REVISTA TECNOLOGÍA DIGITAL

"Semillero de Investigadores"

ISSN: 2007-9400

"Tecnología para la sociedad"

www.revistatecnologiadigital.com

Volumen 14 Número 2

Desde 2011

Año 2024

REVISTA TECNOLOGÍA DIGITAL

CONSEJO EDITORIAL.

Presidente. Dr. Héctor Guerra Crespo.
Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez.
hgcrespo@hotmail.com, hector.gc@tuxtla.tecnm.mx

Secretario. M.C. Walter Torres Robledo.
Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez.
walter.tr@tuxtla.tecnm.mx

Editor M.C. Imelda Valles López.
Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez.
imelda.vl@tuxtla.tecnm.mx

Editor M.C. Octavio Ariosto Ríos Tercero.
Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez.
octavio.rt@tuxtla.tecnm.mx

Editor traductor. Dra. Magdalena Guerra Crespo.
Departamento de Fisiología, Facultad de Medicina, UNAM.
mguerra@ifc.unam.mx

Editor traductor. Dra. María Candelaria Gutiérrez Gómez.
Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez.
maria.gg1@tuxtla.tecnm.mx

Revista Tecnología Digital.

Índice LatIndex: 23658.
ISSN: 2007-9400.
Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez.
Carretera Panamericana Km. 1080.
C.P. 29000, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México.
Departamento de Sistemas y Computación.
01-961-6150461 Ext. 319
www.revistatecnologiadigital.com

Editor Responsable.

Editorial Tecnología Didáctica®.
Dr. Héctor Guerra Crespo.
Registro del padrón de editores: 970-94054 de fecha 22-junio-2004.
Calle Oleaje 388 fraccionamiento La Herradura, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. C.P. 29054, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México.
www.tecnologiadidactica.com

Revista Tecnología Digital. Año 14, Volumen 14, Número 2 de 22 de diciembre de 2024 es una publicación anual on-line www.revistatecnologiadigital.com editada por Héctor Guerra Crespo oficinas en Calle Oleaje 388 fraccionamiento La Herradura, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. C.P. 29054. Correo-e hgcrespo@hotmail.com. Editor responsable: Héctor Guerra Crespo. Reserva de derechos al uso exclusivo No. 04-2014-022811040300-203 otorgado por el Instituto Nacional de Derechos de Autor. ISSN 2007-9400. Responsable de la última actualización de este número Dr. Héctor Guerra Crespo Presidente del Consejo Editorial. Fecha de la última modificación, 22 de diciembre de 2024.

Las opiniones expresadas por los autores no reflejan la postura del editor de la publicación.
Queda prohibida la reproducción total o parcial de los contenidos e imágenes de la publicación sin previa autorización del editor responsable. Índice LatIndex: 23658.

Índice.

	Página.
Agricultura 4.0. El estrés hídrico en plantas estimado mediante un robot móvil.	 1
Análisis y simulación de elementos principales de la etapa de corte de implemento agrícola para cosecha de caña de azúcar.	 9
Análisis y simulación de esfuerzos en las componentes que conforman a una armadura para uso agrícola.	 19
Aplicación de sensores de visión para un sistema de clasificación inteligente para la industria agrícola.	 37
Arquitectura de gestión de un Data Warehouse para control de la deserción en el Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez.	 55
Desarrollo de intercambiador de calor para determinar los coeficientes individuales basado en Industry 4.0.	 71
Diseño de sistema integral automatizado para control de cultivos con IoT.	 99
Diseño y construcción de un prototipo de balanceo de inyectores a gasolina automotriz.	 109
Evaluación de un plan agregado de producción utilizando programación en Visual Basic.	 119
Interfaz para análisis y procesamiento de señales EMG (Electromiográficas) utilizando MATLAB.	 129
Herramienta web para la obtención de datos relacionados con trastornos mentales en jóvenes universitarios.	 143
Propuesta de prescripción y transcripción de medicamentos controlados utilizando reconocimiento de voz con PLN.	 153
Prototipo mecánico de máquina cortadora de cubre polvos de tipo CVJ.	 161
Sistema de molido y embolsado de café a baja escala.	 173
Uso de herramienta computacional para el análisis de la compensación en adelanto por el Lugar Geométrico de las Raíces.	 183

Agricultura 4.0. El estrés hídrico en plantas estimado mediante un robot móvil.

Agriculture 4.0. Water stress in plants estimated by a mobile robot.

Madaín Pérez Patricio (1).
Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez.
madain.pp@tuxtla.tecnm.mx.

Lorena Elizabeth Balandra Aguilar* (2). Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Comitán, lorena.ba@comitan.tecnm.mx.

Ernesto Alonso Ocaña Valenzuela (3). Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico Superior de Comalcalco, ernesto.ocaña@comalcalco.tecnm.mx.

Juan Belisario Ibarra de la Garza (4). Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Linares, jibarra@itlinares.edu.mx.

*corresponding author.

Artículo recibido en octubre 04, 2024; aceptado en noviembre 11, 2024.

Resumen.

El proyecto consiste en desarrollar una metodología para identificar de forma temprana el estrés hídrico en plantas en función del vigor en sus hojas e integrar un sistema de registro y análisis de información mutimodal. Esto mediante el desarrollo de un algoritmo para la estimación de la profundidad o altura de las hojas a partir de una sola imagen usando métodos de deep learning, además establecer una relación matemática entre el cambio de altura de las hojas de la planta y el estrés hídrico, construyendo un sistema hidropónico automatizado para control de riego de las plantas, esto con la intención de formar recursos humanos especializados, construyendo un robot móvil autónomo para facilitar la adquisición de imágenes para el análisis de las plantas, utilizando sensores de humedad con tecnología IoT.

Palabras claves: Deep learning, robot móvil, sensores, sistema hidropónico.

Abstract.

The project consists of developing a methodology to early identify water stress in plants based on the vigor of their leaves and integrating a multimodal information registration and analysis system. This by developing and algorithm to estimate the depth or height of the leaves from a single image using deep learning methods, algo establishing a mathematical relationship between the change in height of the plant leaves and water stress, building an automated hydroponic system to control plant irrigation, with the intention of training specialized human resources, building an autonomous mobile robot to facilitate the acquisition or images for plant analysis, using humidity sensors with IOT Tecnhology.

Keywords: Deep Learning, hydroponic system, mobile robot, sensors.

1. Introducción.

Hoy día la tecnología se encuentra inmersa en casi todas las áreas de la ciencia en aquellas que se busca resolver una problemática o facilitar un trabajo, la tecnología esta presente en el sector agrícola, pues ha servido como una herramienta para el hombre y la naturaleza, agricultura y tecnología forman la agrotecnología. El procesamiento digital de imágenes es un campo que incluye varias ciencias tales como la óptica, electrónica, matemática, fotografía e informática combinar estas ciencias ayuda a la detección temprana y confiable de plagas para combatirlas sin químicos y sin afectar a las plantas, contribuyendo con ello a la salud del agricultor y de los consumidores. (Rosero, Cabrera, Anrango, Yandún y Lascano, 2019).

Los profesionales inmersos en esta áreas no están formados en conocimientos de tecnología, por lo que aplicar conocimientos automatizados en esta área se ha dificultado, pero con el paso del tiempo las personas involucradas se han familiarizado más con la aplicación de la automatización en la agronomía, a esto se le conoce como Agronomía 4.0. y las actividades que se hacían de forma manual para la detección de enfermedades de las plantas por ejemplo se ha ido facilitando con el uso de diferentes herramientas tecnológicas.

Para la adquisición de imágenes una hoja de la planta se captura a través de la cámara para su procesamiento, almacenamiento y transmisión. Esta imagen está en forma RGB (rojo, verde y azul) imagen a color. Para el preprocesamiento se aplican técnicas de mejoramiento de contraste y reducción de ruido, el suavizado de la imagen se realiza utilizando el filtro de suavizado. Luego se segmenta la imagen que es la división de la imagen en varias partes de mismas características o que tengan alguna similitud. Luego se extraen las características para identificar el objeto, se usa la extracción de color, textura, morfología y bordes. (Rosero, Cabrera, Anrango, Yandún y Lascano, 2019).

Este primer proceso que se tiene que hacer, para la captura de las imágenes se usará una cámara digital para capta de imágenes y un robot móvil para que haga el recorrido correspondiente.

Las tecnologías agrícolas están evolucionando rápidamente hacia un nuevo paradigma: la agricultura 4.0. Dentro de ese paradigma, la digitalización, la automatización y la inteligencia artificial juegan un papel importante en la producción de cultivos, incluyendo el control de malas hierbas y el control de plagas. (Santos y Kienzle, 2020).

Ahora bien, para fines del presente artículo se entiende por Agricultura 4.0 una agricultura que integra una serie de innovaciones para producir productos agrícolas, agricultura de precisión es un concepto de gestión agrícola basado en la observación, la medición y la respuesta a la variabilidad de los cultivos en diferentes campos. (Santos y Kienzle, 2020).

