo lugar, con el cuidado con el medio ambiente y en tercer lugar con la acreditación y certificación en las distintas organizaciones.

En el año 2015 el TecNM campus La Laguna logra certificarse con el apoyo de la gestión de RP en la ISO14001:2015, donde la ISO 14001 es una Norma Internacional cuyo objetivo es la Gestión Ambiental del plantel. Hasta la fecha se ha logrado recertificar y se espera seguir cumpliendo con tan noble misión.

Al implementar el Sistema de gestión de RP, se ha permitido dar disposición final a un total de 7.735 ton de RP, donde en la Tabla I, se muestra la cantidad de RP dispuestos por año:

TABLA I. Cantidad de RP dispuestos en el TecNM campus La Laguna por año
Fuente: elaboración propia

Año	Cantidad Aprox. Ton
2013	1.19
2014	0.283
2015	0.607
2016	1.18
2017	0.807
2018	1.08
2019	1.71
2020	0.864
2021	0.277
2022	1.073

Como se puede visualizar en la Tabla I, el comportamiento de la disposición de RP no es constante, pero esto se debe diferentes factores tales como:

1. Al inicio de la Gestión de Residuos, se dieron disposición a varias sustancias químicas caducas de los laboratorios, los cuales ya no se cuentan dentro de la Institución.
2. A la falta de cultura Ambiental en el personal Docente y alumnos adscritos, los cuales se fue solventando, dando capacitación y realizando una correcta difusión interna de la gestión.
3. Al contar con la cultura ecológica, se comenzó a estabilizar la generación de RP, sin embargo, hubo remodelaciones en algunos laboratorios, los cuales generaron un aumento en la generación de RP.
4. Para el año 2020 se reduce como consecuencia de la Pandemia por el COVID-19.
5. Ahora ya se cuenta con clases 100% presenciales, lo cual significa que la generación de RP vuelve a la "normalidad".

Entre los principales RP que se disponen en la Institución figuran los que en la Tabla II se mencionan:

TABLA II. PRINCIPALES RP GENERADOS EN LA INSTITUCIÓN
FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

Residuo	Cantidad total generada Aprox. Kg Hasta el año 2020
<i>Lámparas Fluorescentes de desecho</i>	813.61
<i>Aceite soluble en agua</i>	1,730
<i>Envases vacíos contaminados</i>	273
<i>Biológicos- Infecciosos</i>	252.45
<i>Residuos químicos varios</i>	4,000.29

Considerando los datos señalados, se puede observar que los RP que se generan mayor mente son los residuos químicos, los cuales son provenientes de las distintas prácticas de laboratorio, sin embargo, se le da una correcta disposición a cada uno de ellos.

Es prescindible mencionar que se han comenzado a llevar a cabo acciones que permiten minimizar la generación de RP, usando diferentes metodologías, tales como; Neutralización, Separación Física-Química (Destilación), retroalimentación, entre otras más.

Requisitos legales

En materia de requisitos legales, los puntos en el que el TecNM campus la Laguna ha cumplido son los siguientes:

- Darse de alta como generadores de RP ante SEMARNAT.
- Listar los RP que se generan anualmente y conocer el tipo de generador al que pertenece, como se puede apreciar en la Tabla I, la cantidad máxima de RP dispuestos según el año es de aproximadamente 1.2 Ton, lo cual significa que ante SEMARNAT son considerados como *Pequeños Generadores*.
Nota. - Según SEMARNAT y la LGPGIR los generadores de RP se pueden clasificar en tres; Micro generador, aquellos que generan como máximo 400 kg de RP, Pequeños generadores, generan más de 400 kg a 10 Ton de RP y Grandes Generadores, aquellos que generan más de 10 Ton de RP.
- Contar con un almacén temporal de RP en el interior de las Instalaciones de acuerdo con el Reglamento de la LGPGIR en el artículo 82.
- Contratación de Transportistas que cuenten con los permisos actualizados ante SEMARNAT y SCT.
- Los RP deben ser confinados en lugares autorizados ante SEMARNAT y se cuenta con los documentos que avalan esta etapa de la gestión.

Entre otros requisitos.

Comentarios Finales

Impacto de las acciones implementadas

Es importante mencionar que en la institución cuenta con la carrera de ingeniería química con especialidad en ambiental y en los programas de asignatura se desarrollan temas relacionados con el cuidado del medio ambiente, es importante que la comunidad estudiantil participe en las buenas prácticas relacionadas con el manejo de residuos peligrosos, para que no sólo aprendan teoría, sino también vivan la experiencia institucional del respeto y cuidado del medio ambiente.

El hecho de cumplir con los requisitos legales en materia de manejo de residuos peligrosos disminuye la posibilidad de ser acreedores a multas y sanciones. La institución reafirma el compromiso ambiental y predica con el ejemplo, llevando a cabo buenas prácticas que conllevan a la gestión institucional de residuos peligrosos.

Conclusión

En base a lo mencionado en el artículo, resulta pertinente mantener el sistema de Gestión Integral de Residuos peligrosos dentro de la Institución, debido a que se cumplen con los siguientes puntos; se reduce el impacto negativo al medio ambiente, puesto que se dispone de manera correcta los Residuos Peligrosos generados dentro de la Institución, es decir se da adecuada disposición final, por consiguiente, el riesgo a la salud disminuye, se cumple con los requisitos legales en materia de Residuos peligrosos y medio ambiente y además permite el logro de certificaciones

o acreditaciones, mismo que realza el prestigio de la Institución, como es el caso de la Certificación en la ISO 14001:2015.

Abreviaturas y Acrónimos.

- RP. - Residuo Peligroso.
- CRETIB.- Corrosivo, Reactivo, Explosivo, Tóxico, Inflamable y Biológico-Infecioso.
- TecNM.- Tecnológico Nacional de México.
- NOM.- Norma Mexicana.
- SEMARNAT.- Secretaria del Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- SCT.- Secretaria de Comunicación y Transporte.
- LGPGIR.- Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos
- ISO.- Organización Internacional de Estandarización (International Organization for Standardization).

Referencias

- Diario Oficial de la Federación. (2005). *NORMA Oficial Mexicana NOM-052-SEMARNAT-2005, Que establece las características, el procedimiento de identificación, clasificación y los listados de los residuos peligrosos*. Ciudad de México. Obtenido de <https://www.dof.gob.mx/normasOficiales/1055/SEMARNA/SEMARNA.htm>
- Diario Oficial de la Federación. (2015). *Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos*. Ciudad de México.
- Federación, D. O. (2005). *DOF*. Obtenido de <https://www.dof.gob.mx/normasOficiales/1055/SEMARNA/SEMARNA.htm>
- IMNC. (2015). *NORMA Oficial Mexicana NOM-052-SEMARNAT-2005, Que establece las características, el procedimiento de identificación, clasificación y los listados de los residuos peligrosos*. Ciudad de México.

Notas Biográficas

La **M.I.I. Olympia Selene Franco García** es Ingeniera Química por el Instituto Tecnológico de La Laguna en 2011, Maestra en Ingeniería Industrial por el Instituto Tecnológico de la Laguna en el año 2013. Actualmente es docente en el Departamento de Química-Bioquímica y Coordinadora del Sistema de Gestión Ambiental en el Instituto Tecnológico de la Laguna, sus áreas de interés incluyen los sistemas de gestión ambiental y calidad, en base a las normas ISO 14001 y 9001 respectivamente.

La **Dra. Martha Alicia Lira Sifuentes** es Ingeniera industrial por la Universidad Iberoamericana Torreón en 2006, Maestra en ingeniería industrial por el Instituto Tecnológico de La Laguna en el año 2012. Doctora en Administración y Alta dirección por la Universidad Autónoma de Coahuila Facultad de Contaduría y Administración en 2021. Actualmente es docente de tiempo completo en el departamento de Ciencias Económico-Administrativas en el Instituto Tecnológico de La Laguna, sus áreas de interés incluyen los sistemas de gestión ambiental y de energía, en base a las normas ISO 14001 e ISO 50001 respectivamente.

La **M.I.I. Ana Cristina de los Santos Charles** es Ingeniera Química por el Instituto Tecnológico de La Laguna en 2008, Maestra en Ingeniería Industrial por el Instituto Tecnológico de la Laguna en el año 2019. Actualmente es técnico docente de tiempo completo y jefa de los laboratorios de análisis e inorgánica en el Departamento de Química-Bioquímica, su área de interés abarca el sistema de gestión ambiental en base a la norma de la ISO 14001.

La **Ing. Palmira García Domínguez**, es Ingeniera Química por el Instituto Tecnológico de La Laguna en, actualmente es docente y jefa de proyectos de docencia en el Departamento de Química-Bioquímica del Instituto Tecnológico de La Laguna, sus áreas de interés son los sistemas de gestión ambiental y calidad, en base a las normas ISO 14001 y 9001 respectivamente.

El **M.S.C. Jesús Enrique Morales López** es Ingeniero Industrial en Electrónica por el Instituto Tecnológico de Durango, con maestría en Sistemas Computacionales por el Instituto Tecnológico de la Laguna, actualmente es docente del área de Sistemas y computación del Instituto Tecnológico de La Laguna.

Centro de Acopio de Materiales Reciclables y Acciones Ambientales CAITL

M.I.I. Olympia Selene Franco García¹, Dr. Héctor Aurelio Moreno Casillas²,
Ing. Alejandro Romero Barrientos³ y MIAC. Sagrario Fraire López⁴

Resumen— El CAITL nace de la preocupación por cuidar el medio ambiente dentro y fuera de la Institución. El TecNM Campus La Laguna cuenta con la carrera de Ingeniería Química, una de sus especialidades es la de Ingeniería Ambiental, en esta especialidad, una de las materias que se imparten es “Gestión de Residuos Sólidos”, y en esta se decidió proponer una solución al manejo de residuos urbanos en el ITL. Considerando los datos recabados por medio de información documentada, se han acopiado más 60 toneladas de Residuos Sólidos Urbanos; 2,000 pz. de toners y cartuchos hp y 1514 kg de Pilas, estos dos últimos enviados para disposición final. El CAITL ha sido fundamental para lograr y mantener la certificación ISO 14001:2015, además ha permitido una mejor cultura ecológica en alumnos y personal adscrito al plantel.

Palabras clave— *Impacto, Gestión, Residuos Urbanos, Medio Ambiente.*

Introducción

De acuerdo a la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de Residuos (LGPGIR) y la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA), los residuos son aquellos “materiales o productos cuyo propietario o poseedor desecha y que se encuentra en estado sólido o semisólido, o es un líquido o gas contenido en recipientes o depósitos, y que puede ser susceptible de ser valorizado o requiere sujetarse a tratamiento o disposición final conforme a lo dispuesto en esta Ley y demás ordenamientos que de ella deriven” (Diario Oficial de la Federación, 2015), estos a su vez se clasifican en Urbanos, de Manejo Especial y Peligrosos (Diario Oficial de la Federación, 2015)

Los Residuos Sólidos Urbanos (RSU) se subdividen en reciclables y no reciclables, entre los ejemplos más comunes de residuos reciclables que se puede mencionar son el papel, cartón, plásticos, etc.

El ITL es una Institución educativa la cual cuenta con aproximadamente 5,600 alumnos y más de 500 trabajadores, los cuales día con día generan Residuos Sólidos Urbanos durante su estancia en el plantel. Con un estudio preliminar se determinó que las áreas que generan la mayor cantidad de RSU son: Cafetería-Comedor, pasillos, oficinas y talleres-laboratorios, y las áreas de oportunidad observadas son: oficinas, talleres y laboratorios, por lo cual se optó por implementar un proyecto que pudiera ayudar a reducir la generación de RSU y se creó el CAITL (Centro de acopio de materiales reciclables).

El siguiente artículo aborda la trayectoria que cuenta el CAITL en la Institución, que objetivos ha logrado cumplir y que resultados ha obtenido.

Descripción del Método

Antecedentes

El Tecnológico Nacional de México campus La Laguna cuenta con poco más de 17 hectáreas, 43 edificios y con más de 6,000 gentes, entre estudiantes y personal adscrito a la Institución. En su estancia dentro del plantel cada uno de ellos generan residuos sólidos urbanos, aproximadamente 1.3 kg per cápita.

Una de las carreras que se ofrece en la Institución es Química-Bioquímica, en la cual se imparte la materia de Gestión de Residuos. En esta asignatura se busca generar concientización ecológica. En el año 1999, surgió la necesidad de apoyar a la Institución con el desarrollo e implementación de un proyecto que minimizara la cantidad de residuos urbanos que se destinaban al relleno sanitario municipal y aprovechar los beneficios que la gestión de residuos puede tener. En un estudio preliminar, se determinó que las principales áreas generadoras de residuos urbanos son: Comedor, cafetería, pasillos, talleres y oficinas. Tampoco se hacía la separación de los materiales reciclables. También se encontró que los residuos que más se generaban en las áreas mencionadas eran: Papel

¹ La M.I.I. Olympia Selene Franco García es Coordinadora del SGA y Docente del Dpto. de Química-Bioquímica en el Tecnológico Nacional de México campus La Laguna, Coahuila. osfrancog@correo.itlalaguna.edu.mx (autora corresponsal) .

² El Dr. Héctor Aurelio Moreno Casillas es Jefe de proyectos de investigación y Docente del Dpto. de Química-Bioquímica en el Tecnológico Nacional de México campus La Laguna, Coahuila. hamorenoc@correo.itlalaguna.edu.mx

³ El Ing. Alejandro Romero Barrientos es Jefe del Laboratorio de Ingeniería Química y Docente del Dpto. de Química-Bioquímica en el Tecnológico Nacional de México campus La Laguna, Coahuila. aromerob@correo.itlalaguna.edu.mx

⁴ La MIAC Sagrario Fraire López es Jefa de proyectos de vinculación Docente del Dpto. de Química-Bioquímica en el Tecnológico Nacional de México campus La Laguna, Coahuila. hon.sfrairel@correo.itlalaguna.edu.mx

archivo, papel periódico, cartón y plásticos.

Considerando lo anterior se creó el CAITL (Centro de acopio de materiales reciclables del ITL) en el año 2000, lo iniciaron el Dr. Héctor A. Moreno Casillas y alumnas de residencia profesional. Se buscaron patrocinadores para el CAITL, la empresa Met-Mex Peñoles donó 3 contenedores (**Figura 1**), con recursos propios se adquirieron contenedores de plástico para instalar en oficinas, talleres y laboratorios, y la dirección del plantel aportó un triciclo para los recorridos a través del campus



Figura 1. Revista COMUNICA-TEC 2001, donación de los 3 contenedores.

El proyecto arrancó colocando contenedores de plástico en las diferentes áreas de mayor generación, seguido de la concientización y capacitación del personal sobre la manera de trabajar con el proyecto y apoyándose con alumnos de servicio social, los cuales también son los encargados de recolectar los residuos generados de cada área con ayuda del triciclo de carga para su transporte interno (**Figura 2**).



Figura 2. Alumnas y alumnos acopiando material reciclable.

Se cuenta con el apoyo del Dpto. de Recursos Materiales del plantel para llevar a la venta, los distintos residuos acopiados (**Figura 3**). Esto se lleva a cabo al final de cada semestre o cada que la capacidad de los contenedores llega a su nivel máximo de almacenamiento. En un inicio se entregaba al ITL los recursos obtenidos y después se han utilizado para solventar la compra de materiales, refacciones y equipo para los laboratorios de Análisis e Ingeniería Química, así como para financiar proyectos de investigación del área.

El proyecto ha generado concientización en alumnos y personal del ITL y del ITT, además de que empresas como ADM, CFE, REGIONARMOL y Escuelas como el colegio Cervantes Torreón han colaborado con material acopiado en sus instalaciones para el CAITL.



Figura 3. Disposición de los residuos acopiados.

En el 2011 se implementa el sistema de recolección de PET, el cual ha formado parte importante en el ITL, donde ha colaborado en eventos como: “Semana de Ingeniería”, el “XIX Encuentro Nacional de Bandas de Guerra y escoltas, el “Evento Pre nacional Deportivo 2013”, la 1ª Jornada Estudiantil del Medio ambiente” y Foros Académicos.

Las pilas contaminan el medio ambiente debido a sus componentes químicos, por lo cual se optó por recolectar este material dentro del mismo proyecto. Las pilas acopiadas se cuantifican y se trasladan a la empresa Met-Mex Peñoles para su tratamiento y disposición (**Figura 4**).



Figura 4. Entrega de pilas a Met-Mex Peñoles.

En el año 2015 se considera la pertinencia de recolectar y acopiar tóner y cartuchos, esto debido a que la mayoría de los suministros adquiridos son de la marca hp y Samsung, se conoce que hp es una empresa socialmente responsable, mismo que cuenta con el programa denominado “hp planet partner México”, el cual consta de regresa a la empresa de manera gratuita todos los tóner y cartuchos usados con el fin de tratarlos y reutilizar el material reciclable. Se consideró pertinente la participación en el programa y se añadió a la recolección de residuos en el ITL (**Figura 5**).

El proyecto es un éxito, y actualmente sigue en operación bajo la dirección del Ing. Alejandro Romero y la MIAC. Sagrario Fraire.



Figura 5. Constancia de participación en el programa HP Partner Planet México.

Comentarios Finales

Resultados

Hasta el momento se han acopiado más de 60 toneladas de material reciclable, siendo el papel archivo el residuo que más se recolecta con 44 toneladas, seguido del cartón con 7.5 toneladas, enseguida el papel periódico con 4.3 toneladas, el PET en cuarto lugar con 1.6 toneladas y las pilas con 1.5 toneladas.

Con respecto a la cantidad recuperada tóner y cartuchos, Se han entregado para la correcta disposición final, 318 pz de cartuchos y 1699 pz de tóner.

El CAITL genera espacios para Servicio Social, hasta el momento más de 150 alumnos se han visto beneficiados con este proyecto.

Conclusiones

El CAITL es un proyecto sostenible, puesto que apoya al cuidado del medio ambiente al no disponer mayor cantidad de residuos urbanos en rellenos sanitarios, genera concientización ecológica en los miembros del plantel y a sus alrededores, además de ser un proyecto redituable económicamente al generar aportaciones benéficas al ITL. Es menester recalcar que ha sido parte importante en la obtención de la certificación de la ISO 14001:2015 e incluso se está participando, en el concurso de SEMARNAT Coahuila, “Reconocimiento a Escuelas con trayectoria ambiental 2022”.

Referencias bibliográficas

Diario Oficial de la Federación. (2015). *Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente*. Ciudad de México.
Diario Oficial de la Federación. (2015). *Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos*. Ciudad de México.

Notas Biográficas

La **M.LI. Olympia Selene Franco García** es Ingeniera Química por el Instituto Tecnológico de La Laguna en 2011, Maestra en Ingeniería Industrial por el Instituto Tecnológico de la Laguna en el año 2013. Actualmente es docente en el Departamento de Química-Bioquímica y Coordinadora del Sistema de Gestión Ambiental en el Instituto Tecnológico de la Laguna, sus áreas de interés incluyen los sistemas de gestión ambiental y calidad, en base a las normas ISO 14001 y 9001 respectivamente.

El **Dr. Héctor Aurelio Moreno Casillas** es Ingeniero Industrial Químico por el Instituto Tecnológico de la Laguna en el año 1977, Maestro en Ingeniería Industrial por el Instituto Tecnológico de la Laguna en el año 1999, Doctor en Ingeniería en la Lamar University USA, actualmente es docente de tiempo completo y jefe de proyectos de investigación en el Departamento de Química-Bioquímica en el Instituto Tecnológico de la Laguna, sus áreas de interés son los sistemas de gestión de calidad y ambiental en base a las normas ISO 9001 y 14001 respectivamente.

El **Ing. Alejandro Romero Barrientos** es Ingeniero Químico por el Instituto Tecnológico de la Laguna en el año 2010, actualmente es técnico docente y jefe del laboratorio de Ingeniería Química en el Departamento de Química-Bioquímica en el Instituto Tecnológico de la Laguna. Su área de interés abarca el sistema de gestión ambiental en base a la norma ISO 14001.

La **MIAC. Sagrario Fraire López** es Ingeniera Química por el Instituto Tecnológico de la Laguna en el año 2013, Maestra en Ingeniería Administrativa y Calidad por la Universidad de la Salle Campus Laguna en el año 2017, actualmente es docente, jefa de proyectos de vinculación y coordinadora del CAITL en el Departamento de Química-Bioquímica. Su área de interés abarca el sistema de gestión ambiental en base a la norma ISO 14001.

Decolorization and Degradation of Reactive Blue 19 Textile Dye in an Anaerobic-Electrochemical Coupled System

Melissa Gallardo Armenta¹, Ulises Durán Hinojosa², Adrián Armenta Mora³,
Nancy Velazco Álvarez⁴, Edith Caicedo Daza⁵

Abstract —Two laboratory scale bench-top anaerobic-electrochemical coupled reactors were used to compare its ability to eliminate Reactive Blue 19 (RB-19) textile dye. One with the cathodes exposed to air (CAE) and the other did not (CWAE). The effectiveness of the single steps and the overall treatment was evaluated by COD degradation and decolorization. Approximately, CWAE achieved 95% of removal of color, by comparison with CAE which reached just 70%. Despite that, both reactors obtained the same COD removal, achieving an average 93%; and intermediate compounds were unformed during the degradation. Therefore, the applied potentials improve the anthraquinone dye removal efficiency because this system has the ability to degrade aromatic amines and other toxic metabolites. The remarkable decolorization of CWAE reactor showed it has a high potential for the treatment of textile wastewaters.

Key words — Anaerobic degradation, Electrolysis oxidation, Hybrid process, Anthraquinone dye, Wastewater Treatment

Introduction

More than 20% of water pollution is due to the treatment and dyeing of textiles (Kant, 2012). Even with the current technology this has been until now a problem because of two main factors: huge variety of dyes and the heterogeneity of the industry, which are related (Vajnhandl & Valh, 2014). Furthermore, discoloration depends on the type of dye, and these make their treatment difficult and expensive (Costa et al., 2012). The textile manufacturing is a segmented and heterogenous industry conformed mainly by SMEs (Vajnhandl & Valh, 2014). This led the industry to be limited to invest in modern and sophisticated WWTP, so that, most of the factories are focused on biological treatments due to their low cost (Sarkar et al., 2017). The most feasible treatment is the anaerobic process, for the discoloration, followed by the aerobic process, required to oxidize the metabolites, but the problematic is the space for these types of treatments (Saratale et al., 2011). On the other hand, electrolysis systems are capable to oxidize dye metabolites, with reduced spaces in comparison to aerobic systems (Gavazza et al., 2015). This study explores the possibility of treating the anthraquinone dye Reactive Blue 19, since it is one of the most used reactive dyes in textile industry in Mexico, in a coupled anaerobic-electrochemical system, comparing two single chamber reactors, with and without air exposition, to provide the best pathway for the textile compounds degradation.

Method Description

The experimentation was carried out in two phases to study the systems proposed. In the first assays, anaerobic discoloration and biodegradation of the Reactive Blue 19 dye was studied. Whereas in the second assays, the performance of the electrochemical discoloration, and the potential of two different coupled anaerobic-electrochemical reactors were examined to propose the best oxidation pathway of dyes metabolites, to reduce toxicity and complete its degradation, with the aim of reduce the treatment time and space.

¹ Engr. Melissa Gallardo Armenta, Research Assitant at the Escuela Superior de Ingeniería Textil, Instituto Politécnico Nacional, México City, México. mgallardo1400@alumno.ipn.mx

² PhD. Ulises Duran Hinojosa, Professor Research at the Biotechnology Department, Universidad Autónoma Metropolitana Iztapalapa, Mexico City, Mexico, uduranh@xanum.uam.mx

³ Engr. Adrian Armenta Mora, Professor at the Escuela Superior de Ingeniería Textil, Instituto Politécnico Nacional, México City, México. aarmentam@ipn.mx

⁴ PhD. Nancy Velazco Álvarez Professor Research at the Biotechnology Department, Universidad Autónoma Metropolitana Iztapalapa, México City, México. nva@xanum.uam.mx

⁵ PhD. Edith Caicedo Daza, Professor Research at Escuela Superior de Ingeniería Textil, Instituto Politécnico Nacional, México City, México. ecaicedo@ipn.mx

Materials

Inoculum and substrate

Anaerobic granular sludge with 39.41 g/L of volatile suspended solids (VSS) was used as biomass. A ratio of 0.4 mg C/mg VSS was used, in order to have on each bottle a final inoculum concentration of 7.88 mg VSS/L and 3.15 mg/L of carbon of acetic acid as substrate, using the follow formula (1):

$$M-C \text{ (mg)} = (\text{org. load, mg C/mg VSS}) * (\text{Sludge vol., mL}) * (\text{Sludge conc., mg VSS/mL}) \quad (1)$$

Dye

Stock solutions of Reactive Blue 19 (RB-19) textile dye was prepared to batch assays. This stock solution was prepared at room temperature, only with agitation, in a concentration of 10 g/L. Three types of synthetic wastewater were used with three different concentrations. The concentrations were as follows: 200, 300 and 400 mg/L.

Anaerobic-Electrochemical Reactors

Two single chamber reactors were designed for this comparative study, one reactor with the cathodes exposed to air (CAE) and the other one without air exposition (CWAE) (Figure 1.). The anode and cathode areas for both reactors were 32 cm², with a total volume of 230 mL, shown in Fig. 1. The anode for the two reactors was composed of a carbon fiber woven with a titanium current collector with a ring form, and the cathode was composed by a carbon cloth coated on the liquid-exposed side with 0.03 mg/cm² of Platinum (20%) on Vulcan cloth. The distance between electrodes was 2.5 cm for CEA and 1 cm for CWAE. For CAE, three holes with a diameter of 3 mm in each side were made for air exposition, and cathodes were fixed on these holes.

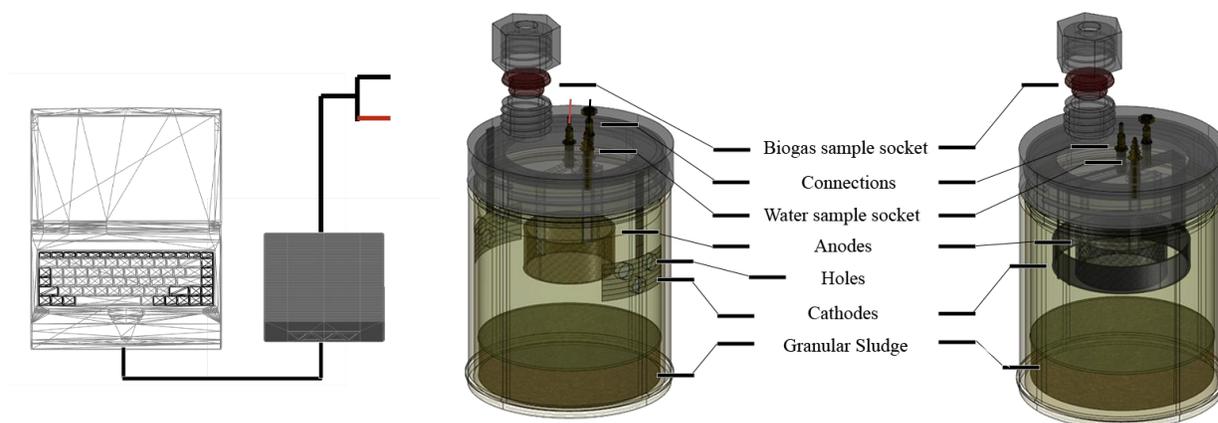


Figure 1. Schematic of laboratory anaerobic-electrochemical reactors: A) Cathodes exposed to air (CEA) and B) Cathodes without air exposition (CWAE).

Anaerobic assays

Specific Methanogenic Activity Determination

The experiment was carried out in a batch with 60 mL amber serological bottles, each bottle was filled with 4 mL of inoculum, 16 mL of mineral medium, 0.5 mL of the substrate and dye in its respective concentration. The bottles were incubated at 37°C for 450 hours and were monitored measuring the biogas produced (N₂, CH₄, and CO₂). All assays were performed in duplicate. The biogas measured was performed with a TCD gas chromatograph.

Anaerobic-Electrochemical Assays

To evaluate the reactors performance initial tests were carried out. Efficiency of color removal was evaluated with a concentration of 10 mg/L, during 10 hours with a constant voltage of 0.3V.

Furthermore, voltammeteries in the range from -1.5 to 1.5 were performed to define the behavior of each reactor. The final assays coupling the anaerobic and electrochemical systems were carried out in batch at 37 °C with a volume of 200 mL, each reactor was filled with 40 mL the inoculum, 155 mL of mineral medium, the substrate, and

the dye in a concentration of 50 mg/L; similar to anaerobic previous assays. The experiment was carried out in duplicate with a control without current (Ctrl-CE) and an anaerobic control without substrate (Ctrl-0).

Both reactors worked with a voltage of -0.3 V. DropSens μ Stat400 Potensiostat was used to maintain the voltage, applying pulses of 2 hrs every 24 hrs. Oxidation-Reduction Potential (ORP) and Dissolved Oxygen (DO) were used as indicators to maintain a microaerobic system.

Analysis

After incubation time, samples were filtered and centrifugated at 3,500 rpm for 30 minutes and the supernatant was extracted for the analysis. Before centrifugation of the samples, we probed if the dye formed a pellet at 3,500 rpm, the dye was still at supernatant.

Initial and final absorbance were measured with a UV-Vis spectrophotometer to determine the discoloration of the dye. Samples were scanned in the light absorption range of 200–700 nm to define the presence of possible metabolites. Finally, Total organic carbon (TOC) and Chemical Oxygen Demand (COD) were measured to determinate the mineralization rate. Statistical comparative was performed with RStudio 1.2.5042.