La agricultura 4.0 ofrece muchas posibilidades. Los drones y otras plataformas de detección pueden proporcionar información en tiempo real, producen imágenes, captan diferentes parámetros agronómicos y alertan a los agricultores sobre el progreso de un cultivo, el estado del suelo, la aparición o el riesgo de plagas y enfermedades. Un robot agrícola puede realizar las tareas repetitivas que reducen mano de obra, reduce las pérdidas de rendimiento debido a la detección tardía de plagas y enfermedades. (Santos y Kienzle, 2020).

La tarea puede resultar monótona y repetitiva, pero al lograr automatizarlo con el apoyo del robot móvil y la cámara servirá constantemente para implementarla en cualquier proyecto de automatización que requiera la producción de imágenes para evitar enfermedades en las plantas.

Al adoptar tecnología agrícola, se presentan desafíos como la propiedad y gestión de los datos digitales, el tener los conocimientos, capacidad y habilidad para manejar robots agrícolas, adaptación de los sistemas de explotación agrícola, el precio de compra, la infraestructura de Tecnologías de Información y el mantenimiento y servicio técnico. (Santos y Kienzle, 2020).

2. Métodos.

Para realizar el diseño y construcción de un robot móvil autónomo aplicado a la estimación del estrés hídrico en plantas, es importante desarrollar una metodología para identificar de forma temprana el estrés hídrico en plantas en función del vigor en sus hojas e integrar un sistema de registro y análisis de información multimodal.

1. **Para lograr este objetivo es necesario entonces desarrollar un algoritmo para la estimación de la profundidad o altura de la planta a partir de una sola imagen usando métodos de deep learning.**

Entendiéndose el concepto de deep learning como el aprendizaje profundo que es un subcampo de Machine Learning que usa una estructura jerárquica de redes neuronales artificiales, que se construyen de una forma similar a la estructura neuronal del cerebro humano, conectadas como una tela de araña, permitiendo hacer el análisis de una forma no lineal, aprender con el ejemplo, puede aprender a realizar tareas de clasificación directamente desde imágenes, texto o sonidos. Los modelos se entrenan utilizando un gran conjunto de datos etiquetados y arquitectura de redes neuronales que contienen muchas capas. (Centeno, 2019).

El aprendizaje profundo requiere grandes cantidades de datos etiquetados y una gran potencia de cálculo. (Centeno, 2019).

2. **Además, se requiere un sistema hidropónico automatizado para control de riego de las plantas.**

El buen control del riego es una de las mejores vías para capitalizar la gran inversión hecha en sistemas de hidroponía, el manejo del riego en hidroponía se hace midiendo manualmente el drenaje resultante de los riegos del día, obteniendo un comportamiento promedio. (Bribiesca, 2021).

3. **Es necesario además formar recursos humanos especializados.**

La formación de recursos humanos es uno de los desafíos que tiene la agroindustria 4.0, ya que un buen profesional de la agricultura no necesariamente es experto en tecnologías digitales y robótica, y se hace necesario crear la capacidad para la implementación de estos equipos automatizados para su uso correcto para que realmente se utiliza todo el potencial de los robots agrícolas. (Santos y Kienzle, 2020).

4. **Construir un robot móvil autónomo para la adquisición de imágenes para el análisis de las plantas.**

Este robot es relevante en el ámbito de la agricultura dada su capacidad para automatizar los procesos agrícolas y efectuar tareas sumamente complejas o repetitivas para un humano. Los robots agrícolas se valen de una serie de dispositivos y tecnologías para su adecuado funcionamiento como sensores de obstáculos, GPS, módulos de radiocontrol, sensores infrarrojos, conexión wifi, brazos de múltiples grados de libertad y las cámaras. (Arquiñego, Bustinza, Gastañaga y Rivas, 2022).

5. **Desarrollar sensores de humedad de suelo y ambiente con tecnología IoT.**

Estos sensores de humedad del suelo son extremadamente útiles para determinar los niveles de agua, facilitando considerablemente los esfuerzos de los agricultores y reduciendo los costos, el uso de éstos, eficientizan el riego habitual, ya que permiten a los agricultores estimar los niveles de agua sin necesidad de estar físicamente en el lugar. (Cherlinka, 2022).

Existen diferentes tipos de sensores de humedad con relación a su tecnología (Cherlinka, 2022):

- Sensores terrestres.
- Sensores aéreos.
- Sensores satelitales.

6. **Implementar un sistema de adquisición, registro y visualización multimodal, proveniente de imágenes y sensores.**

El registro de imágenes se define como el proceso de alinear imágenes de una misma escena capturadas bajo diferentes condiciones. Cuando estas imágenes corresponden a distintos espectros se denomina registro multimodal. (Cárdenas, 2018).

3. Desarrollo.

1. Establecimiento del sistema hidropónico preparando los materiales, sembrando las semillas, preparación de soluciones y automatización del sistema.

   Se utiliza como laboratorio el cultivo abierto de maíz, ubicado en Tecnológico Nacional de México, Comitán, utilizando para este ejercicio agricultura abierta.

2. Diseño, construcción y evaluación del comportamiento del robot móvil autónomo en cultivos protegidos.

   El prototipo corresponde a un modelo Raspbot de la empresa Yahboom, incluye una tarjeta embebida Raspberry Pi 4 Modelo B. Es un dispositivo de bajo costo y por lo tanto el rendimiento es lento comparado con otros dispositivos. Tiene una cámara Raspberry Pi Rev 1.3 de 5 Megapíxeles y una batería de litio de 12.6 V para su funcionamiento sin estar conectado a una fuente. Se conecta a una placa arduino para el envío de las coordenadas geográficas al robot mediante una comunicación serial.

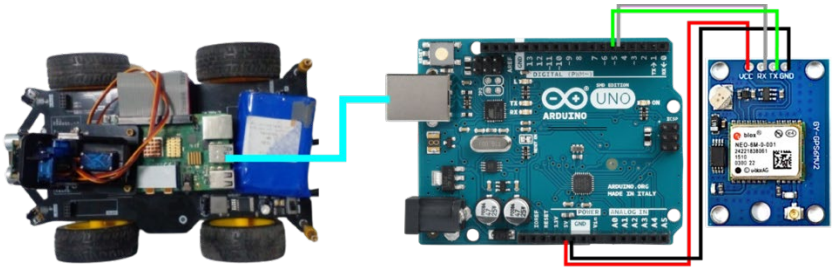


Figura 1. Diagrama de conexión del prototipo.

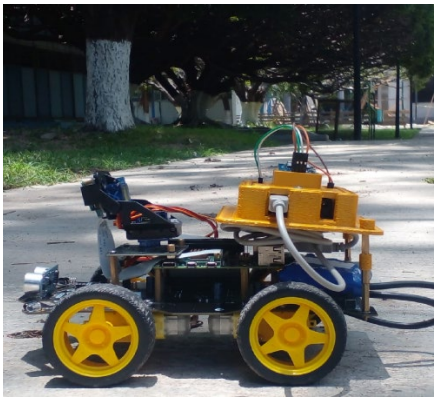


Figura 2. Prototipo.

La comunicación y el control se realizó mediante Bluetooth para aprovechar las áreas en donde no se tienen conexiones de internet, y ofrece un rango de 100 m.

Se desarrolló un programa en Python para la comunicación entre el robot y la placa arduino con opciones para el direccionamiento de la cámara para captura de imágenes.

3. Elaboración de algoritmo de estimación de estrés en plantas en donde se alimentarán las plantas en diferentes condiciones y se adquirirán las imágenes de color y de profundidad.

   La comunicación en el programa para la adquisición de imágenes se realizó mediante Bluetooth y la recepción de las coordenadas geográficas del GPS.

   El robot está listo para la adquisición de las imágenes y una vez elaborada la base de datos de las imágenes se pueda realizar las comparaciones con los sensores de humedad.

4. Desarrollo de sensores IoT de humedad y otros parámetros ambientales.

5. Implementación del sistema de registro y visualización de información.

Conclusiones.

Al llevar a cabo el diseño y construcción de un robot móvil autónomo aplicado a la estimación del estrés hídrico en plantas, coadyuvara a desarrollar una metodología que permita identificar de forma temprana el estrés hídrico en plantas en función del vigor en sus hojas e integrar un sistema de registro y análisis de información mutimodal. Esta información será en beneficio de los cultivos que se realicen ya que se podrá detectar con anticipación problemas de enfermedades de las plantas y posibles plagas, que al detectarla de manera anticipada permitirá actuar a tiempo sin perder la calidad de lo que se produce. La aplicación de diversas herramientas tecnológicas en el área de agronomía permite además el formar recursos humanos especializados que combinen cada día más aplicaciones tecnológicas en actividades del campo asegurando con esto la calidad de los productos.

Créditos.

Los autores agradecen al Tecnológico Nacional de México por el financiamiento del proyecto a través de la *Convocatoria Proyectos de Investigación Científica, Desarrollo Tecnológico e Innovación 2024 de los Institutos Tecnológicos Federales y Centros.*

Referencias bibliográficas.

Arquiñego, B., Bustinza, S., Gastañaga, G. y Rivas, J. (2022). Diseño Mecatrónico de un Robot Móvil de detección de hongos y plagas en cultivos de naranjos. https://www.urp.edu.pe/pdf/id/41572/n/robot-movil-de-deteccion-de-hongos-y-plagas-en-cultivos-de-naranjos.

Bribiesca, R. (4 de febrero de 2021). El control del riego en hidroponía, https://agrofacto.com/control-riego-hidroponico/.