Final Comments

Anaerobic Assays Results

Specific Methanogenic Activity

Differences in the lag phase during the assay could be observed, in Figure 2 RB-19 had an increment time in the lag phase with highest concentrations, having followed production start times: 102 h for 200 mg/L, 174 h for 300 mg/L and 283 h for 400 mg/L. Despite this increment, every concentration reaches the maximum methane production, indicating an adaptation and not an inhibition.

We got a decolorization rate of 91-98% for RB-19 after 450 hours for all concentrations evaluated. The rate of TOC and COD removals were of 86% in average for the color assay, and 96% for the control (without dye), this indicates the presence of possible metabolites.

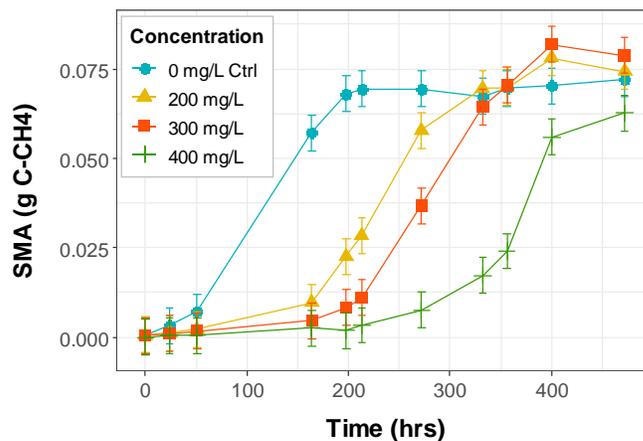


Figure 2. Production Methane in g C-CH₄

Anaerobic-Electrochemical Assays Results

In the initial test, a reduction of the oxygen could be noticed for the CEA reactor in the voltammetry, which means that desire radicals were formed during the process. Despite these radicals, the CWEA demonstrate a better efficiency of electrochemical color removal, $98\pm 2\%$ in 6 hrs, in comparison with the CEA reactor which obtain values of $90\pm 3\%$ in 10 hrs.

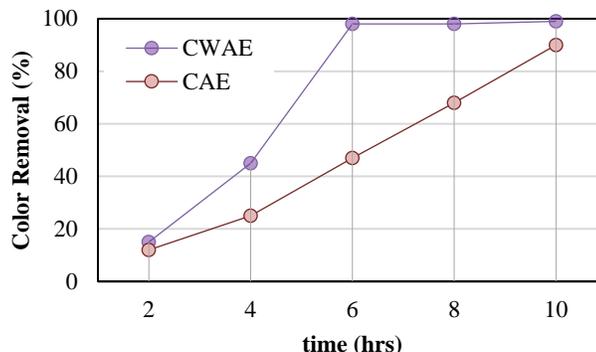


Figure 3. Initial test of efficiency of color removal

During the current pulses, on the anaerobic-electrochemical assay was identified that the dye was adsorbed by the electrodes, causing a significant interference, this indicates an excess of current should be applied to reach the desired voltage, to overcoming the barrier of dye adsorption to the electrodes.

In the assays, the CEA reactor obtained less discoloration efficiency (70%) due to the formation of metabolites with an undesirable color, which are presumably p-hydroquinone and p-benzoquinone (Huang et al., 2013). In addition, with the formation of these metabolites, more current were needed to maintain the voltage due to the interferences which they cause. In comparison, the reactor CWAE which had as metabolites aromatic amines and benzoic acid, that have no color, less current to maintain the voltage was needed. Furthermore, it demonstrated a better discoloration efficiency, reaching 96%, this could be for the different degradation pathway (Saratale et al., 2011; Yang et al., 2018). With both reactors, the COD removal was efficient, obtaining an average of 96%, in comparison with the controls, and a decrease on the wavelength peaks were observed, indicating the oxidation of the metabolites, and resulting in a degradation of the dye.

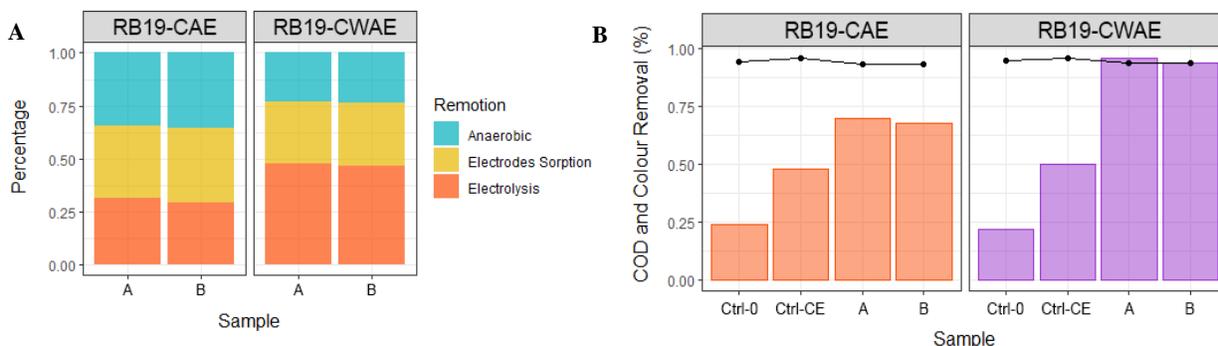


Figure 4. A) Decolorization balance, B) COD Elimination (lines) and Decolorization (Bars)

Conclusions

SMA and methane production are not affected by the dye, just affect production start time, incrementing with the concentration increase. This indicates a specific adaption time for the reactive blue 19.

On the other hand, the reactor without air exposition (CWAE) needed less current to maintain the voltage due to the interelectrode distance. Furthermore, it demonstrated less electrolyte consumption during the pulses and better discoloration efficiency, reaching 96% of color removal in 6 hrs for the anthraquinone dye, moreover, it demonstrated a better discoloration, this could be for the different degradation pathway.

The reactor with air exposition (CAE) obtained less discoloration efficiency due to the formation of metabolites with a undesirable color, like p-hydroquinone and p-benzoquinone. In comparison with the reactor CWAE which had metabolites like aromatic amines and benzoic acid, that have no color.

ANOVA test indicated that the discoloration and COD elimination had a significative difference between samples within and without air exposition, with pValues of 0.0001579 and 0.0323, respectively between reactors.

To sum up, CWAE accelerates 225% the decolorization and COD degradation process, in comparison with conventional anaerobic assays. Therefore, these assays demonstrate a significant performance for the anthraquinone dye degradation applying low current densities to anaerobic biological process. This anaerobic-electrochemical system demonstrates to be an option to reduce time, cost, and space for the WWT of the textile industry, responding to the actual necessities.

Recommendations

Further investigation with more combination of dyes and textile auxiliaries in pilot reactors are needed, to evaluate the behavior of these chemicals in shorter Hydraulic Retention Time, and the reaction between their metabolites, in order to implement improvements in the system with real conditions.

References

- Costa, M. C., Mota, F. S. B., Santos, A. B. D., Mendonça, G. L. F., & Nascimento, R. F. D. (2012). Effect of dye structure and redox mediators on anaerobic azo and anthraquinone dye reduction. *Química Nova*, 35(3), 482–486.
- Gavazza, S., Guzman, J. J. L., & Angenent, L. T. (2015). Electrolysis within anaerobic bioreactors stimulates breakdown of toxic products from azo dye treatment. *Biodegradation*, 26(2), 151–160. <https://doi.org/10.1007/s10532-015-9723-8>
- Huang, L., Sun, G., Yang, T., Zhang, B., He, Y., & Wang, X. (2013). A preliminary study of anaerobic treatment coupled with micro-electrolysis for anthraquinone dye wastewater. *Desalination*, 309, 91–96. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2012.09.029>
- Kant, R. (2012). Textile dyeing industry an environmental hazard. *Natural Science*, 04(01), 22–26. <https://doi.org/10.4236/ns.2012.41004>
- Saratale, R. G., Saratale, G. D., Chang, J. S., & Govindwar, S. P. (2011). Bacterial decolorization and degradation of azo dyes: A review. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 42(1), 138–157. <https://doi.org/10.1016/j.jtice.2010.06.006>
- Sarkar, S., Banerjee, A., Halder, U., Biswas, R., & Bandopadhyay, R. (2017). Degradation of Synthetic Azo Dyes of Textile Industry: a Sustainable Approach Using Microbial Enzymes. *Water Conservation Science and Engineering*, 2(4), 121–131. <https://doi.org/10.1007/s41101-017-0031-5>
- Shah, K. (2014). Biodegradation of azo dye compounds. *International Research Journal of Biochemistry and Biotechnology*, 1(2), 5–13.
- Thanavel, M., Kadam, S. K., Biradar, S. P., Govindwar, S. P., Jeon, B.-H., & Sadasivam, S. K. (2019). Combined biological and advanced oxidation process for decolorization of textile dyes. *SN Applied Sciences*, 1(1), 1–16. <https://doi.org/10.1007/s42452-018-0111-y>
- Vajnhandl, S., & Valh, J. V. (2014). The status of water reuse in European textile sector. *Journal of Environmental Management*, 141, 29–35. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2014.03.014>
- Yang, B., Gao, Y., Yan, D., Xu, H., & Wang, J. (2018). Degradation characteristics of color index direct blue 15 dye using iron-carbon micro-electrolysis coupled with H₂O₂. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 15(7). <https://doi.org/10.3390/ijerph15071523>

Análisis para la Mejora en el Proceso de la Administración de la Producción del Block Arena

Dr. Javier Martín García Mejía¹, M.A. Felipe Ramírez Balderas²,
Dr. Bonfilio Javier Arango Perdomo³, L.D.G. Martha Gabriela Ortega Sánchez⁴, C. María Antonia de los Santos⁵

Resumen—El objetivo de esta investigación es proponer las acciones necesarias para la mejora de los procesos que constituyen a la administración de la producción del block de arena y por consecuencia tienda a satisfacer los requerimientos de los clientes de la empresa “Materiales para la Construcción El Paso” S.A. ubicada en la ciudad de Comalcalco, Tabasco. Esto se logra a partir del análisis interno de la percepción de opinión de los trabajadores de los procesos inherentes a la producción, como almacén de materia prima, producción y almacén de producto terminado. La percepción de la problemática se mide con la opinión vertida en un cuestionario que evalúa y permite cuantificar a cada individuo y su relación con la empresa. La opinión para la mejora del proceso de producción se mide con una encuesta departamental. El estudio se constituye en la problemática demostrada, el sustento teórico, y metodológico, así como la obtención de resultados que permitió proponer y llevar a cabo las acciones para la mejora de la administración de la producción del block arena.

Palabras clave—mejora, administración de producción, eficientar, satisfacción, clientes.

Introducción

La empresa “Materiales para la Construcción El Paso” S.A., ubicada en la ciudad de Comalcalco, Tab., es dedicada a la comercialización de ferretería y materiales para la construcción, a su vez cuenta con el área de producción de block arena, sin embargo, desde hace algún tiempo su producción ha disminuido tanto en cantidad como en calidad, debido a diferentes factores, el principal es que no hay una persona encargada de esa área y como consecuencia no se atienden las necesidades, desde la materia prima, no se lleva un control al respecto, tampoco del personal, no hay un control de los pedidos y del inventario de producción, los dueños de la empresa están interesados en realizar las modificaciones necesarias para mejora de los procesos adheridos a su producción.

El Objetivo General del estudio es realizar una propuesta de mejora en la administración de los procesos de producción y servicio de bloks de arena en la empresa, para eficientar dichos procesos. Los Objetivos Específicos son: implementar un control de inventario de materia prima; diseñar el área de producción de block; proponer la implementación de maquinaria nueva; estandarizar el proceso.

Las preguntas de investigación son: ¿Puede un programa de mejora de la administración de la producción impactar de manera positiva en la mejora de la producción de una empresa? ¿Las acciones de propuesta hacia la mejora puede ayudar al personal de ventas a alcanzar los objetivos propuestos en la empresa?

Dentro del marco teórico se menciona a la teoría humanística de la administración indica que la parte más importante y destacada de una organización es la humana. (Dubrin, 2000), Se inspira en los trabajos de Hugo Münsterberg, fundador de la Psicología Industrial, se propuso aplicar la psicología a la industria señalando como su principal limitación el énfasis en las habilidades físicas de los empleados y la ignorancia de los factores psicológicos. Kurt Lewin (1890-1947) dedico su estudio a los pequeños grupos y destaca las ventajas en la participación entre los miembros de un grupo de trabajo. Por otra parte, la teoría de la administración científica es un estudio sistemático sobre las mejores condiciones posibles para el trabajo y el aumento de la productividad en los obreros (De Guevara,2001), enunció 4 principios: estudio científico del trabajo, selección y entrenamiento de los trabajadores, unión del estudio científico y la selección científica, acción cooperativa entre directivos y operarios.

¹ El Dr. Javier Martín García Mejía es docente de la Maestría en Administración en el Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Tehuacán, Puebla, México. posgrados10@hotmail.com (autor correspondiente)

² El MA Felipe Ramírez Balderas es docente de Ingeniería Industrial en el Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Tehuacán, Puebla, México. ramirezfel@hotmail.com

³ El Dr. Bonfilio Javier Arango Perdomo es docente de Ingeniería Mecatrónica en el Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Tehuacán, Puebla, México. foro.tecnol@gmail.com

⁴ La LDG Martha Gabriela Ortega Sánchez es docente-administrativo del laboratorio de Ingeniería Civil en el Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Tehuacán, Puebla, México. gaortegas@hotmail.com

⁵ La C. María Antonia de los Santos es alumna con número de control 17360738 de Ingeniería en Gestión Empresarial en el Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Tehuacán, Puebla, México. curso.posgradomd@gmail.com

La teoría Burocrática fue desarrollada por un sociólogo y economista político alemán Max Weber (1864-1920), la burocracia es la forma más eficiente de organización, y ésta cuenta con una línea bien definida de autoridad. Tiene reglas y reglamentos claros, las cuales son estrictamente seguidas. De acuerdo con el autor, son organizaciones orientadas a metas diseñadas de acuerdo a los principios racionales, con el fin de alcanzar eficientemente sus objetivos.

Los modelos de producción combinan información de productos (lista de materiales) y procesos (lista de operaciones) que se utiliza como una propuesta de solución para la fabricación. (Dubrin, 2000). Según Reyes (1998) “se entiende por producción la adición de valor a un bien (producto o servicio) por efecto de una transformación. Producir es extraer o modificar los bienes con el objeto de volverlos aptos para satisfacer ciertas necesidades”. Aunque, por otro lado, Starr (1964) afirma que producción es cualquier proceso ideado para transformar un conjunto de elementos de entrada en un conjunto específico de elementos de salida.

Ahora bien Frinch et al (1996), afirman que es un proceso de transformación (gobernado por los hombres en cuya realización tienen interés los hombres) en el que ciertas cosas (mercancías o servicios) se integran en un proceso durante el cual pierden su identidad y caduca su anterior forma de ser, mientras que otras cosas (también mercancías o bienes) nacen del proceso. Las primeras se llaman factores de producción, las segundas productos.

El proceso de producción en la empresa se inicia con la recepción de la materia prima, los bloqueros la reciben a diario para que puedan iniciar con la producción, cabe mencionar que el producto es semiautomatizado, aún hay parte artesanal en la realización de mezcla, después la transportan por banda hacia el área de producción, luego la almacenan en la tolva para dar paso al moldeado del block y la trasladan al área de secado, finalmente la llevan al almacén abierto de acomodo de producto terminado.

Los procesos adheridos a la producción se observan en la figura 1, y corresponde al proceso de producción actual del block de arena:

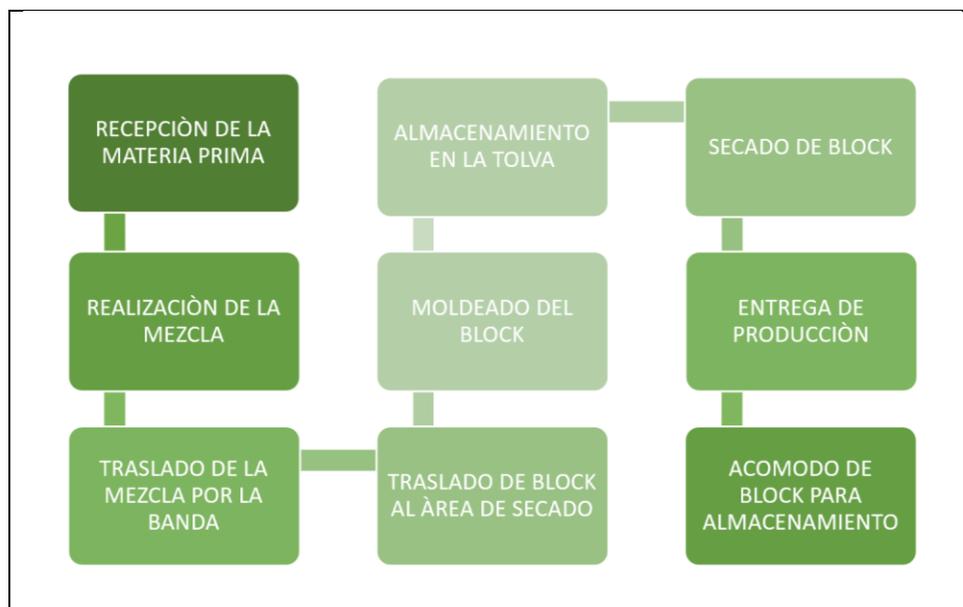


Figura 1. Proceso actual de la producción de block de arena.

Considerando que, por el giro comercial de la empresa, producción y posterior distribución del producto principal, es necesario, en primera instancia investigar cuáles son los problemas, a juicio de los empleados del lugar, para luego proponer algunas acciones de mejora a los procesos que se conjuntan y que corresponden a la administración de la producción.

Es por ello que en la figura 2 se muestra el cuestionario inicial con el que se le pide la opinión a los 8 trabajadores de almacén y de producción, sobre la parte inicial del proceso de elaboración del block, que corresponde a la materia prima y su disponibilidad y control:

MATERIALES CONSTRUCCIÓN EL PASO

CUESTIONARIO DE OPINIÓN

OBJETIVO. El presente cuestionario tiene como objetivo recabar información sobre la opinión de los trabajadores que participan en la elaboración del blok de arena para mejora del proceso de producción.

ÁREA DE TRABAJO:

PUESTO DESEMPEÑADO:

1.- Existe un control de la materia prima para la producción de blok?

2.- La materia prima está disponible cuando los bloqueros llegan a laborar?

3.- Se ha suspendido la producción por falta de materia prima?

4.- Considera necesaria la implementación de un registro de control de la materia prima?

5.- En que le beneficiaría a usted el registro de la materia prima?

GRACIAS POR SUS RESPUESTAS.

Figura 2. Cuestionario inicial de opinión a los trabajadores

Como resultado de las opiniones vertidas en el cuestionario y producto de la investigación de campo, se han detectado varios problemas a resolver, priorizando los más importantes:

- Falta de control de la Materia prima.
- Fallas de la maquina bloquera.
- Ausencia de personal.
- Falta del control de la producción.
- Retraso de la entrega de la producción

Descripción del Método

Diseño de la Investigación

Esta investigación se centra en la corriente Humanista debido a que el programa de mejora a la administración de la producción de la empresa que se propone considera al trabajador desde el punto de vista del ser humano primero y posteriormente es persona que labora en la empresa “Sigma Alimentos Centro S.A. de C.V.”

La investigación en particular se centra en el paradigma Sociocrítico, ya que es un estudio de caso que se realiza en la empresa “Materiales de Construcción El Paso”, C.P. 86560 de la Ciudad de Comalcalco, Tabasco. En la que se utiliza un enfoque que se ocupa en esta investigación es el Mixto, dicho enfoque relaciona los aspectos más importantes del Cuantitativo y Cualitativo, ya que se consideran las opiniones de los empleados para definir su situación actual y los requerimientos para mejorarla, desde un escenario social y cultural; y por otra parte se trabaja con datos estadísticos convertidos a gráficas, aplicando un muestreo del 100% no probabilístico, conformado por el número total de empleados de la empresa y la propuesta de acciones que orienta la técnica y la metodología de la administración de la producción. Esta investigación es No experimental porque los datos que se obtienen para este trabajo no son manipulables, son opiniones libres de los trabajadores de la empresa. Se considera un estudio

deductivo y analítico porque va de lo particular hacia lo general, es decir, de las necesidades de la empresa de materiales “El Paso”, en la ciudad de Comalcalco, Tabasco

Población, Muestra e Instrumento

Para esta investigación se tiene un total de 7 personas en la plantilla de los trabajadores de producción de la empresa “Material para la Construcción El Paso” S.A. en la ciudad de Comalcalco, Tabasco; para la investigación se tomará como sujetos de estudio a los trabajadores del área de producción de block de arena. Como muestra, en esta investigación se tomará al 100% de la plantilla de producción (por tanto, se trabaja con un censo estadístico). Los sujetos que tomarán parte de la investigación se componen por 7 personas de género masculino, los cuales tiene un perfil o práctica en campo orientado a la producción de block de arena, con escolaridad mínima de primaria y/o secundaria. Como instrumento de investigación para recabar información y procesarla, se ocupará un cuestionario dirigido a los trabajadores de producción, elaborado y aplicado por el grupo investigador.

El cuestionario consta de 11 preguntas dicotómicas de opción, relacionadas y orientadas hacia los espacios que conforma el área de producción actual, a los accidentes de trabajo generados por la máquina o por las áreas de trabajo, pérdida de producción y/o calidad por fallos de máquina, pérdidas de pedidos por la máquina, necesidades de renovación de maquinaria y a la reflexión sobre un nuevo diseño de los espacios de producción. La validez del instrumento con lo que se obtiene la información en el presente trabajo está sustentada ya que ha sido modificados de trabajos anteriores y se han revisados, dirigidos y validados por expertos en mercadotecnia y aplicadores de encuestas pertenecientes a la academia de la Ingeniería en Gestión Empresarial del Instituto Tecnológico de Tehuacán. La estructura interna del instrumento se hace con una prueba de Pearson y también de Alfa de Cronbach lo que nos da una perspectiva más amplia sobre la confiabilidad del instrumento. El instrumento para obtener información se muestra en la figura 3:

MATERIALES CONSTRUCCIÓN EL PASO			
CUESTIONARIO DE OPINIÓN-PRODUCCIÓN			
OBJETIVO. El presente cuestionario tiene como objetivo recabar información sobre la opinión de los trabajadores que participan en el área de producción. Favor de seleccionar y cruzar la casilla de <u>SI</u> o <u>NO</u>			
ÁREA DE TRABAJO:			
PUESTO DESEMPEÑADO:			
No.	Pregunta	Si	No
1	Hay espacios separados en el área de producción?		
2	Están establecidos los espacios de cada área de producción?		
3	Se han presentado accidentes debido a la desorganización del área?		
4	Hay problemas de producción debido a los espacios no definidos?		
5	Es necesario volver a diseñar los espacios del área de producción?		
6	Considera que la producción y su trabajo sería beneficiada con el nuevo diseño del área?		
7	La máquina que usa en su trabajo ha presentado falla?		
8	Se ha disminuido la producción y calidad en los bloks por algún problema de la máquina?		
9	Se han quedado pedidos sin surtir por fallos en la maquina?		
10	Es necesario que la máquina se renueve?		
11	Se beneficia su trabajo si la máquina fuera nueva?		
GRACIAS POR SUS RESPUESTAS.			

Figura 3. Cuestionario de producción de block

Resultados Obtenidos

De acuerdo a las respuestas obtenidas en la encuesta realizada se concluye que si es necesario designar un espacio para cada área que comprende el proceso, la propuesta es la siguiente: DISEÑO DEL ÁREA DE

PRODUCCIÓN, actualmente la empresa no cuenta con una estructura definida, la maquina se encuentra en un área que dificulta diferentes procesos de la empresa, sin embargo se cuenta con un espacio suficiente para el nuevo diseño, En el diseño se han considerado los siguientes espacios:

- Recepción: para recibir materia prima, recibir y entregar pedidos.
- Espacio de entrada y salida: Para carga y descarga.
- Área de almacenamiento de materia prima (arena, polvo de piedra y cemento)
- Bodega: Para guardar la herramienta utilizada en el proceso de producción (palas, carretilla, carro transportador, etc.)
- Equipo de Seguridad: Para guardar el equipo de seguridad personal (botas, guantes, casco, etc.)
- Sanitarios
- Planta de Luz: Para conectar la máquina de block
- Instalación de agua: Necesario para el proceso de producción y servicios
- Área de producción: Destinado para la maquinaria de producción (mezcladora, banda transportadora, tolva, maquina vibradora y moldeadora)
- Área de Secado
- Área de almacén de block.
- Área de entrega de mercancía.

En la figura 4 se observa la propuesta de la distribución del área de producción:

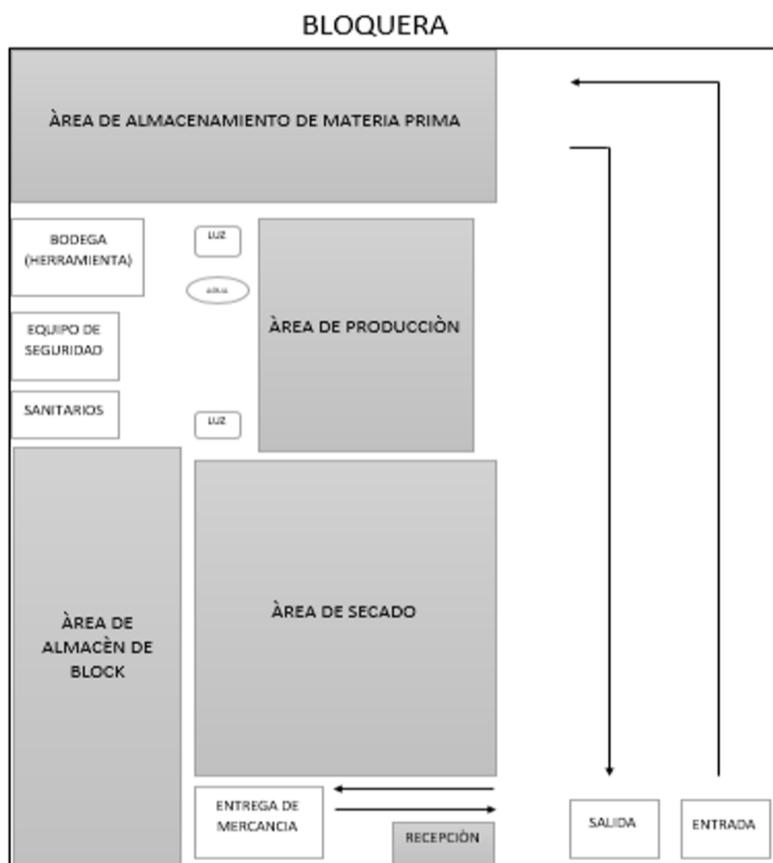


Figura 4. Propuesta del nuevo diseño de la distribución de producción.

También se manifiesta que existe una serie de consecuencias debido a problemas con la antigüedad o falta de mantenimiento de la máquina, como son: la máquina bloquera tiene presenta fallos continuos, generando falta de calidad y cantidad de block e incluso suspender la producción, la empresa cuenta con maquinaria desgastada, presentando diferentes fallas y a su vez gastos económicos.

Por ende se genera una propuesta de renovación de maquinaria, según se muestra en la figura 5, sobre las especificaciones y disposición de la nueva maquinaria:

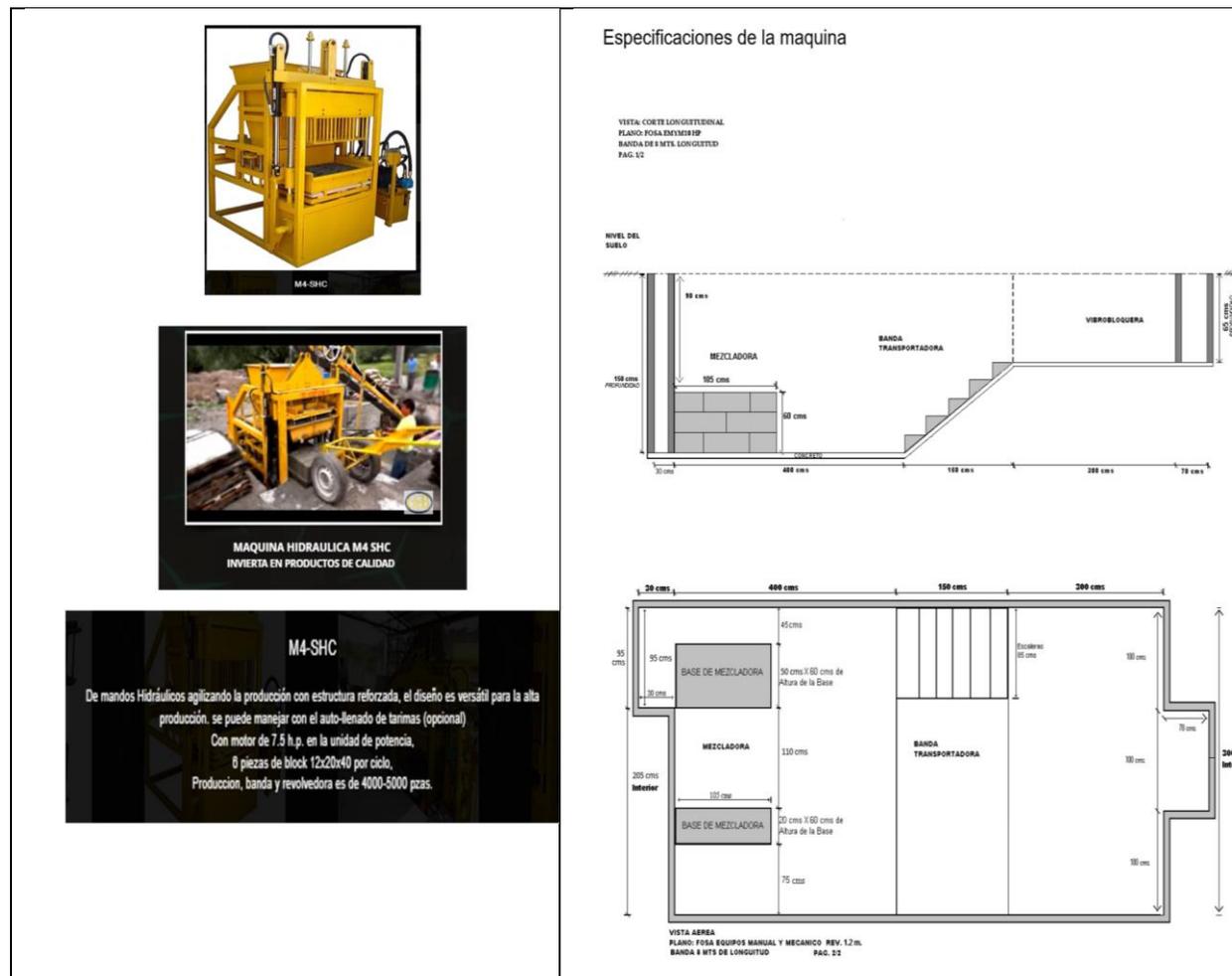


Figura5. Especificaciones de la maquinaria por adquirir.