Cárdenas, J. (Agosto de 2018). Registro multimodal de imágenes VIS, SWIR y LWIR en hardware dedicado. Tesis [Magíster en Ciencias de la Ingeniería con Mención en Ingeniería Eléctrica] Universidad de Concepción, Chile.

Centeno, A. (Julio de 2019). DEEP LEARING, Universidad de Sevilla, Trabajo de fin de grado, doble grado en Matemáticas y estadística, https://idus.us.es/bitstream/handle/11441/90004/Centeno%20Franco%20Alba%20TFG.pdf.

Cherlinka, V. (3 de agosto de 2022). Sensores de humedad del suelo: ¿para qué sirven?. https://eos.com/es/blog/sensores-de-humedad-del-suelo/.

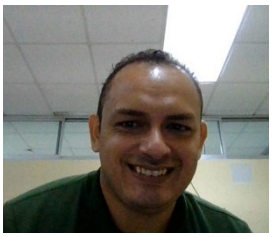
Rosero N, Cabrera J, Anrango M, Yandún M, Lascano S. (14 de septiembre de 2019). Detección de enfermedades en cultivos de papa usando procesamiento de imágenes, Revista Cumbres Vol. 6 Nº 1, Versión electrónica ISSN 1390-3365. http://investigacion.utmachala.edu.ec/revistas/index.php/Cumbres.

Santos, S. y Kienzle J. (2020). Agricultura 4.0 Robótica agrícola y equipos automatizados para la producción agrícola sostenible. https://www.fao.org/3/cb2186es/cb2186es.pdf

Información de los autores.

Madaín Pérez Patricio es graduado como Doctor en Ciencias en Automatización y Computación Industrial en 2005, por la Universidad de Ciencias y Tecnologías de Lille, Francia. Investigador y Docente desde 1997 en el Departamento de Posgrado y la Carrera en Sistemas Computacionales del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez. Es miembro del Claustro Doctoral "Doctorado en Ciencias de la Ingeniería" perteneciente al Programa Nacional de Posgrados de Calidad, I.T. de Tuxtla Gutiérrez desde 2016. Miembro del Sistema Nacional de Investigadores, nivel II.

Lorena Elizabeth Balandra Aguilar es Doctora en Educación por el Instituto de Estudios Universitarios en febrero de 2011, Maestra en Educación Superior por la Universidad Autónoma de Chiapas en febrero de 2001 y Licenciada en Sistemas Computacionales por la Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla en abril de 1995. Docente desde 1996 del departamento de Sistemas y Computación en el Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Comitán, y del departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica en el TecNM / Instituto Tecnológico de Puebla durante septiembre de 2016 a septiembre de 2021 y desde septiembre de 2021 a la fecha nuevamente en el TecNM / I.T. Comitán, reconocimiento de perfil deseable para profesores de tiempo completo desde julio de 2013 a la fecha. Miembro de Cuerpo académico en Formación desde 2015 y 2023, miembro del Sistema Estatal de Investigadores durante 2011-2012 y de la Red Nacional de Monitoreo y Recolección de datos desde 2024.



Ernesto Alonso Ocaña Valenzuela. Forma parte de la academia de Ingeniería Electrónica e Ingeniería Mecatrónica en el Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Comalcalco. Miembro de la Red Nacional de Monitoreo y Recolección de datos desde 2024. Reconocimiento de perfil deseable para profesores de tiempo completo. Líder de Cuerpo académico y Miembro de la Red Nacional de Monitoreo y Recolección de datos desde 2024. Sus áreas de interés son la manufactura avanzada y actualmente está enfocado en el área de visión artificial.

Juan Belisario Ibarra De La Garza es Doctorante en Ingeniería Aplicada por el Colegio de Formación Educativa Tenam en Agosto de 2024, Maestro en Gestión de Tecnologías de Información por la Universidad TecMilenio del Sistema Tecnológico de Monterrey, Campus las Torres, Abril de 2013 y es Ingeniero en Electrónica y Comunicación por ITESM Campus Monterrey en Diciembre de 1993. Docente desde 1994 del departamento de Sistemas y Computación en el Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Linares. Miembro de la Red Nacional de Monitoreo y Recolección de datos desde 2024.

Análisis y simulación de elementos principales de la etapa de corte de implemento agrícola para cosecha de caña de azúcar.

Analysis and simulation of main elements of the stage cutting agricultural implement for cane harvest of sugar.

José Manuel Rasgado Bezares (1).
Docente del Tecnológico Nacional de México/I. T. de Tuxtla Gutiérrez.
jose.rb@tuxtla.tecnm.mx.

Saúl de Jesús Molina Domínguez* (2). TecNM/I. T. de Tuxtla Gutiérrez, saul.md@tuxtla.tecnm.mx.

Ignacio Arrioja Cárdenas (3). TecNM/I. T. de Tuxtla Gutiérrez, ignacio.ac@tuxtla.tecnm.mx.

Julio César Llaven Gordillo (4). TecNM/I. T. de Tuxtla Gutiérrez, julio.lg@tuxtla.tecnm.mx.

Vitta Marlene Castillo Sánchez (5). TecNM/I. T. de Tuxtla Gutiérrez, vitta.cs@tuxtla.tecnm.mx.

*corresponding author.

Artículo recibido en diciembre 18, 2023; aceptado en febrero 26, 2024.

Resumen.

El proyecto consiste Realizar el modelado y análisis de esfuerzos mediante la herramienta virtual ANSYS de los elementos principales de la etapa de corte del proyecto "diseño de implementos agrícolas para la optimización de la cosecha en verde de la caña de azúcar; Realizar prototipos físicos o pruebas de ensayo en materiales, suelen ser tardados y de altos costos, es por eso, que herramientas tecnológicas computacionales como Ansys y/o Solidworks, por mencionar algunas, para la simulación del elemento finito con distintos materiales, ya sean piezas individuales o ensambladas; ayudan a tener una amplia visualización y análisis de información de estos elementos sujetos de prueba.

Palabras claves: Ansys, elemento finito, solidworks.

Abstract.

The project consists of carrying out stress modeling and analysis using the ANSYS virtual tool of the main elements of the cutting stage of the project "design of agricultural implements for the optimization of the green harvest of sugar cane; Carrying out physical prototypes or test tests on materials are usually time-consuming and expensive, which is why computational technological tools such as Ansys and/or Solidworks, to name a few, are used to simulate the finite element with different materials, whether parts individual or assembled; They help to have a broad visualization and analysis of information of these test subject elements.

Keywords: Ansys, finite element, solidworks.

1. Introducción.

Durante lo que se podría denominar proceso típico de diseño, cualquier profesional se ve obligado a dar respuesta a una serie de preguntas, es decir: ¿Encajan las distintas partes del modelo? ¿Se mueven adecuadamente? ¿Se aprecia algún tipo de interferencia?; Si bien los programas de modelos 3D y CAD suelen responder a la mayoría de estas preguntas, no son adecuados para muchas otras. Por ejemplo, los diseñadores podrían desear conocer el ciclo temporal de la maquinaria. ¿Es el actuador lo bastante potente? ¿Es el vínculo lo suficientemente robusto? ¿Es posible reducir el peso? Sin embargo, solo se puede responder a estas preguntas construyendo uno o varios prototipos del producto, propiciando mayores dificultades a esta metodología como la cantidad de tiempo que demanda y su alto coste.

Una buena alternativa para abatir o minimizar la condición anterior consiste en generar un prototipo virtual completamente funcional, ya que, sus herramientas permiten al diseñador convertir restricciones de ensambles en uniones mecánicas, de forma automática. Asimismo, proporciona la capacidad de aplicar fuerzas exteriores, incluida la gravedad, y permiten además incluir efectos como rozamiento, amortiguamiento e inercia, y tomarlas en consideración, también contempla las fuerzas de reacción, velocidad, aceleración, etc.

La simulación por computadora se utiliza ampliamente hoy en día en las empresas e industrias para analizar y mejorar la calidad de los productos y proyectos. El análisis se efectúa mediante uso de herramientas tecnológicas que utilizan el Método de Elementos Finitos, la cual nos permite obtener respuestas a muchos problemas de ingeniería.

El método puede ser aplicado en la resolución y diagnóstico de problemas de análisis estructural pala la obtención de desplazamientos, deformaciones y tensiones, también permite representar diferentes escenarios y evaluar el rendimiento de productos con aplicación de criterios de resistencia, rigidez o fatiga. También las variaciones del método de los elementos finitos permiten hacer análisis térmico, acústico, dinámico, electromagnético y de flujos de los casos más simples de comportamiento linear al no linear, como cuando se tienen grandes desplazamientos o contacto entre las partes de un conjunto. (ESSS 2016, Catalunya s.f.)