Conclusiones

Los resultados demuestran que con la adquisición e implementación de la maquinaria, así como con la modificación de algunas áreas de la producción se ha mejorado el proceso de producción de block de arena desde la fase inicial hasta la fase final definiendo ya un espacio específico para el almacenamiento del producto terminado. La empresa cuenta con el block necesario para que una vez que el cliente lo requiera se le entregue de inmediato. La mejora continua es la base del éxito de las empresas, indudablemente siempre habrá algo por mejorar, en este caso si se llevan a cabo estas consideraciones el proceso mejorara, incrementando la calidad y la cantidad de la producción, ello al mejorar las instalaciones y estructura de la planta, considerando también que el capital humano dirigirá el proceso y de ello dependerá que se lleve a cabo de manera adecuada o no.

Al estar en coordinación con todo ello la producción será mucho mejor obteniendo los blocks para surtir los pedidos en la fecha solicitada o bien que el cliente pueda adquirirlos en el momento que lo requiera.

Recomendaciones

Es necesario que los administradores de los procesos de producción y distribución del block de arena continúen con las recomendaciones de trabajo y producción que se han hecho por parte del grupo investigador a fin de aprovechar y dotar de conocimientos y herramientas a los trabajadores de producción que puedan utilizar en su vida diaria, primero para mejorar sus relaciones interpersonales, laborales y con sus clientes.

Referencias bibliográficas

- Chiavenato, I. (2000). Introducción a la teoría general de la administración. México, D.F.: McGraw-Hill | INTERAMERICANA.
- Crosby, P. (1987). Calidad sin lágrimas: el arte de administrar sin problemas. México: Continental.
- Deming, E. (1989). Calidad, Productividad y Competitividad. Madrid: Díaz de Santos.
- Dubrin, A. (2000). Fundamentos de administración. Thomson Editores. Quinta Edición.
- Drucker, P. (1995). Gerencia para el futuro. Bogotá: Norma.
- Finch S., Freeman R., Gilbert, D. y Mascaró P. (1996). Administración, Limusa. sexta edición.
- Goleman, D. (2013). Liderazgo. El poder de la Inteligencia Emocional. Madrid: Ediciones B De Bolsillo.
- Hernández-Sampieri, R. et al. (2001). Metodología de la Investigación. 2ª. Ed. México: McGraw-Hill.
- Hernandez, S. R. (2006). Metodología de la investigación. México: McGRAW HILL INTERAMERICANA S.A.
- Humberto, Ñ. P. (1995). Ciencia e investigación. en Ciencias e investigación. Abancay: Rev.. de la Universidad Tecnológica de los Andes.
- De Guevara C. (2001). Teorías Organizacionales y Administración. Enfoque Crítico. Universidad de los Andes. McGraw Hill. Bogotá.
- M.K. Starr. (2016). Production Management: Systems and Synthesis. Editora Mac Graw Hill. México.
- Molero, F. y Morales, J. F. (Coords.), (2011). Liderazgo, hecho y ficción: visiones actuales [1ª ed.]. Madrid: Alianza Editorial.
- Molero, F. y Morales J.F. (2011). El líder y su grupo: visiones actuales del liderazgo. Madrid. Alianza Editorial.
- Ovejero-Bernal, A. (2004). Técnicas de negociación: Cómo negociar eficaz y exitosamente. Madrid: McGraw Hill.
- Pérez, Mariana. (Última edición:25 de febrero del 2021). Definición de Capacitación. Recuperado de: [//conceptodefinicion.de/capacitacion/](http://conceptodefinicion.de/capacitacion/).
- Reyes. A. (1998). Administración Moderna. México. Editorial. Limusa.
- Rodríguez Valencia Joaquín (2002): Administración de la Pequeña y mediana Empresa (5.ª Ed.) México. Editorial Thompson Editores.
- Sánchez, J. C. (2012). Psicología de los grupos: teorías, procesos y aplicaciones. Madrid: Mc Graw Hill.

Machine Learning Aplicado a la Ciberseguridad

Mtra. Mónica García Munguía¹, Dra. Silvia Soledad Moreno Gutiérrez²,
Dr. José Sócrates López Pérez³, Dr. José Luis Alvarado Reséndiz⁴ y Mtro. Héctor Daniel Molina Ruiz⁵

Resumen—A medida que la IA está cada vez más integrada en los sistemas críticos, deben protegerse ante posibles ciberataques. Los targeting, killings, la desinformación y el empleo de sistemas inteligentes para buscar vulnerabilidades en infraestructuras se presentan como uno de los grandes desafíos de estos tiempos. La técnica de machine learning no es una técnica futurista, en realidad ya se está utilizando en varios sectores donde existe un equipo de cómputo, una red de telecomunicaciones y el factor humano, siendo este último el elemento principal para salvaguardar la información, la tecnología y el personal. En este artículo se presentan los resultados de una Revisión Sistemática de la Literatura realizada para identificar las métricas de Machine Learning (ML) para prevenir ataques y mejorar la ciberseguridad. Los resultados obtenidos muestran que una metodología que se propone apoyar a la detección temprana y prevención de ataques.

Palabras clave—Machine Learning, Deep Learning, Inteligencia Artificial, Ciberseguridad.

Introducción

La Inteligencia Artificial (IA) y las capacidades de aprendizaje automático están creciendo a un ritmo sin precedentes. La mejora en la toma de decisiones que se busca lograr con el empleo de IA se considera también en el ámbito de la ciberseguridad. A medida que la IA está cada vez más integrada en los sistemas críticos, deben protegerse ante posibles ciberataques (Becerril, 2021). Con los avances tecnológicos el equipo tecnológico cuenta con la capacidad de respuesta igual que al de la mente humana y es aquí donde se encuentran otras disciplinas como Machine learning y Deep learning. El aprendizaje automático o machine learning (ML, por sus siglas en inglés) utiliza patrones de comportamientos existentes para ejercer la toma de decisiones que se basan en conjunto de datos obtenidos en el tiempo siendo hoy en día el área más utilizada en la ciberseguridad. El aprendizaje profundo (DL, por sus siglas en inglés) es una técnica muy similar al ML pero realiza ajustes el algoritmo por sí solo.

El uso de ML tiene el objetivo de realizar predicciones para datos futuros por lo que la ciberseguridad la utiliza para tener mejores prácticas y estándares en la seguridad y con ello tener algoritmos para la protección de los usuarios ya que ayuda a la temprana detección de amenazas, fundamentalmente cuando una organización produce un gran volumen de datos confidenciales o abiertos. (BEDU, 2022).

Nuevos y mejores sistemas, herramientas y métodos de seguridad están basados en ML, que junto con buenas prácticas de concientización de los usuarios en temas de seguridad, permiten la optimización de sus respuestas frente a posibles ataques con malware y también contribuyen a reducir las consecuencias negativas generadas por un ataque (ESET Latinoamérica, 2015).

El uso e implementación de técnicas de ML es una alternativa viable para la identificación y detección automática de diversas formas de malware, entre estos el Ransomware (Becerra & Vargas, 2019); también, facilitan la labor de los analistas forenses mediante la automatización de los procesos de obtención de las muestras de ransomware (Benavides & Roa, 2018); favorecen la ejecución de acciones de monitoreo y la toma de decisiones anticipadas para evitar comprometer funciones y actividades críticas de las instituciones financieras, con respecto a posibles infecciones por malware (Mayorga, 2017); y contribuyen a que los sistemas.

Descripción del Método

Se realizó una revisión y análisis de 30 publicaciones extraídas acerca de Machine-Learning y la ciberseguridad de diversas fuentes bibliográficas sobre los avances y novedades en materia de Ciberseguridad y ML. Se considero los criterios de inclusión: 1. la temporalidad de publicación máxima de cinco años, con las palabras clave de Machine Learning y ciberseguridad basado el método inductivos – deductivo.

¹ Mónica García Munguía es Profesor Investigador de la Escuela Superior de Tlahuelilpan de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Hidalgo. monicagm@uaeh.edu.mx

² Silvia Soledad Moreno Gutiérrez es Profesor Investigador de la Escuela Superior de Tlahuelilpan de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Hidalgo. silviam@uaeh.edu.mx

³ El Dr. José Sócrates López Pérez es Profesor Investigador del Instituto de Ciencias Sociales y Humanidades de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Hidalgo lopezs@uaeh.edu.mx

⁴ José Luis Alvarado Reséndiz es Profesor de la Licenciatura en Administración de la Escuela Superior de Tlahuelilpan de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Hidalgo, jose_alvarado4225@uaeh.edu.mx

⁵ Héctor Daniel Molina Ruiz es Profesor Investigador de la Escuela Superior de Tepeji del Río de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Hidalgo. hmolina@uaeh.edu.mx

Este proceso metodológico se efectuó, a través de la revisión y análisis de 35 publicaciones extraídas referentes de la técnica de Machine-Learning como herramienta en la ciberseguridad.

Ciberseguridad

La ciberseguridad también es conocida como seguridad informática o seguridad de la información electrónica, de acuerdo con Infosecurity (2023) “la ciberseguridad es el conjunto de procedimientos y herramientas que se implementan para proteger la información que se genera y procesa a través de computadoras, servidores, dispositivos móviles, redes y sistemas electrónicos”. De acuerdo a los expertos de Information Systems Audit and Control Association (ISACA), mencionado por (Infosecurity, 2023) la ciberseguridad la define como “una capa de protección para los archivos de información”.

Delincuentes y delitos Informáticos

Los delincuentes informáticos son organizaciones complejas dedicadas a crear herramientas, malware y estrategias para llevar a cabo ataques cibernéticos, con software malicioso a medida y que los delincuentes pueden comprar y desarrollar herramientas utilizando la inteligencia artificial para mejorar la planificación y ejecución de sus ataques, por lo que las organizaciones están luchando constantemente para mejorar la protección de sus sistemas (Rey, 2019). Los delitos informáticos son actos ilícitos en los que se usan las tecnologías de la información, como las computadoras, los programas informáticos, los medios electrónicos, el Internet, entre otros, como medio o como fin.

Tipos de Malware

Malware es una combinación de dos palabras - "malicioso" y "software" y describe cualquier forma de código malicioso independientemente de cómo afecte a las víctimas, cómo se comporte o el daño que cause, incluye todo tipo de software malicioso y de todas las formas donde el común denominador es la intención maliciosa de sus autores (ESET spol. s r.o, 2022). Figura 2 (Avast Software s.r.o., 2022).

Inteligencia Artificial

Consiste en la simulación de procesos que realiza la naturaleza humana por biología en máquinas, es decir, se emplean sistemas informáticos para imitar las funciones cognitivas fundamentales, como lo son el aprendizaje, la autocorrección y el razonamiento. Para llevar a cabo estas tres últimas funciones se emplea la combinación de algoritmos y se pueden encontrar muchos ejemplos de tecnología de IA y Machine Learning (Zufiaurre, 2019).

Machine Learning

Es una disciplina de la Inteligencia Artificial capaz de crear sistemas que pueden aprender automáticamente basándose en millones de datos, identificar patrones y tomar decisiones con mínima intervención humana y es capaz de predecir comportamientos futuros. Su objetivo principal es que las máquinas sean capaces de aprender como un humano lo haría (Zufiaurre, 2019). SAP define a ML como un subconjunto de inteligencia artificial (IA) centrándose en enseñar a las computadoras a aprender de los datos y mejorar con la experiencia donde los algoritmos se capacitan para encontrar patrones y correlaciones en grandes data sets para tomar las mejores decisiones y previsiones basadas en ese análisis.



Figura 2. Tipos de Malware Avast Academy. (Avast Software s.r.o., 2022)

Las aplicaciones de machine learning mejoran con el uso y se vuelven más precisas a medida que tienen acceso a más datos. El machine learning y sus componentes de deep learning y redes neuronales son subconjuntos de la IA que procesa datos para tomar decisiones y hacer proyecciones. Los algoritmos de machine learning hace que los datos aprenden y sean más inteligentes, sin necesidad de programación adicional. Figura 3 (The Best Run SAP, 2022).

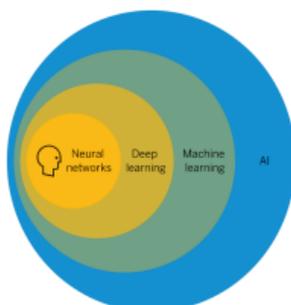


Figura 3. Diagrama de la relación entre IA y machine learning SAP (The Best Run SAP, 2022)

ML se compone de diferentes tipos de modelos y utiliza varias técnicas algorítmicas. Dependiendo de la naturaleza de los datos y el resultado deseado, se puede utilizar uno de los cuatro modelos de aprendizaje: supervisado, no supervisado, semisupervisado o de refuerzo y se pueden aplicar una o más técnicas algorítmicas, en relación con los data sets en uso y los resultados que se buscan. Los algoritmos están diseñados para clasificar cosas, encontrar patrones, proyectar resultados, y tomar decisiones fundamentadas y pueden utilizarse uno a la vez o combinarse para lograr la mayor precisión posible cuando se trata de datos complejos y más impredecibles, Figura 4.

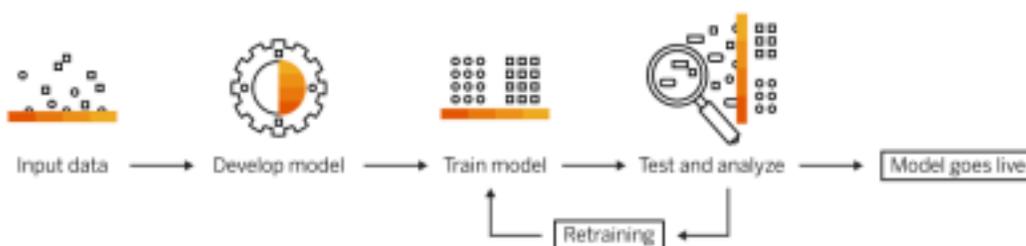


Figura 4. Proceso de ML

Técnicas de Machine-Learning

Aprendizaje supervisado: Este tipo de aprendizaje involucra alta participación humana en términos de monitoreo, selección de nuevos atributos, entrenamiento y nuevas puestas en producción. Utiliza un set de datos que es dividido en entrenamiento, para generalizar el conocimiento que se espera pueda predecir el modelo resultante y los datos restantes se toman como test y se usan para verificar y contrastar que tan bien aprendió a generalizar el conocimiento el modelo final. Las más usuales en el aprendizaje supervisado están los Árboles de decisión, Máxima entropía, Naives Bayes y Support vector machine.

Aprendizaje no supervisado: Esta clase de algoritmos busca identificar estructuras en los datos. No se tiene la respuesta conocida para cada caso por lo que el algoritmo debe encontrar las relaciones entre las variables involucradas. No se busca la representación de los datos. Las más usuales en las no supervisadas son las técnicas de clustering.

Aprendizaje semi supervisado: Estos algoritmos son un híbrido de aprendizaje supervisado y no supervisado. En este caso, el algoritmo trabaja con pequeñas cantidades de datos de entrenamiento etiquetados y más de datos sin etiquetar. De este modo, se hace uso creativo de los métodos supervisados y no supervisados para resolver una tarea determinada. En las semisupervisadas están las Técnicas transductive support vector machine y Expectation maximización

Aprendizaje por refuerzo: El Algoritmo recibe algún tipo de valoración acerca de la idoneidad de la respuesta dada. Ejemplo: darle una orden al perro de sentarse, si lo hace se le premia y si no lo hace se le castiga.

Aprendizaje en lotes o aprendizaje fuera de línea y es utilizado cuando se tiene un conjunto de datos de entrada y se quiere correlacionar con un conjunto de datos de salida, para encontrar una conexión entre estos conjuntos, que en la mayoría de los casos son conjuntos de datos diferentes por lo que deben ser normalizados para obtener el resultado.

Aprendizaje en línea: En este caso el aprendizaje no se detiene una vez que los datos están disponibles, sino que los datos se introducen en el sistema en mini-lotes y el proceso de aprendizaje continúa con nuevos lotes de datos. Se analizan las diferentes técnicas de aprendizaje automático aplicadas y evaluadas en el para la clasificación y detección de diversos tipos de software malicioso.

Identificación de las técnicas de Machine Learning

El malware es la amenaza que siempre está presente en los sistemas de información por lo que es necesario el estudio y desarrollo de múltiples técnicas y modelos que aporten con la detección y la predicción del comportamiento que tienen estos programas maliciosos. Dichas técnicas deben ser evaluadas para medir su desempeño y eficiencia, es decir si los algoritmos están haciendo lo correcto o no, en el caso del aprendizaje supervisado lo que se busca es que realice un entrenamiento generalizado correctamente. Para medir su capacidad se almacenan ejemplos iniciales que no se utilizan en el ajuste conocidos como conjunto de test y después son utilizados en la etapa de validación.

En las métricas del Aprendizaje no Supervisado no se dispone de una respuesta certera complicando la medición de la eficiencia. Con clustering resulta complejo medir la calidad del algoritmo por ello se tiene varias técnicas de evaluación que dependen del algoritmo.

Support Vector Machine (SVM) (lineal y no lineal: kernelizado).

Técnica de aprendizaje automático más utilizada para la detección y clasificación de malware, su clasificación óptima se realiza maximizando el margen de separación entre las clases y los vectores y los que definen el borde de esta separación son los vectores de soporte. En el caso de que las clases no sean linealmente separables, se utiliza el truco del kernel para añadir una o más dimensiones nuevas donde sí lo sean. Son muy utilizadas en aplicaciones como detección de malware donde un falso negativo puede resultar fatal.

Nivaashini et al. (2018), realizaron un análisis experimental dinámico de los malware del sistema operativo Android mediante la detección y clasificación comparativa de técnicas de Machine Learning utilizando Weka13. La técnica SVM arroja el mayor nivel de rendimiento que otros algoritmos de clasificación, cuando se combina con la técnica de selección de atributos del análisis de chi-cuadrado y el clasificador Naïve Bayes mostró mejores resultados en la categorización del conjunto de datos de malware.

García (2020) desarrollo una aplicación para que el usuario se proteja de un malware y recomienda integrar redes neuronales convolucionales dentro de los clasificadores de Machine Learning.

Naive Bayes Classifier (NBC)

Basados en la técnica de clasificación estadística denominada “teorema de Bayes” donde se asume que las variables predictoras son independientes entre sí. Proporcionan una forma de calcular la probabilidad ‘posterior’ de que ocurra un cierto evento, dadas algunas probabilidades de eventos ‘anteriores’ y es aprovechada sobre todo en etapas de selección de características y clasificación. Kim et al. (2020), realizaron un experimento demostrando que los mejores resultados en la detección de empaquetamiento fue la técnica Naive Bayes, SVM (no lineal) y árbol de decisión. Choudhary y Sharma (2020) desarrollan un estudio con aprendizaje automático para identificar malware a partir de su detección y clasificación con el modelo de clasificación multinomial Naive Bayes y tuvo la tasa de detección más elevada.

Random Forest (bosque aleatorio)

Conjunto (ensamble) de árboles de decisión combinados con bagging. Distintos árboles ven distintas porciones de los datos; ningún árbol ve todos los datos de entrenamiento, esto hace que cada árbol se entrene con distintas muestras de datos para un mismo problema y de esta forma, al combinar sus resultados, unos errores se compensan con otros y se logra una predicción que generaliza mejor la clasificación. En conjuntos de características muy grande se puede trabajar con esta técnica ya que reduce el tiempo de entrenamiento y mejora los tiempos de respuesta; pero, al trabajar con subgrupos tienen la tendencia de sobre-ajustar (overfit); por lo que tienden a aprender muy bien sus datos de entrenamiento pero su generalización no es tan buena, sobre todo con muestras no conocidas en el entrenamiento. Uchnár y Fecil’ak (2019), utilizando algoritmos de aprendizaje automático para analizar el comportamiento del malware; con archivos malignos obtenidos de diversos honeypots a través de Internet, concluyeron que el algoritmo Random Forest obtuvo los mejores resultados con un 96% de recuperación. Radwan (2019), menciona que esta técnica presenta el rendimiento más alto, tanto con el conjunto de datos sin procesar como integrados. La organización Management Solutions (2018), mediante un ejercicio cuantitativo aplicado a un caso de estudio del sector financiero, demostró que el modelo Random Forest, con 80 variables y 50 árboles de decisión, obtuvo los mejores resultados que los demás métodos.

Buscando comparar métodos, Stiawan et al. (2020), implementaron cuatro algoritmos de aprendizaje automático mediante la clasificación de malware Botnet del IoT. Con Weka y Scikit-learn, AdaBoost, Random Forest y Naïve donde los árboles de decisión son los que mejores en estos escenarios de prueba.

Darus et al. (2018), analiza el malware informático dentro del SO Android con la aplicación de una técnica basada en la visualización de imágenes y con la utilización de 483 imágenes en escala de grises, correspondientes a 183 archivos APK malware, como resultado obtuvo que Random Forest tiene el mayor porcentaje de precisión de detección.

Árbol de decisión, con énfasis en el algoritmo J48

J48 es una implementación open source en lenguaje de programación en la herramienta Weka de minería de datos, dicho algoritmo permite un uso eficiente de los atributos de entrada para optimizar el árbol de decisión. Rodríguez (2018), demostró la utilidad y las aplicaciones que se pueden realizar con Machine Learning para la detección de conexiones maliciosas, seleccionando el mejor algoritmo al respecto, de acuerdo con la máxima precisión obtenida para la identificación de ataques. El algoritmo J48 lanzó las puntuaciones más altas. Moscardó (2018), diseño y desarrollo un detector predictivo de ataques web, accesible vía webservice. La definición del algoritmo de aprendizaje supervisado de Machine Learning que mejor porcentaje de clasificación fue el árbol de decisión J48 y es el más rápido en cuanto al tiempo empleado para verificar el modelo con el conjunto de datostest. En este mismo sentido, Al-Janabi y Altamimi (2020), proporcionaron un estudio que determina los mejores métodos de extracción y clasificación de características y que den como resultado la mejor precisión en la detección de malware mediante el aprendizaje automático fue el algoritmo J48. Romero (2019), su investigación orientada hacia el análisis de técnicas de aprendizaje automático que permitan el diseño y creación de un clasificador de flujos en internet fiable que detecte tráfico malicioso en internet, demostrando que el árbol de clasificación creado es fiable. Otro estudio por Firdausi et al. (2010), cuya finalidad es el desarrollo de una prueba de concepto para la detección automatizada de malware, estableciendo que el árbol de decisión J48 logra el mejor rendimiento en función de su recuperación (tasa de verdaderos positivos), tasa de falsos positivos, precisión (valor predictivo) y exactitud.

Deep Neural Network (DNN)

Es una red neuronal artificial (ANN) con varias capas ocultas entre las capas de entrada y salida; al igual que en las ANN poco profundas, los DNN pueden modelar relaciones no lineales complejas. Lu et al. (2019), la analizaron con el objetivo de observar cómo se comporta el malware para luego clasificarlos a través de algoritmos tradicionales de la máquina y los algoritmos de red neuronal profunda, para luego comparar el resultado con el sistema de clasificación de malware basado en reglas convencionales, en dos tipos diferentes de conjunto de tareas. Se encontró que el aprendizaje profundo se desempeña mejor en cuanto a precisión y versatilidad.

Zufiaurre (2019) menciona que un modelo Multi-layer Perceptron Classifier revela resultados más altos en precisión. González y Vázquez (2015), propusieron encontrar un método de clasificación de malware que detectara la mayor cantidad posible de muestras maliciosas, obteniendo que con el perceptrón multicapa, con una arquitectura de una capa oculta, entrenando con el algoritmo es el mejor.

Chamorro (2020), enfocado en crear un modelo más robusto y efectivo contra ficheros malware que favorezca la ciberseguridad, sin la interacción humana, utiliza DNN con la técnica Ensemble Methods y la combinación de dos grupos, en este caso, el modelo Random Forest (weak learner) y el DNN, como strong learner. Con este nuevo modelo ensamblado, se obtiene tasas más altas de detección positiva y menores tasas de errores.

Construcción de la propuesta de la Técnica de Detección de Malware

Constituida por fases de desarrollo principales:

- 1) Fase de selección de los datos,
- 2) Fase de clasificación de malware y
- 3) Fase de detección del malware.

Fase 1. Selección de los datos.

Los algoritmos de aprendizaje automático necesitan de un set de datos que contenga atributos representativos del malware de manera que su clasificación de muestras no infectadas sea posible por lo que es una etapa de minería y preprocesamiento de los datos, conforme con las características intrínsecas propias de este tipo de malware para realizar el entrenamiento. La fuente de los datos debe proporcionar información que permita seleccionar datos con infección más utilizados por el malware: correos spear, phishing con documentos adjuntos maliciosos, la explotación de vulnerabilidades (Velasco, 2013).

Según Benavides y Roa (2018), Herrera et al. (2019) y Bazante (2019) definen las especificaciones:

Fuente de correo electrónico, URL, ventanas emergentes para reconocimiento visual de nota de rescate, Tipo de extensión, rastreo de registros del sistema, algunas claves de registro escritas por ejecutables, cabeceras de paquetes, empaquetado y código si se permite

Con el sistema de monitoreo de las características mencionadas se propone un método de detección de anomalías, según las novedades en los patrones de tráfico mientras se generan las muestras, un clasificador simple etiquetará el tráfico que proviene de malware, esto es posible porque las fuentes de malware se obtienen de bases de datos abiertas con muestras pre-etiquetadas. Para los paquetes sobre la red se utilizará un Sniffer para extraer las características de la ventana como la media y desviación estándar de las duraciones de flujos, ips con entropía, estadística descriptiva de los paquetes que circulan, información de puertos origen y destino y protocolos. Herrera et al. (2019), propone la virtualización para la minería de datos y desplegar aplicaciones web con servicios con y sin vulnerabilidades y realizar la limpieza de los datos.

Sumado al procedimiento de limpieza, se sigue con la codificación escalar de datos categóricos, con la finalidad de mejorar el rendimiento de las técnicas de ML y realizar la codificación de cadenas de texto complejas como cabeceras y códigos fuente, es la utilización de N-gramas y la aplicación Linguistic Inquiry and Word Count (LIWC), que combinan codificadores estadísticos clásicos con modelos de clustering basados en Machine Learning. Una vez se efectúa la codificación, se realiza el escalado de características, también llamado normalización de los datos, para evitar o reducir anomalías de datos, redundancia y duplicaciones de características, lo que mejora notablemente la integración de los datos en una escala gaussiana, para realizar la reducción de dimensionalidad de los atributos con un Análisis de Componentes Principales (PCA), dejando los atributos críticos requeridos, según los modelos de clasificación y detección a utilizar, además, favorece la extracción de información y garantiza la eficiencia óptima de los algoritmos mejorando el ritmo de entrenamiento y validación.

Después se procede según los aportes de Radwan (2019), con la aplicación del método de división de prueba de tren, para la división de este conjunto, mediante la proporción del 70% de los datos para el entrenamiento del sistema y el 30% para la etapa de prueba y la evaluación de los algoritmos de clasificación y detección definidos al respecto.

Fase 2. Clasificación de malware

Se utilizan múltiples clasificadores simples mezclados por Boosting como el algoritmo de Naïve Bayes (NB), Máquinas de Vector Soporte, y el Árbol de decisión (DT) con el algoritmo J48, que permitirá mejorar los resultados obtenidos, aumentando una capa de refinamiento con el objetivo de optimizar los resultados de clasificación de los primeros clasificadores y reducir las falencias en falsos positivos y falsos negativos. Para mayor redundancia, se recomienda el algoritmo Random Forest, ya que permite efectuar un Boosting como técnica de validación cruzada y se puede cargar al sistema en el momento del entrenamiento, y se obtiene una predicción que generaliza mejor.