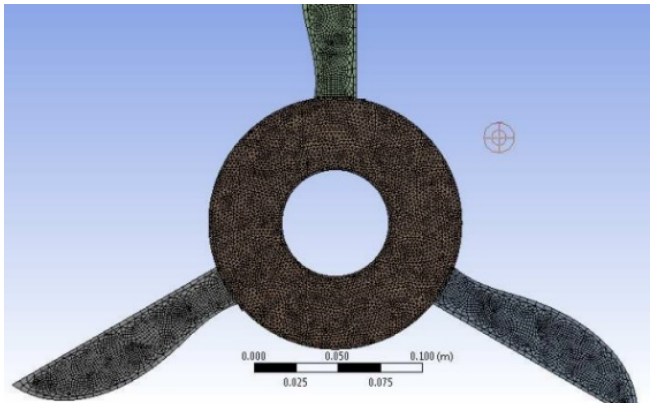


Figura 1. Diseño de cuchillas (Imagen propia).

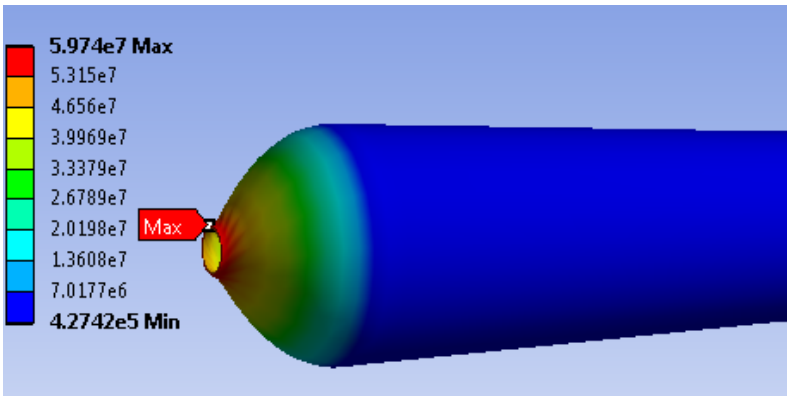


Figura 2. Mecanismo cortador (Imagen propia).

2. Métodos.

Análisis (engranes).

Para este análisis fue necesario realizar un nuevo diseño de engrane ya que los engranes sugeridos por parte de residentes anteriores, no cumplen con parámetros de diseño y no cumple con el trabajo para el cual serán requeridos, es por eso por lo que se procedió a realizar el rediseñar los engranes y realizar los cálculos pertinentes para sugerir los engranes con las siguientes características:

Para el engrane motriz (Piñón).

- $\emptyset = 20°$ *ángulo de* presión.
- $\boldsymbol{D_p} = 100mm$ *diámetro de paso.*
- $\boldsymbol{N_p}$ $P = 17$ *número de dientes del piñón.*
- $\boldsymbol{h_k}= 12$ mm $profundidad\ de\ trabajo.$
- $t = 9.239$ mm $espesor\ del\ diente.$
- $mf = 2.23$ $relación\ de\ contacto.$

Paso circular $\boldsymbol{P_c = \frac{\pi * D_p}{N_p} = \frac{\pi * 100}{17} = 18.479 \frac{mm}{diente}}$ ..... **Ecuación 1**

Módulo $\boldsymbol{m = \frac{D_p}{N_p} = \frac{100}{17} = 5.88 \approx 6}$ ..... **Ecuación 2**

Addendum $\boldsymbol{a = 1\ (m) = 1(6) = 6\ mm}$ ..... **Ecuación 3**

Dedendum $\boldsymbol{b = 1.25\ (m) = 1.25\ (6) = 7.5\ mm}$ ..... **Ecuación 4**

Claro $\boldsymbol{c = 0.25\ (m) = 0.25\ (6) = 1.5\ mm}$ ..... **Ecuación 5**

Diámetro exterior $\boldsymbol{D_0 = D + 2a = 100 + 2\ (6) = 112\ mm.}$ ... **Ecuación 6**

Diámetro de raíz $\boldsymbol{D_R = D - 2b = 100 - 2\ (7.5) = 85\ mm.}$ ... **Ecuación 7**

Altura total $\boldsymbol{h_t = a + b = 6 + 7.5 = 13.5\ mm}$ ..... **Ecuación 8**

Profundidad de trabajo $\boldsymbol{h_k = a + a = 2\ a = 2(6) = 12\ mm.}$ .. **Ecuación 9**

$$\text{Espesor del diente} \quad t = \frac{p_c}{2} = \frac{18.47}{2} = 9.239\ mm \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \textbf{Ecuación 10}$$

$$\text{Relación de contacto} \quad m_f = \frac{\sqrt{R_{op}^2 - R_{bp}^2} + \sqrt{R_{oG}^2 - R_{bG}^2} - C \sin\theta}{p \cos\theta} \ldots\ldots\ldots\ldots \textbf{Ecuación 11}$$

$$m_f = \frac{\sqrt{56^2 - 42.5^2} + \sqrt{56^2 - 42.5^2} - 100 \sin 20}{18.479 \cos 20} = 2.23 \ldots\ldots\ldots\ldots \textbf{Ecuación 12}$$

Estos cálculos se realizaron con base al libro Diseño de elementos de máquinas, cuarta edición, de Robert L. Mott, este libro sugiere que para engranes mayores de 30 dientes es recomendable usar piñones de 15 a 17 dientes para evitar una interferencia en el acoplamiento y trabajo de estos mismos. (Mott, 2006).

Diseño de la base cortadora y cuchillas.

El segundo diseño realizado fue para la base de la cortadora de caña de azúcar junto con las cuchillas, los parámetros y datos de entrada fueron los siguientes:

1. El material de este elemento es del mismo A-36 que del eje conducido visto en el análisis 1 de densidad especifica ρ=7860 kg/m^3, propiedades mecánicas como una resistencia a la fluencia de S_y=250 Mpa así mismo una resistencia a la tensión del material de S_{ut}= 400 a 550 Mpa.
2. El elementó está constituido por dos platos restrictores de 5mm de espesor y un diámetro de 15 cm, ensamblado con las hojas de corte de 5mm de espesor y 17 cm de longitud, el peso total del elemento según el programa Solidworks es de 0.707 kilogramos.
3. Para el análisis solo utilizaremos una condición de soporte que ira localizada en el agujero central de la base de la cortadora que ira acoplada al eje, este soporte lo supondremos fijo ya que el elemento ira soldado al eje conducido restringiendo así el movimiento en todos los ejes cartesianos así misma rotación en cada una de ellas.
4. Las condiciones de carga se aplicaran en dos zonas la primera que será la mayor es una fuerza de torsión localizada en el agujero central de la base de la cortadora mismo que es acoplado con el eje conducido ya que este par torsional vine directamente del motor hidráulico y se transmite a través del eje , este par torsional es de 850.8 N.m, la segunda fuerza aplicada del elemento es localiza en una de las caras de las cuchillas de corte la cual realizara el trabajo de corte, esta fuerza es de 100 N.

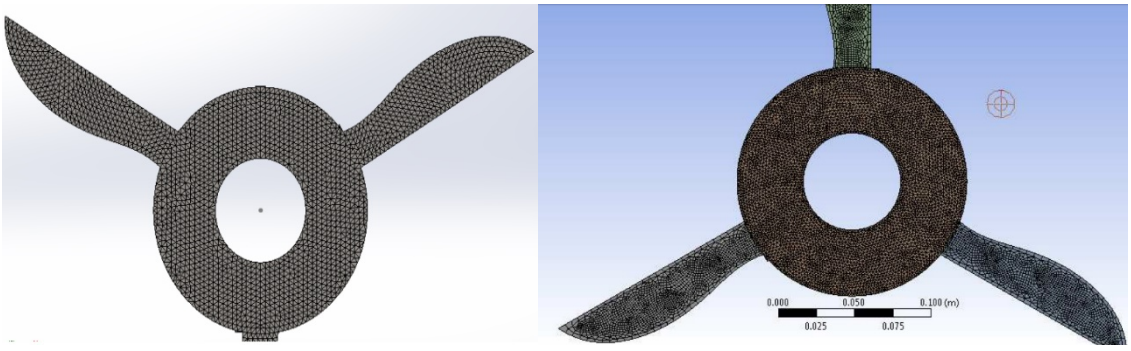


Figura 3. Mallado en Solidworks y Ansys respectivamente (Imagen propia).

3. Resultados.

Para estos parámetros y recomendaciones se procedió a realizar el diseño en el programa Solidworks y posteriormente se precedió a realizar los análisis pertinentes de esfuerzos de Von Misses, deformaciones y factores de seguridad en los programas de simulación de Solidworks y Ansys ver figura 4 y 5.

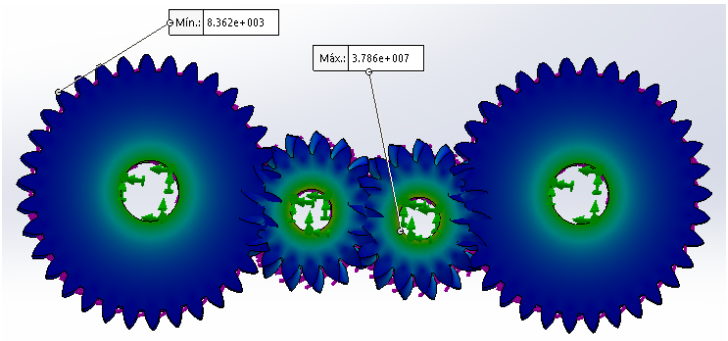


Figura 4. Esfuerzo de Von mises engranes con Solidworks (Imagen propia).