Fase 3. Detección del malware ransomware y de evaluación

Para optimizar los resultados de estas métricas, los parámetros de configuración que se sugieren para construir los clasificadores y para el ajuste de estos son los Criterios del árbol de decisión, algoritmo J48: considerando la relación de ganancia, una medida porcentual que hace referencia a la desorganización de un sistema denominado entropía; con el que se busca agregar más información a los nodos más impuros del árbol de decisión y reducir información a los nodos menos impuros. Se propone una profundidad máxima de 10 niveles bajo el nodo raíz, cantidad suficiente para aprender relaciones más específicas y para efectuar los ajustes requeridos durante el Boosting.

Random Forest: servirá para aprender relaciones más específicas y para efectuarlos ajustes requeridos durante el Boosting. Naïve Bayes (NB) para incrementar e incorporar las probabilidades de casos raros y obtener un resultado verdadero. Maquinas Vector Soporte (SVM) para los ajustes.

Para la evaluación se necesitan los datos de prueba (30%), se introducirán en la maquina entrenada en la fase anterior, y se comprobarán los resultados de detección a partir de las métricas definidas en esta propuesta. Si los resultados coinciden con las métricas, se finalizan los experimentos; de lo contrario, se realizan los ajustes requeridos sobre los hiperparámetros indicados anteriormente y se inicia de nuevo la evaluación, hasta que se finalmente los resultados coincidan con las métricas.

Conclusiones

El malware en todas sus variantes es una amenaza en potencia para los sistemas de información del sector empresarial y para cualquier usuario de un sistema de cómputo conectado internet. Una estrategia inefectiva de ciberseguridad en los equipos y las redes, deriva en brechas que aprovechan los cibercriminales para la entrada de software malicioso.

Tanto los responsables directos de los equipos (sean personas u organizaciones), como también las afectaciones indirectas derivadas de la filtración de información deja expuesta información confidencial de sus usuarios alrededor del mundo.

Se hace cada vez más indispensable la consecución e implementación de modelos eficaces para la detección efectiva del malware, encontrando en las técnicas de Machine Learning una alternativa acorde con las características intrínsecas ya que reporta altos niveles de rendimiento, en cuanto precisión y exactitud y también en relación con la posibilidad de integrar diferentes tipos de técnicas de aprendizaje automático, con la finalidad de incrementar y potenciar los resultados obtenidos en materia de detección y clasificación.

El objetivo de una detección temprana (antes de que se ejecute) es evitar: el paro de los sistemas, de la empresa, la eliminación, modificación, la encriptación o bloqueo de los documentos y del sistema de las víctimas y en consecuente pago del rescate solicitado por los ciberdelincuentes que lanzan el malware ransomware.

Por lo tanto, las vulnerabilidades seguirán existiendo, ya que en la actualidad no hay ningún sistema en el mercado que sea infalible entonces es el momento de complementar los equipos con IA y ML,

en lugar de sustituirlos.

La IA se centra en el éxito, mientras que la precisión tiene menos peso. En una verdadera ejecución de la IA, se toman decisiones reales e independientes. Su programación está diseñada para encontrar la solución ideal en una situación, en lugar de solo la difícil conclusión lógica del conjunto de datos. El papel ideal de la IA en la ciberseguridad es la interpretación de los patrones establecidos por los algoritmos de aprendizaje automático.

Referencias bibliográficas

- Al-Janabi, M., & Altamimi, A. (2020). A Comparative Analysis of Machine Learning Techniques for Classification and Detection of Malware. 21st International Arab Conference on Information Technology (ACIT), 1-9. Obtenido de <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/9300081>
- Avast Software s.r.o. (2022). Avast. Obtenido de <https://www.avast.com/es-es/c-malware>
- Becerril, G. A. (2021). Retos para la regulación jurídica de la Inteligencia Artificial en el ámbito de la Ciberseguridad. Revista IUS, 9-34.
- Chamorro, A. (2020). Malware Detection with Machine Learning. Barcelona: [Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Informática], Universitat Autònoma De Barcelona (UAB). Escola D'enginyeria (EE). Obtenido de https://ddd.uab.cat/pub/tfg/2020/tfg_285427/MalwareDetection-Informe-final.pdf
- BEDU, S. (22 de Enero de 2022). bedu. Obtenido de <https://bedu.org/blog/tecnologia/asi-ayuda-el-machinelearninglaciberseguridad#:~:text=Machine%20Learning%20en%20Ciberseguridad,gran%20volumen%20de%20datos%20confidenciales>.
- Choudhary, S., & Sharma, A. (2020). Malware Detection & Classification using Machine Learning. International Conference on Emerging Trends in Communication, Control and Computing (ICONC3), 1-4. Obtenido de <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/9117547>
- Darus, F., Salleh, N., & Ariffin, A. (2018). Android Malware Detection Using Machine Learning on Image Patterns. Cyber Resilience Conference (CRC), 1-2. Obtenido de <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8626828>
- ESET spol. s r.o. (2022). ESET. Obtenido de <https://www.eset.com/es/caracteristicas/malware/>
- Firdausi, I., Lim, C., Erwin, A., & Nugroho, A. (2010). Analysis of Machine learning Techniques Used in Behavior-Based Malware Detection. Second International Conference on Advances in Computing, Control, and Telecommunication Technologies, 201-203. Obtenido de <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/5675808/>
- García, Á. (21 de Enero de 2020). Auditoría automatizada basada en un sistema de detección de vulnerabilidades y en la explotación controlada de amenazas software. Málaga: Universidad de Málaga. Escuela Técnica Superior de Ingeniería Informática. Departamento de Lenguajes y Ciencias de la Computación. Obtenido de <https://riuma.uma.es/xmlui/bitstream/handle/10630/19202/GarciafernandezalvaroMemoria.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- González, L., & Vázquez, R. (julio-diciembre de 2015). Clasificación de Malware mediante Redes Neuronales Artificiales. Revista del Centro de Investigación, 11(44), 69-102. Obtenido de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=34242142004>
- Herrera, J., Bazante, F., Barona, L., Valdivieso, Á., & Hernández-Álvarez, M. (octubre de 2019). Dataset de Ransomware basado en análisis dinámico. RISTI: Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologías de Informação, 248-261. Obtenido de https://www.researchgate.net/profile/Juan-A-HerreraSilva/publication/337652325_Dataset_de_Ransomware_basado_en_analisis_dinamico/links/5de29979299bf10bc334ea21/Dataset-de-Ransomware-basado-en-analisisdinamico.pdf
- Infosecurity. (2023). Infosecurity México. Obtenido de <https://www.infosecuritymexico.com/es/ciberseguridad.html#introduccion>
- Kim, J.-W., Nangung, J., Moon, Y.-S., & Choi, M.-J. (2020). Experimental Comparison of Machine Learning Models in Malware Packing Detection. 21st Asia-Pacific Network Operations and Management Symposium (APNOMS), (págs. 377-380). Asia. Obtenido de <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/9237007/>
- Management Solutions. (2018). Machine Learning: una pieza clave en la transformación de los modelos de negocio. España. Obtenido de <https://www.managementsolutions.com/sites/default/files/publicaciones/esp/machinelearning.pdf>
- Microsoft. (2022). Microsoft Support. Obtenido de <https://support.microsoft.com/es-es/topic/-qu%C3%A9-es-la-ciberseguridad-8b6efd59-41ff-4743-87c8-0850a352a390>
- Moscardó, J. (2018). Aprendizaje supervisado para la detección de amenazas Web. Cataluña: [Trabajo Fin de Máster]. Universitat Oberta de Catalunya. Maestría en Seguridad de las TIC. Obtenido de <http://openaccess.uoc.edu/webapps/o2/bitstream/10609/91066/6/jmoscardoTFM0119memoria.pdf>
- Nivaashini, M., Soundariya, R., Vidhya, H., & Thangaraj, P. (2018). Comparative Analysis of Feature Selection Methods and Machine Learning Algorithms in Permission based Android Malware Detection. 2018 International Conference on Intelligent Computing and Communication for Smart World (I2C2SW), (págs. 72-77). Erode, India. Obtenido de <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8997527/>
- The Best Run SAP. (2022). SAP. Obtenido de https://www.sap.com/latinamerica/insights/what-is-machine-learning.html?gclid=Cj0KCQiA4aacBhCUARIsAI55maGPJVUCI8aXiLHZTEo_UAtrDI

- wpwVe9LM31LimQ-n63Wp0VfBm6QUaAgyFEALw_wcB&gclsrc=aw.ds
- Uchnár, M., & Fecifak, P. (2019). Behavioral malware analysis algorithm comparison. SAMI 2019
- Velasco, J. (2013). Uso de técnicas de Web Mining: aplicación empírica en el sector de la administración pública. Madrid, España: [Trabajo Fin de Máster en Minería de Datos e Inteligencia de Negocios]. Universidad Complutense de Madrid. Facultad de Estudios Estadísticos. Obtenido de [https://eprints.ucm.es/id/eprint/25812/1/Trabajo%20Fin%20Master%20Jorge%20Velasco%20\(1\).pdf](https://eprints.ucm.es/id/eprint/25812/1/Trabajo%20Fin%20Master%20Jorge%20Velasco%20(1).pdf)
- Radwan, A. (2019). Machine Learning Techniques to Detect Maliciousness of Portable Executable Files. International Conference on Promising Electronic Technologies (ICPET), 86-90. Obtenido de <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8925324>
- Rodríguez, J. (2018). Aplicación de técnicas de Machine Learning a la detección de ataques. Cataluña: [Trabajo de Fin de Máster]. Universitat Oberta de Catalunya. Maestría en Seguridad de las TIC (MISTIC). Obtenido de <http://openaccess.uoc.edu/webapps/o2/bitstream/10609/81126/1/jmrodriguez85TFM0618memoria.pdf>
- Romero, M., Figueroa, G., Vera, D., Álava, J., Parrales, G., Álava, C., . . . Castillo, M. (2018). Introducción a la seguridad informática y el análisis de vulnerabilidades. Alicante: Área de Innovación y Desarrollo, S.L. Obtenido de <https://www.3ciencias.com/wpcontent/uploads/2018/10/Seguridad-inform%C3%A1tica.pdf>
- Romero, A. (2019). Clasificación de flujos de tráfico en Internet utilizando técnicas de aprendizaje automático. Madrid: [Trabajo Fin de Grado en Ingeniería de Tecnologías y Servicios de Telecomunicación]. Universidad Autónoma de Madrid. Escuela Politécnica Superior. Obtenido de https://repositorio.uam.es/bitstream/handle/10486/689041/romero_del_campo_alejandro_tfg.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Stiawan, D., Susanto, Arifin, M., Idris, M., & Budiarto, R. (2020). IoT Botnet Malware Classification Using Weka Tool and Scikit-learn Machine Learning. 7th International Conference on Electrical Engineering, Computer Sciences and Informatics (EECSI), 15-20. Obtenido <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/9251304>
- Zufiaurre, G. (2019). Detección de malware mediante aprendizaje profundo. Vitoria: [Trabajo Fin de Grado] Universidad del País Vasco. Ingeniería en Tecnología de Telecomunicación. Obtenido de https://addi.ehu.es/bitstream/handle/10810/36853/TFG_GLORIA_ZUFIAURRE_SOTO.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Análisis del Comportamiento de los Clientes en la Línea de Espera para Negocios de Comida Rápida

Ing. Karina Gomez Cantarell¹ Dra. Elsa Elena Corona Mayoral²,
M.C. Delia del Carmen Gamboa Olivares³, Ing. Adalberto Torreblanca Zorrilla⁴ y Lizbeth Hernández Gil⁵

Resumen— Lograr la satisfacción del cliente es uno de los requisitos más importantes para poder estar dentro de las mejores opciones de los usuarios. En este trabajo se presentará el estudio de la teoría de colas en un negocio de comida rápida, con el propósito de mejorar la eficiencia en la atención a los clientes. Se recabaron los datos necesarios para aplicar teoría de colas, con el apoyo de tablas para registrar tiempos y con ayuda de un software de simulación, para observar la manera en que se comporten las variables; como lo son el tiempo transcurrido entre un cliente y otro, los horarios de atención, los para así ver que pasaría en el sistema. El propósito principal es ver como favorece la teoría de colas en la atención a clientes y en que se puede mejorar la aplicación, dentro de los procesos que se realizan en negocio de comida rápida.

Palabras clave— Optimización, simulación, teoría de colas.

Introducción

En este documento, se hablará acerca de la aplicación de teoría de colas, (Arista, J. 2016), en su artículo describe que el fenómeno de espera es ocasionado por la variabilidad de tiempo que existe en la llegada de clientes al demandar el servicio y el tiempo que se tarde en ofrecer este mismo. Para (Pérez, M. 2015), existe una diferencia entre teoría de colas y la línea de espera, una cola es una línea de espera y la teoría de colas es una colección de modelos matemáticos que describen sistemas de línea de espera particulares o sistemas de colas. Para (E. López Hung y L. G. Joa Triay, 2018) las líneas de espera se presentan, cuando los clientes o usuarios llegan a un lugar demandando un servicio, lo que en muchas ocasiones genera diversos problemas, tanto en la efectividad del servicio, como la satisfacción al cliente. ¿Cuántas veces no nos hemos formado en una fila, quizá esperando más del tiempo y acabamos desesperados?

En este estudio, se llevará a cabo la observación en un negocio de comida rápida, en la cual se hará un análisis de cómo la teoría de colas mejora el tiempo de servicio en este establecimiento, el comportamiento, comodidad de los clientes, así como de los empleados del establecimiento, si hay una buena distribución de clientes/atención, ambos lados estarán satisfechos. La pregunta clave para llevar a cabo esta investigación es: ¿Cómo afecta la teoría de colas en el tiempo de atención a clientes?

Descripción del Método

Metodología

La metodología usada en esta investigación está fundamentada en la REVISTA de la Universidad EAFIT, por el autor Fredy Alexander Gómez Jiménez, Universidad Nacional de Colombia. (2008) Aplicación de teoría de colas en una entidad financiera: herramienta para el mejoramiento de los procesos de atención al cliente. Esto también utilizando el modelo MM1 que es el que se ocupa para un solo servidor.