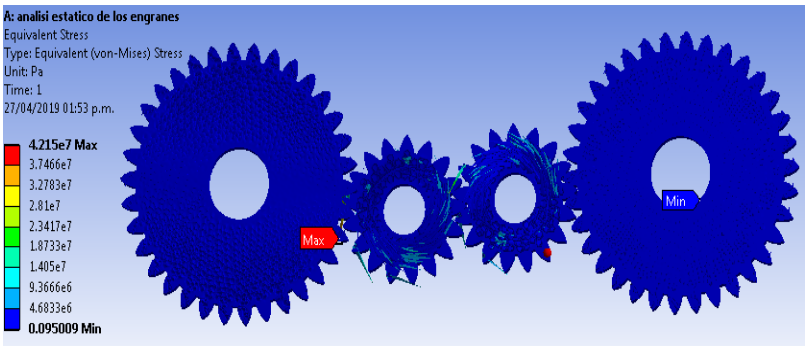


Figura 5. Esfuerzo de Von mises engranes con Ansys (Imagen propia).

Como se puede apreciar en las imágenes 4 y 5 los esfuerzos generales de von mises son parecidos en ambos programas, existe una variación del 10.17 % entre ambos resultados, esto sucede ya que Ansys tiene un refinado mayor de mayado el cual realiza los cálculos con mayor precisión.

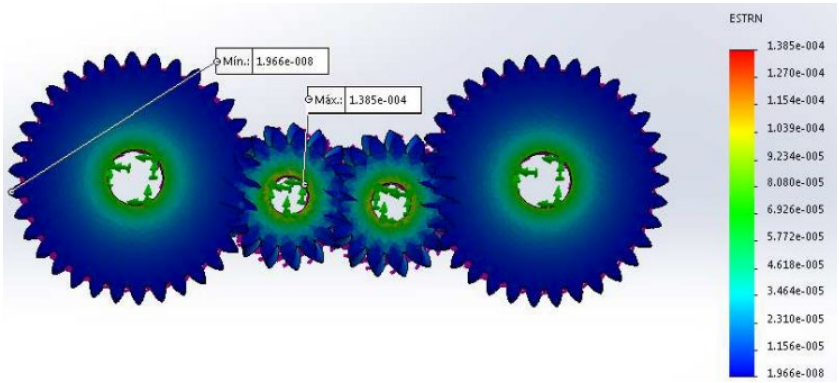


Figura 6. Deformación Unitaria con Solidworks (Imagen propia).

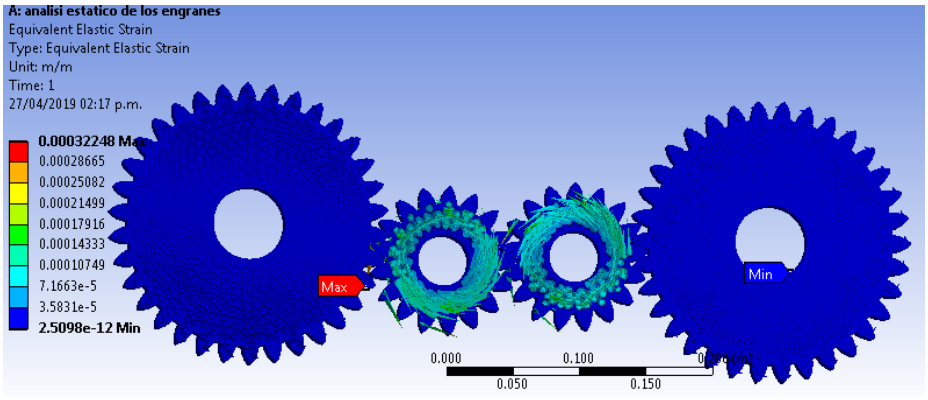


Figura 7. Deformación Unitaria con Ansys (Imagen propia).

La deformación unitaria que el programa Solid Works nos arroja es de 0.0001385 y el software Ansys nos da un valor de 0.0003248, al comparar los resultados podemos apreciar que existe una relación de más del doble, es decir el resultado de Ansys es más preciso.

El resultado del análisis y simulación en el software Ansys y Solidworks para los elementos mecánicos de la cosechadora de caña de azúcar fueron los siguiente; El primer análisis realizado fue para el eje conducido, los parámetros de entrada para este análisis fueron:

1. Material: acero comercial A-36 con densidad especifica de ρ=7860 kg/m^3, propiedades mecánicas como una resistencia a la fluencia de S_y= 250 Mpa así mismo una resistencia a la tensión del material de. S_{ut} = 400 a 550 Mpa.
2. Dimensiones del elemento: es un eje hueco con diámetro interno de $2\frac{1}{8}$ de pulgada, diámetro exterior de $2\frac{1}{2}$ pulgada, dejando un espesor de pared de $\frac{3}{16}$ de pulgada y una longitud de 9.8425 ft (3 metros), con un peso de 20.696 kg.
3. Condiciones de carga: El par de torsión de 850.8 N.m (newton-metros) efectuado por la potencia del motor hidráulico que hace girar al eje acoplado que se identificará como eje motor, una fuerza de 100 N (newton) que es aplicado en las navajas de corte debido al trabajo que estará realizando al cortar la caña de azúcar el cual producirá un momento torsor en el eje de 17.5 N.m según la distancia de esta fuerza de corte al eje que es de 17.5 cm, bajo estas condiciones de carga se realizó la simulación en los programas Ansys y Solidworks para comparar resultados y obtener mayor certeza de los resultados, cabe mencionar que el análisis realizado fue un análisis estático.

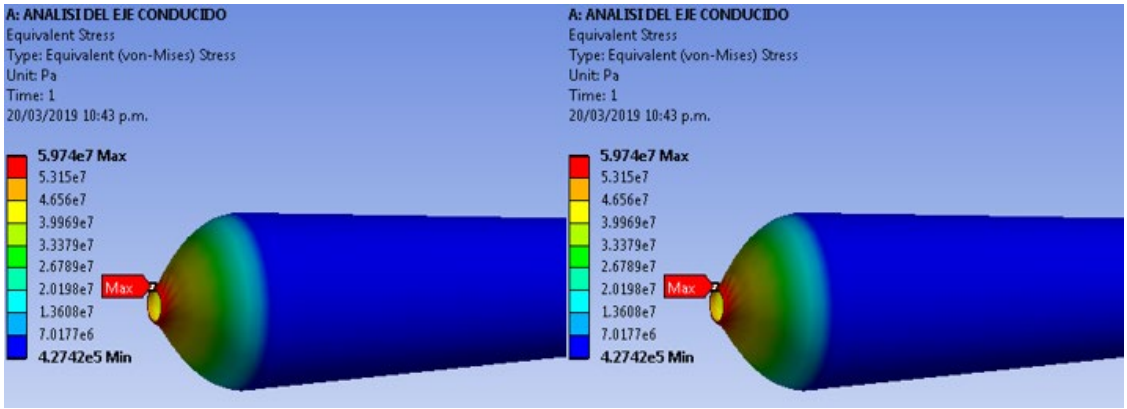


Figura 8. Esfuerzo de Von mises de Ansys y Solidworks respectivamente (Imagen propia).

Como se puede apreciar en las figuras 8 los esfuerzos de tención de Von Mises están bastante cercanos con una diferencia del 1.109 % entre ambos valores de los dos softwares.

En este análisis se puede apreciar que el eje sufrirá mayor esfuerzo en la parte que ira acoplada con el motor hidráulico, el máximo esfuerzo que el eje presenta es de aproximadamente $\sigma = 5.97e^7$ para Ansys y $\sigma = 6.037e^7$ para Solidworks.

Con base a estos datos de esfuerzo a tención (Von Misses) procederemos a verificar los factores de seguridad para ver la confiabilidad del material sometidos a las condiciones de cargas antes mencionadas, ver figura 9.

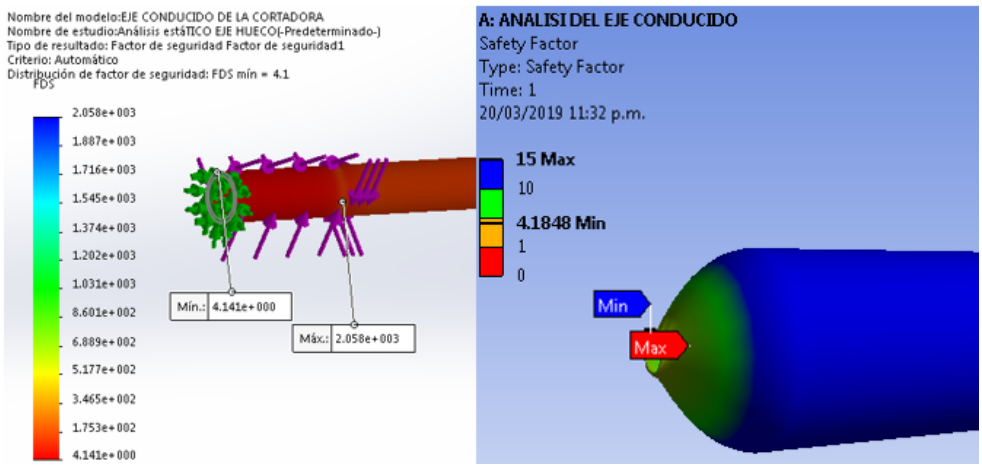


Figura 9. Factor de seguridad en Solidworks y Ansys respectivamente (Imagen propia).