Población o universo/ muestra

De inicio, se observó a detalle la manera en la que se comportan las colas durante una semana completa, no se consideró un horario con exactitud, debido a que no siempre se tienen las mismas ventas, por lo tanto, al observar en diferentes horarios, se obtuvieron resultados más variados para la realización del análisis con las suficientes muestras. Estas observaciones se encuentran segmentadas en cuatro horarios, durante toda su jornada laboral, para obtener datos más variados. El estudio de investigación se basó tanto en la empresa, como en sus clientes, pero

¹ Ing. Karina Gomez Cantarell es Profesor de Ingeniería Industrial, del TECN/Instituto Tecnológico de Veracruz karina.gc@veracruz.tecnm.mx (autor correspondiente)

² Dra. Elsa Elena Corona Mayoral es Profesor de Ingeniería Industrial, del TECN/Instituto Tecnológico de Veracruz elsa.cm@veracruz.tecnm.mx

³ M.C. Delia del Carmen Gamboa Olivares es Profesor de Ingeniería Industrial, del TECN/Instituto Tecnológico de Veracruz delia.go@veracruz.tecnm.mx

⁴ Ing. Adalberto Torreblanca Zorrilla es Profesor de Ingeniería Industrial, del TECN/Instituto Tecnológico de Veracruz adalberto.tz@veracruz.tecnm.mx

⁵ Lizbeth Hernández Gil es Estudiante de Ingeniería Industrial del TECN/Instituto Tecnológico de Veracruz 117021287@veracruz.tecnm.mx

primordialmente en este último, pues esta es la variable más importante, para después analizar la atención de los servidores.

La población considerada, fueron los clientes que ingresaron y realizaron su compra en la empresa, en donde el aproximado de clientes son 25 por hora de lunes a sábado, sin embargo, los domingos llegan a recibir hasta 35 clientes por hora, incluso más, según los datos estadísticos proporcionados por el gerente en turno. El muestreo se llevó a cabo del 26 de octubre al 30 de octubre del 2020, es decir, una semana de Lunes a Viernes, no se analizaron los días sábado y domingo, puesto que el comportamiento en fines de semana es distinto por su tráfico de clientes, el cual requeriría un estudio paralelo a este.

Tipo de estudio

La investigación fue del tipo aplicada, ya que, a través del estudio, se pudo analizar el comportamiento de la teoría de colas y proponer mejoras, así como también del tipo cuantitativa, pues se tomaron datos numéricos que ayudaron a desarrollar modelos matemáticos para entender mejor el fenómeno, también se obtuvo de manera descriptiva debido a que se buscaron las causas del objetivo de estudio, para poder obtener un porqué del hecho. También se hizo de manera observacional, pues se pudo observar el comportamiento del fenómeno, así como también longitudinal puesto que se analizaron datos en diferentes momentos.

Descripción del Instrumento

En este caso, para poder obtener mejores resultados, se utilizó el método de observación sistemática, regulada o controlada ya que, de esta manera, mediante la observación simple, sin necesidad de intervenir o interrumpir a las personas que estaban laborando, se pudo obtener los datos necesarios a evaluar. Con los datos obtenidos, se pudo manipular las variables dentro del escenario observado y se pudo obtener el respectivo análisis. Obtener los intervalos de estudio en dónde se llevaron a cabo las muestras, en días comunes, es decir, no festivos, ni fines de semana. El negocio de comida rápida tiene un horario de atención de 10:00 horas a 22:00 horas, por lo que los intervalos usados serán los que se muestran a continuación.

INTERVALO I: 10:00 AM – 2:00 PM

INTERVALO II: 2:00 PM – 4:00 PM

INTERVALO III: 4:00 PM - 6:00 PM

INTERVALO IV: 6:00 PM – 10:00 PM

Se realizaron 10 muestras por intervalo, para después calcular su promedio y vaciar el tiempo de llegada promedio del cliente según el día.

DIAS	INTERVALOS DE MINUTOS			
	I	II	III	IV
LUNES	34	17	13	22
MARTES	20	10	15	11
MIERCOLES	18	21	14	10
JUEVES	21	12	10	7
VIERNES	12	7	11	8
MEDIANA	20	12	13	10

TABLA 2. Intervalos de minutos por días

Resultados y discusión

Los datos que fueron recabados en las tablas por cada día y por cada intervalo se vaciaron en la tabla siguiente, en la cual se resumieron los datos como se muestra en la TABLA 2.

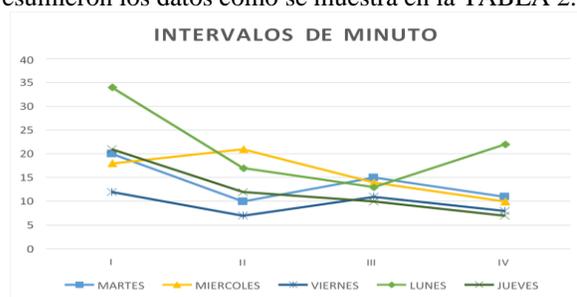


GRÁFICO 1. Intervalos de minuto.

Como se puede observar en el GRÁFICO 1, hay una variación significativa en cuanto a los horarios y los intervalos, en el día Lunes, los intervalos son mayores, puesto que hubo menos tráfico de gente, por ende las colas de

espera, no fueron necesarias, pues casi como llegaban los clientes, eran atendidos, por lo tanto no había como tal una cola, en el día miércoles en la mañana fue un día más transitado, cabe mencionar que el clima influyó este intervalo, pues hacía un poco de frío y la venta de cafés y pasteles tuvo un evidente aumento de clientes, por lo tanto el intervalo entre estos disminuyó, sin duda los días más fuertes fueron jueves y viernes, en los cuales los intervalos con menos minutos fueron los de la tarde noche, que es el tercero y cuarto intervalo, en los que hubo más colas, y tiempos de espera.

Prueba de Kruskal – Wallis

Se considerará el Valor p para datos ajustados con empates, puesto que, a lo largo del muestreo se obtuvieron tiempos que sucedieron simultáneamente. Por lo tanto, $p = 0.392$.

Cabe mencionar que la prueba en Minitab, por naturaleza se realiza a un grado de confiabilidad del 95%. Teniendo en cuenta que si:

Valor $p \leq \alpha$. Las diferencias entre algunas de las medianas son estadísticamente significativas. Valor $p > \alpha$. Las diferencias entre las medianas no son estadísticamente significativas.

En el estudio realizado 0.392 es mayor que 0.05 por lo tanto, (ver en IMAGEN 1) no existe diferencia entre las medianas de los grupos lo que significa que provienen de la misma población y por ende tienen la misma distribución. Se utiliza la prueba Kruskal Wallis en lugar de la de ANOVA ya que este tipo de estudio no tiene una distribución de tipo normal. Teóricamente se dice que tiene una distribución de Poisson.

Prueba de Kruskal-Wallis: MEDIANA DE TASAS DE ... ADA vs. GRUPOS

Estadísticas descriptivas

GRUPOS	N	Mediana	Clasificación de medias	Valor Z
1	1	20		4.0 1.34
2	1	12		2.0 -0.45
3	1	13		3.0 0.45
4	1	10		1.0 -1.34
General	4			2.5

Prueba

Hipótesis nula H_0 : Todas las medianas son iguales
Hipótesis alterna H_1 : Al menos una mediana es diferente

GL	Valor H	Valor p
3	3.00	0.392

La aproximación de chi-cuadrada podría no ser exacta cuando algunos tamaños de muestra sean menores que 5.

IMAGEN 1. Prueba de Kruskal-Wallis

Modelo MM1

Este modelo que se usa es el más sencillo de todos, ya que se analizó un solo servidor, para la atención del cliente en este se representan las llegadas, los tiempos de servicio y su principal característica es que solo hay un servidor.

Donde:

TIEMPO DE ANTENCIONEN EL SERVIDOR (MIN) : 10.12

TIEMPO ESTIMADO DE LLEGADAS:8

Los datos anteriores fueron obtenidos a través del análisis de los datos recabados

1/L=	tiempo entre llegadas
1/M	Tiempo entre servicio
Tiempo / llegadas	5.93 clientes/hora
Tiempo/servicio	7.50 clientes/hora

Los datos anteriormente mencionados se convirtieron a horas para su mejor interpretación, partiendo de esto se sustituyeron las fórmulas

En los resultados de esta simulación, se pudo estudiar cada una de las estaciones, como lo son las entradas, el servidor

$$Ls = \frac{\lambda}{\mu - \lambda}$$

Ls= Longitud 'L' (O Cantidad de Personas) en el Sistema 's'.

Ls= 3.77

$$Ws = \frac{1}{\mu - \lambda}$$

Ws= Cantidad de Tiempo ('w' de Wait) en el Sistema 's'.

Ws= 0.6365

$$Lq = \frac{\lambda^2}{\mu(\mu - \lambda)}$$

Lq= Longitud 'L' (O Cantidad de Personas) en la cola 'q'.

Lq= 2.98

$$Wq = \frac{\lambda}{\mu(\mu - \lambda)}$$

Wq= Cantidad de Tiempo ('w' de Wait) en la cola 'q'.

Wq= 0.5031

$$\rho = \frac{\lambda}{\mu}$$

ρ = Porcentaje del uso del Sistema

ρ = 0.7905

$$P_0 = 1 - \rho$$

P_0 = Probabilidad de que el sistema se encuentre desocupado

P_0 = 0.2095

IMAGEN 2. Fórmulas.

TABLA 3. Sustitución de fórmula

y las salidas, todo esto con respecto al comportamiento de los clientes.

ModelEntity	CLIENTES	[Population]	Content	NumberInSystem	Average	10.4260
					Maximum	20.0000
			FlowTime	TimeInSystem	Average (Hours)	1.4053
					Maximum (Hours)	2.6420
					Minimum (Hours)	0.1687
					Observations	71.0000
			Throughput	NumberCreated	Total	91.0000
				NumberDestroyed	Total	71.0000

IMAGEN 3. Resultados de la simulación, clientes

En IMAGEN 3, se muestra que el porcentaje de atención por hora son 10 clientes, así como el porcentaje que puede durar un cliente en todo el trayecto desde que entra hasta que sale, es de 1 hora, lo cual nos indica que puede haber un problema si solo es un servidor, en algún punto, tendrá demasiadas personas esperando su pedido.

Object Type	Object Name	Data Source	Category	Data Item	Statistic	Average Total
Server	SERVIDOR	Processing	Throughput	NumberEntered	Total	72.0000
				NumberExited	Total	71.0000
			HoldingTime	TimeInStation	Average (Hours)	0.1687
		Content	NumberInStation	Average	1.0000	
				OutputBuffer	Throughput	NumberEntered
		NumberExited	Total	71.0000		
		InputBuffer	Throughput	NumberEntered	Total	91.0000
				NumberExited	Total	72.0000
			HoldingTime	TimeInStation	Average (Hours)	1.2543
			Content	NumberInStation	Average	9.4260

IMAGEN 4. Resultados de la simulación, servidor

En la IMAGEN 4, se observa a el servidor, donde la simulación muestra que el tiempo que se pasa en esta estación el cliente en promedio es de 0.1687 Horas.

Sink	SALIDAS	InputBuffer	Throughput	NumberEntered	Total	71.0000
				NumberExited	Total	71.0000
		[DestroyedEntities]	FlowTime	TimeInSystem	Average (Hours)	1.4053
Source	ENTRADAS	Processing	Throughput	NumberEntered	Total	91.0000
				NumberExited	Total	91.0000
		OutputBuffer	Throughput	NumberEntered	Total	91.0000
				NumberExited	Total	91.0000

IMAGEN 5. Resultados de la simulación, entradas y salidas.

En la IMAGEN 5, se observan las salidas primero, donde muestra el tiempo promedio que paso el cliente dentro de la empresa, que es un promedio total de 1.4053 Horas, y en total salieron 71 clientes, cuando abajo, muestra que el número total de clientes que ingresaron fueron de 91, quiere decir que se perdieron cerca de 20 clientes, que por alguna razón no realizaron todo el proceso y no fueron atendidos.

Trabajo a futuro

Después de todo lo registrado, se propone que se habilite otro servidor, según los horarios y días más fuertes, para poder atender más rápido y poder brindarle un mejor servicio y atención al cliente, así como realizar otro estudio similar a este en donde se pueda apreciar el flujo de clientes en los fines de semana, así como en los días festivos, para poder llevar acabo un análisis más completo a conveniencia de la empresa

Conclusiones

Con esta investigación se obtuvo un promedio del comportamiento de los clientes, aunque si bien es verdad que no son del todo predecible pues hay factores diversos que tienen que ver con el flujo que tengan estos dentro del sistema, como lo son los horarios de comidas, incluso el clima.

En esta investigación se observó que en ciertos periodos se puede carecer de la capacidad de servicio necesario, ya que solo se contaba con un servidor, lo que causa, en ciertos momentos, colas excesivamente largas. Esto puede producir pérdida de prestigio para la empresa y pérdida de clientes ya que estos están pagando un costo, que es el tiempo más alto del que esperaban. Ahora solo queda analizar más propuestas para reducir el tiempo promedio de espera, así como aumentar la calidad del servicio.

Referencias bibliográficas

- [1] Toro, L. A. D., & Vélez, J. G. L. (2018). "Percepción de los quiteños frente a líneasde espera. estudios de administración". Kairós. Revista de Ciencias Económicas, Jurídicas y Administrativas, 1(1), 82-88.
- [2] Vergara, A. M. (2019). Aplicación de la Teoría de líneas de Espera en el servicio de Biblioteca deuna Organización Educativa en Cartagena– Colombia. Saber, ciencia y libertad, 14(1), 171- 178.
- [3] Guillermo, D., Glas, G., Freire, G., Galli, A. C., Pérez, M. D. C., Rados, M., ... & Rey, P. A. (2017). Modelo matemático mediante líneas de espera para el desarrollo de un simulador. In XVSimposio Argentino de Investigación Operativa (SIO)-JAIIO 46 (Córdoba, 2017).
- [4] López Hung, E., Triay, J., & Gen, L. (2018). Teoría de colas aplicada al estudio del sistema deservicio de una farmacia. Revista Cubana de Informática Médica, 10(1), 3-15.
- [5] Arista, J. (2016). *Aplicación de la teoría de colas al problema de atención al cliente para la optimización del número cajeros en ventanillas en la organización BCP*. 2020, de Sitio web: http://cybertesis.unmsm.edu.pe/bitstream/handle/cybertesis/5227/Arista_aj.pdf?sequence=1
- [6] E. López Hung y L. G. Joa Triay,(2018) «Teoría De Colas Aplicada Al Estudio Del Sistema DeServicio De Una Farmacia,» Revista Cubana de Informática Médica.
- [7] Hillier, F. & Lieberman, G. (2015). *Introducción a la investigación de operaciones (9ª)*. México: McGraw-Hill.
- [8] Verial D. (2018). *Las ventajas y desventajas de la teoría de colas*. Febrero, 2020, de TechlandiaSitio web: https://techlandia.com/ventajas-desventajas-teoria-colas-info_80840/
- [9] Perez, M. (2015). "Aplicacion de la teoria de colas en una fotocopiadora". Abril, 2020, de PREZI Sitio web: <https://prezi.com/grlesiftjzum/aplicacion-de-la-teoria-de-colas-en-una-fotocopiadora/>
- [10] Hamdy,A. (2015). *Sistemas de colas. En Investigación de operaciones* (p.579). México: PEARSON.
- [11] Zorrilla, J. (2020). *Las líneas de espera*. de Online Marketing & Business Sitio web: <https://www.juliozorrilla.com/las-lineas-de-espera/>