Como se muestra en la figura 9 y 10 el factor de seguridad para ambos programas es de 4. Conociendo estos valores podemos darnos cuenta de que el material del eje si puede ser adecuado para el trabajo a realizar puesto que el factor de seguridad en el eje es de para Ansys.

$$n = \frac{S_y}{\sigma} = \frac{250e^6}{5.97e^7} = 4.1848$$

Es importante mencionar que bajo algún método de tratamiento térmico podríamos aumentar las propiedades mecánicas del material para así obtener un mayor factor de seguridad en nuestros elementos, según el libro de Shigley en su 9na. Edición, estos tratamientos térmicos podrían ser: recocido (normalizado), templado, revenido y un endurecimiento superficial. (Shigley 2008).

Es importante mencionar que Ansys cuenta con un mallado mucho más fino, la única problemática que existe es que la resolución que el software realiza exige una mayor capacidad computacional.

El siguiente paso de este análisis es comprobar la confiabilidad del material sujeto a estas condiciones de carga mediante el factor de seguridad.

Como se puede apreciar el factor de seguridad en ambos casos es muy confiable están en un promedio de n=13.406 (factor de seguridad). Este dato nos permitirá hacer ajustes posteriores para optimizar dicho elemento.

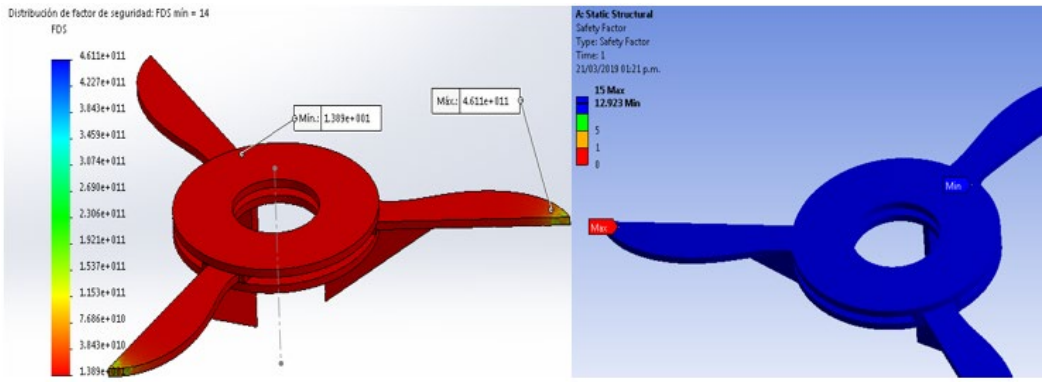


Figura 10. Factor de seguridad en Solidworks y Ansys respectivamente (Imagen propia).

Conclusiones.

En proyectos anteriores se sugirió un eje de las siguientes condiciones y características:

Un eje sólido con un material de acero aleado 20MnCr5 de densidad especifica ρ=7800kg/m^3 con un tratamiento térmico de normalizado a 900°c (grados centígrados), con una dureza superficial HB207 (Dureza Brinell), con propiedades mecánicas de: resistencia a la fluencia de S_y=400 Mpa y una resistencia ultima a la tensión de S_{ut}= 680 MPa.

Las condiciones de cargas eran las mismas antes vistas, una carga torsional de 850.8 N.m producido por el motor el cual es conducido a través de los engranes acoplados a dicho eje y una fuerza de 100 N la cual es requerida para el corte de una caña de azúcar.

La optimización que planteo es un eje con un material y dimensiones distintas, basándome en los análisis antes descritos en los resultados, este eje deberá tener las siguientes características.

1. Un material de acero A-36 con propiedades físicas y mecánicas como densidad especifica ρ=7860 kg/m^3, resistencia a la fluencia de S_y=250 Mpa y resistencia a tensión de S_{ut}= 400 a 550 Mpa.
2. Se sugiere un eje hueco ya que dará una mejor rigidez estructural aminorando el momento polar de inercia del elemento, las dimensiones sugeridas son: Diámetros de $2\frac{1}{2}$ pulgadas y $2\frac{1}{8}$ pulgadas exterior e interior respectivamente, dejando un espesor de $\frac{3}{16}$ pulgadas, con estas condiciones tendremos un eje con un factor de seguridad de n = 4.1.

Ya que el material antes sugerido carece de datos, decidí sugerir el mismo acero A-36 que se manejó para la simulación en el eje, cabe mencionar que este material es muy común en nuestro país y a un costo accesible.

Con las condiciones antes descritas en el apartado 7.2 (segundo análisis base de la cortadora y cuchillas) el resultado fue un factor de seguridad de un promedio n=13.406 entre ambos programas por lo cual se procedió a hacer modificaciones al ensamble, reduciendo el espesor de la cuchilla de 5mm a 1.5 mm de espesor y el resultado fue el siguiente: Al realizar dichos ajustes a la navaja de corte y realizar la corrida de la simulación nos arroja un factor de seguridad de n = 4.858 y un peso de 332.54 gramos

Referencias bibliográficas.

Catalunya (s. f.). *Retro informática F. d. (s.f.).* https://www.fib.upc.edu/retro-informatica/avui/simulacio.html.

ESSS (2016). *Método de los elementos finitos* https://www.esss.co/es/blog/metodo-de-los-elementos-finitos-que-es/

Robert L. Mott (2006). *Resistencia de Materiales, teoría de esfuerzos 5ed, Capitulo 3, 4 y 5.* Mott 5ed (2009). México, Prentice Hall, Pearson Educación de México, S.A. DE C.V. https://archive.org/details/ResistenciaDeMaterialesRobertL.Mott5taEdicion/page/n127/mode/2up

Shigley. En J. K. Richard G. Budynas (2008), *Diseño en ingeniería mecánica.* Shigley 9ed, pág. 16 y 46. (2008). México, D.F.: McGraw-Hill/Interamericana Editores, S.A. DE C.V. https://archive.org/details/diseno-en-ingenieria-mecanica-de-shigley-mc-graw-hill-9-edicion/page/16/mode/2up

José Manuel Rasgado Bezares, es Ingeniero Mecánico por el Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez; ha trabajado en proyectos de construcción y ampliación de Centrales Hidroeléctricas como supervisor de obra electromecánica de la Comisión Federal de Electricidad. Actualmente es jefe del Departamento de Metalmecánica y docente en activo del claustro en la H. Academia de Ingeniería Mecánica del Instituto Tecnológico Tuxtla Gutiérrez/Tecnológico Nacional de México. Ha publicado dos libros.

Saúl de Jesús Molina Domínguez es Ingeniero mecánico por el Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez de Chiapas, cuenta con una Maestría en Ciencias en Ingeniería Mecánica por el Instituto tecnológico de Celaya Guanajuato, cuenta con Doctorado en Ingeniería Aplicada por el Colegio de Formación Educativa Tenam.

Ignacio Arrioja Cárdenas, es profesor de tiempo completo y jefe de proyectos de docencia en el departamento de Metalmecánica del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez/Tecnológico Nacional de México. Doctor en Ingeniería aplicada por el Colegio de Formación Educativa Tenam, Maestro en Ciencias en Ingeniería Mecánica por el Instituto Tecnológico de Veracruz, Maestro en Ciencias Físicas (Física Teórica) por Centro Mesoamericano de Física Teórica-Universidad Autónoma de Chiapas e Ingeniero

Mecánico por el Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez; ha publicado diversos artículos en el área del diseño mecánico, mecánica de los fluidos y uno de teoría cuántica de campos; ha publicado cuatro libros en el área de ingeniería mecánica; ostenta el Perfil PRODEP (perfil deseable).

Julio Cesar Llaven Gordillo, es Doctor en Ingeniería aplicada por el Colegio de Formación Educativa Tenam, Maestro en Ciencias de la educación por el Instituto de Estudios Universitarios e Ingeniero Mecánico por el Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez. Hoy día es profesor de medio tiempo en el departamento de Metal-Mecánica del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez/ Tecnológico Nacional de México

Vitta Marlene Castillo Sánchez, es Maestra en Ciencias de la Educación por el Colegio de Formación Educativa Tenam, es Ingeniera Industrial en Eléctrica por el Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez, actualmente es profesora de medio tiempo en el departamento de Ciencias Básicas del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez. Ha publicado 2 libros.

Análisis y simulación de esfuerzos en las componentes que conforman a una armadura para uso agrícola.

Analysis and simulation of the stresses of the components that make up a reinforcement for agricultural use.

Saúl de Jesús Molina Domínguez (1).
Docente del Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez.
saul.md@tuxtla.tecnm.mx.

José Manuel Rasgado Bezares* (2). Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez,
jose.rb@tuxtla.tecnm.mx.

Juan Carlos Niños Torres (3). Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez,
juan.nt@tuxtla.tecnm.mx.

Ignacio Arrioja Cárdenas (4). Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez,
ignacio.ac@tuxtla.tecnm.mx.

Fernando Alfonso May Arrioja (5). Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez,
fernando.ma@tuxtla.tecnm.mx.

*corresponding author.

Artículo recibido en diciembre 03, 2024; aceptado en diciembre 20, 2024.

Resumen.

En este proyecto se presenta el diseño de una armadura enfocado a la población adulta mexicana-chiapaneca que labora constantemente en el campo, siendo el cultivo y cuidado de este su actividad principal. El objetivo es desarrollar un armazón capaz de reducir esfuerzo durante el tiempo en la que un agricultor se mantiene fumigando los cultivos con una bomba para fumigar; considerando las medidas antropométricas de la población objetivo. Para el diseño virtual del prototipo se utiliza una adaptación de la metodología de diseño mecánico de armaduras. El diseño propuesto es validado cinemáticamente mediante simulaciones en SolidWorks y algunos otros programas de computadora, comprobando el rango de resistencia en las piezas presentadas. Además, se realiza el análisis de elemento finito para cuantificar esfuerzos y deformaciones en el exoesqueleto, verificando la selección de materiales para su manufactura.

Palabras claves: Antropométricas, diseño virtual, elemento finito, exoesqueleto, SolidWorks.

Abstract.

This project presents the redesign of an exoskeleton focused on the Mexican-Chiapaneca adult population that constantly works in the field, with cultivation and care being its main activity. The objective is to develop an exoskeleton capable of reducing effort during the time in which a farmer continues spraying crops with a backpack pump sprayer, considering the anthropometric measurements of the target population. An adaptation of the

mechanical design methodology for exoskeletons is used to design the prototype. The proposed design is kinematically validated through simulations in Solidworks and some other computer programs, checking the resistance range in the presented parts. In addition, finite element analysis is carried out to quantify stresses and deformations in the exoskeleton, verifying the selection of materials for its manufacture.

Keywords: Anthropometrics, exoskeleton, finite element, SolidWorks, virtual design.

1. Introducción.

Los exoesqueletos mecánicos son acoplados a extremidades del cuerpo humano enfocados en su gran mayoría a la rehabilitación, incremento de fuerza, velocidad y rendimiento. Uno de los temas importantes tratados en este proyecto es el apoyo que se le otorga a un individuo en el ámbito laboral dentro de la actividad primaria de agricultura, pues en esta se engloba lo que es la utilización de diversos utensilios o herramientas; tal es el caso de los tanques aspersores para fumigar los plantíos. De ello se deriva la búsqueda de un diseño de exoesqueleto adecuado, que pueda otorgar fuerza de apoyo al trabajador, además de contar con un cómodo ajuste, que pueda evitar futuras lesiones de espalda o columna, por la continua utilización del tanque, como se puede observar en la figura 1.

Dentro de las actividades cotidianas de una persona, se tiene de las más básicas: caminar. Es una actividad automática y común, siendo de las funciones más importantes de las extremidades inferiores, además de soportar el peso de la persona, pero cuando por necesidades laborales se necesita mantener más peso del debido, se pueden recurrir a diversas técnicas de apoyo, como lo son mochilas, maletas, bolsos, etc., que puedan abastecernos como herramienta de carga; sin embargo, debido al uso continuo de estos objetos, algunas partes de nuestro cuerpo pueden sufrir daños irreversibles, que además de afectar físicamente, igualmente de manera económica, tanto para el individuo como para el productor en su venta de alimentos.

El diseño virtual de la armadura es un diseño que busca favorecer todos los puntos de trabajo para el agricultor, quien pasa gran parte del tiempo parado, caminando y que además mantiene una postura de carga, con un tanque sobre la espalda que tiene un peso determinado. La armadura minimizaría la fuerza que el cuerpo soportaría, pues gracias a la dispersión a través de los tubos donde se colocaría el tanque, y los acoplados a las piernas, el desgaste de carga sería menor. También se utilizarían materiales resistentes, ligeros, y económicos, que concuerden con una carga mínima para el operante; así, la construcción y uso de este serían fáciles y seguros.

Figura 1. Agricultores fumigando.

Lumbalgia.

La lumbalgia es la presencia de dolor en la región lumbar, es decir, en la espalda y cintura, que con frecuencia se recorre a los glúteos y muslos; generalmente se presenta después de realizar un gran esfuerzo con una postura

inadecuada, por ejemplo, después de cargar cosas muy pesadas sin protección de la columna o después de una caída o golpe muy fuerte. Se trata de un problema muy frecuente que afecta aproximadamente a 80 de cada 100 personas. Atendiendo a la duración de los síntomas, la lumbalgia puede definirse como:

- Lumbalgia aguda: el dolor puede reducirse hasta desaparecer después de unos días, durando hasta seis semanas, generalmente puede ser causada por períodos prolongados frente al computador en una postura dañina o debido al estrés psicológico y emocional.
- Lumbalgia subaguda: el dolor persiste de seis a doce semanas.
- Lumbalgia crónica: el dolor persiste por más de doce semanas. Por lo general, son signos de desgaste estructural. Puede ser subsecuente al dolor agudo si no se recibe tratamiento, o cuando se ve fomentado por una postura incorrecta por años, lo que consecuentemente puede desarrollar un daño, ver figura 2 (Aguilar B. E, 2010).

Causas clínicas de la lumbalgia:

- Mecánica.
- Inflamatoria.
- Neuropática.
- Traumático dolor referido (por enfermedad visceral o vertebral).
- Causa indeterminada.

Factores laborales de riesgo para la lumbalgia:

- Trabajo físicamente pesado.
- Posturas de trabajo estáticas.
- Flexiones y giros frecuentes de tronco.
- Levantamiento y movimientos potentes.
- Trabajo repetitivo.
- Vibraciones.

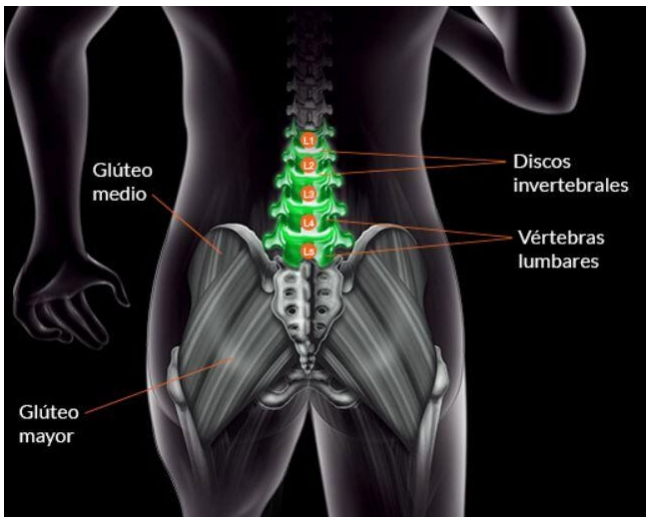


Figura 2. Área principal de afectación de la lumbalgia.

2. Métodos.

Método de elementos finitos (MEF).

El Método de los Elementos Finitos es un método numérico de resolución de problemas de Mecánica de Sólidos que resulta de gran importancia por su utilidad práctica. Es una herramienta de cálculo muy potente que permite al ingeniero estructuralista resolver infinidad de problemas. Sin embargo, es un método que no proporciona la solución "exacta" a un
problema dado, sino que, en realidad, posibilita obtener una solución aproximada que, con el juicio ingenieril que se le supone al calculista, puede ser más que suficiente para la resolución de un problema práctico, ver figura 3.

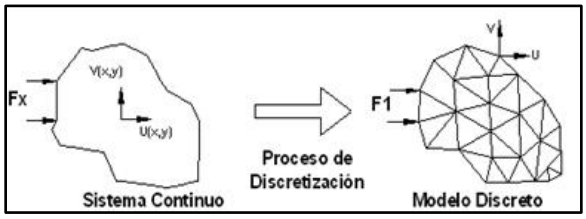


Figura 3. Modelación por elemento finito.

Las posibilidades del método no sólo se limitan a casos bidimensionales, sino que también, permite analizar problemas tridimensionales: podemos analizar cualquier pieza de cualquier geometría, obteniendo el campo tenso-deformacional en su interior, y así luego poder comprobar que la pieza analizada cumple con los requisitos estructurales que esperábamos de ella. En general, en un problema a analizar por el Método de los Elementos Finitos, conoceremos las fuerzas exteriores aplicadas en algunos de sus nudos y los valores de los desplazamientos en otros (dependiendo de las ligaduras que posea el sólido, ver figura 4). La clave del método está en que, tras su aplicación, obtendremos una expresión del tipo:

$$\{F\} = [K]\{u\} \quad \text{..... Ecuación 1.}$$

Donde:

{F} = vector columna, conocido como vector de cargas, están todas las fuerzas exteriores (directamente aplicadas y reacciones producidas por ligaduras) que actúan sobre el sólido.

{u}= denominado vector de desplazamientos nodales, que representa, de manera ordenada, todos los desplazamientos que experimentan los nudos del modelo.

[K] = matriz de rigidez del sistema estructural, cuya formación constituye el "corazón" del método.
Teoría del Esfuerzo Cortante Máximo.

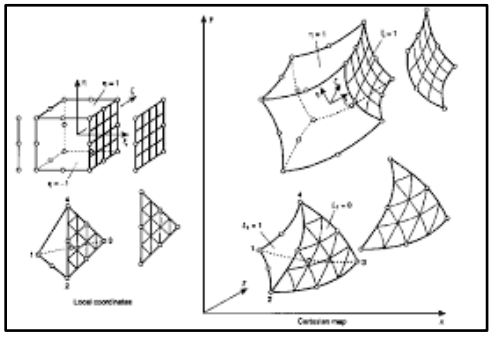


Figura 4. Casos tridimensionales con elementos finitos.

Como ya se ha comentado, se ha determinado que el criterio de tensiones que se utilizará será la teoría de la energía de distorsión o teoría de Von Mises, también se analizaron las teorías aplicadas sobre un elemento general de esfuerzo

bidimensional, para determinar cuál será la más completa de forma global, y utilizarla para nuestro estudio. En la siguiente figura se muestra el estado tensional para un elemento de una pieza sobre un plano. A continuación, se mostrará los criterios considerados en la elección del análisis a fatiga. Como primera opción se ha escogido esta teoría por su interés histórico ya que sus predicciones no concuerdan con la experimentación y en algunas condiciones de esfuerzos, nos sitúa del lado de la inseguridad. Esta teoría establece que la falla se produce siempre que el esfuerzo principal mayor sea igual a la resistencia. También conocida como Teoría de Tresca (De Castro P). Establece que la fluencia del material se produce por el esfuerzo cortante, surgió de la observación de la estricción que se produce en una probeta cuando es sometida a un ensayo de tensión. La teoría dice: "La falla se producirá cuando el esfuerzo cortante máximo absoluto en la pieza sea igual o mayor al esfuerzo cortante máximo absoluto de una probeta sometida a un ensayo de tensión en el momento que se produce la fluencia, ver figura 5".

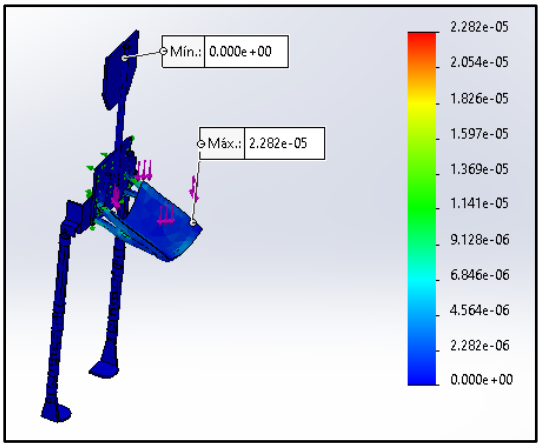


Figura 5. Ejemplo de utilización de SolidWorks Simulation.

El esfuerzo cortante máximo absoluto es entonces:

$$\tau_{max} = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} \quad (1)$$

Por lo tanto, el esfuerzo cortante máximo absoluto es entonces para el ensayo de tensión al momento de la fluencia:

$$\tau_{max} = \frac{S_y}{2} \quad (2)$$

Según la teoría de Tresca, igualamos las ecuaciones 1 y 2 y tenemos:

$$\frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} = \frac{S_y}{2}$$

$$\sigma_1 - \sigma_3 = S_y \quad (3)$$

La ecuación 3 se utiliza cuando $\sigma_1 > \sigma_3$. En los otros casos:

$\sigma_1 = S_y$, cuando $\sigma_1 > \sigma_3 > 0$

$\sigma_3 = -S_y, cuando\ 0 > \sigma_1 > \sigma_3$ (4)

En el plano $\sigma_1 - \sigma_3$, la teoría de Tresca se representa gráficamente como, ver figura 6:

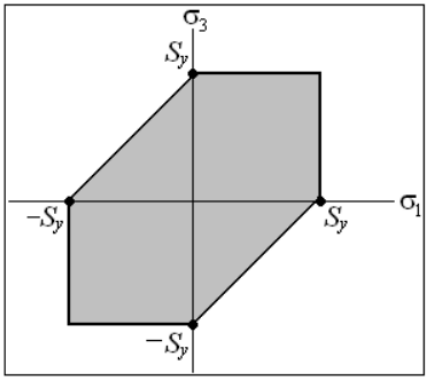


Figura 6. Representación gráfica de la Teoría de Tresca.

La falla se presentará cuando el punto determinado por los esfuerzos σ_1 y σ_3, se encuentra fuera del área sombreada en la figura 3 (De Castro P.).

Teoría de la energía de distorsión o Von mises.

Esta teoría fácil surgió de la observación de que los materiales dúctiles sometidos a esfuerzos hidrostáticos (igual esfuerzos de tracción o compresión en todas las direcciones), tenían resistencias de fluencia muy superiores a los valores obtenidos por tracción simple. Se basa en suponer que la tensión a la que está sometido un elemento en estado de esfuerzo
triaxial (a), en el que se produce cambio de volumen y distorsión, podemos descomponerlo en dos elementos distintos. Elemento de estado de tensión hidrostática, en el que solo hay cambio de volumen (b). Elemento en el que se produce deformación angular sin cambio de volumen (c). Analizando la figura anterior, el trabajo efectuado en el cubo unitario de cada una de las direcciones principales es:

$$u_n = (\sigma_n * \varepsilon_n)/2 \text{..... (5)}$$

Donde:
n=direcciones principales.
Así la energía total de deformación es:

$$u = u_1 + u_2 + u_3 = u_v + u_d = \left[\frac{\sigma_1^2+\sigma_2^2+\sigma_3^2-2U\,(\sigma_1\sigma_2+\sigma_2\sigma_3+\sigma_3\sigma_1)}{2E}\right] \text{..... (6)}$$

Siendo:
$E =$ módulo de elasticidad.
μ= coeficiente de Poison.
$u_v\ y\ u_d$ = energía de deformación que produce cambio de volumen y sólo deformación angular sin cambio de volumen respectivamente.

Podemos definir el esfuerzo medio hidrostático como:

$$\sigma_{med} = \frac{\sigma_1+\sigma_2+\sigma_3}{3} \text{..... (7)}$$

Los esfuerzos restantes $\sigma_n - \sigma_{med}$ provocarán únicamente distorsión por lo que la cantidad de energía de deformación que sólo produce cambio de volumen es:

$$\mu_v = \left[\frac{1}{2E}\right]\left[3\sigma_{med}^{\theta 2} - 2\mu\left(3\sigma_{med}^2\right)\right] \text{..... (8)}$$

Por ello se obtiene que la energía de distorsión o deformación angular sin cambio de volumen sea:

$$u_d = u - u_v = \left(\frac{1+\mu}{3E}\right)\left[\frac{(\sigma_1-\sigma_2)^2+(\sigma_2-\sigma_3)^2+(\sigma_3-\sigma_1)^2}{2}\right] \quad (9)$$

En el supuesto de un ensayo de tracción simple ($\sigma_1 = S_y \; y \; \sigma_2 = \sigma_3 = 0$) tendremos:

$$u_d = \left[\frac{1+\mu}{2E}\right] S_y^2 \quad (10)$$

Igualando, se define el punto de iniciación de fluencia que será:

$$\sigma_{vm} = \sqrt{\frac{(\sigma_1-\sigma_2)^2+(\sigma_2-\sigma_3)^2+(\sigma_3-\sigma_1)^2}{2}} \quad (11)$$

Para un estado de esfuerzo biaxial tendremos:

$$S_{sy} = \sigma_1^2 - \sigma_2\sigma_1 + \sigma_2^2 \quad (12)$$

Para el caso de torsión pura:

$$S_{sy} = 0.577 S_y \quad (13)$$

3. Desarrollo.

Con lo obtenido en el punto número uno teniendo el conocimiento necesario de un exoesqueleto y de los daños a la columna, se evaluará el funcionamiento de este prototipo para poder desarrollar un rediseño y establecer una metodología para el diseño de este nuevo prototipo de la armadura. En esta etapa evaluamos el primer prototipo para realizar mejoras, ver figura 7.

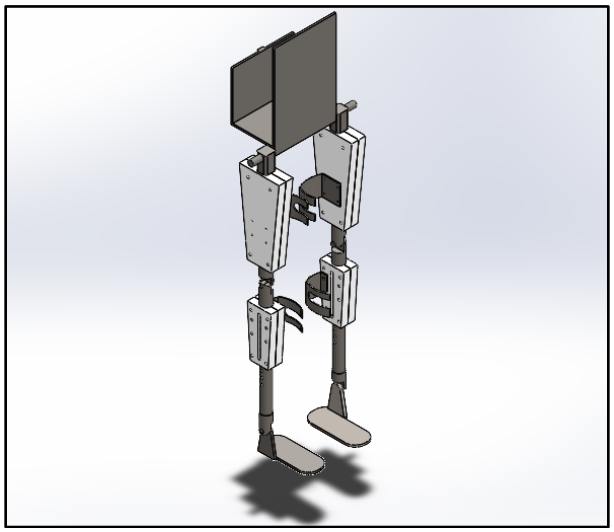


Figura 7. Armadura del del prototipo 1 visto desde el software.

Propuestas de mejora al exoesqueleto.

Observando el ensamble de la armadura y los estudios de análisis estáticos en el software comercial de la armadura del prototipo 1 y con ayuda del estudio del arte de exoesqueletos; se hicieron las propuestas de rediseño para la armadura de uso agrícola.

En la primera propuesta de rediseño se propusieron las siguientes remodelaciones, ver figura 8.

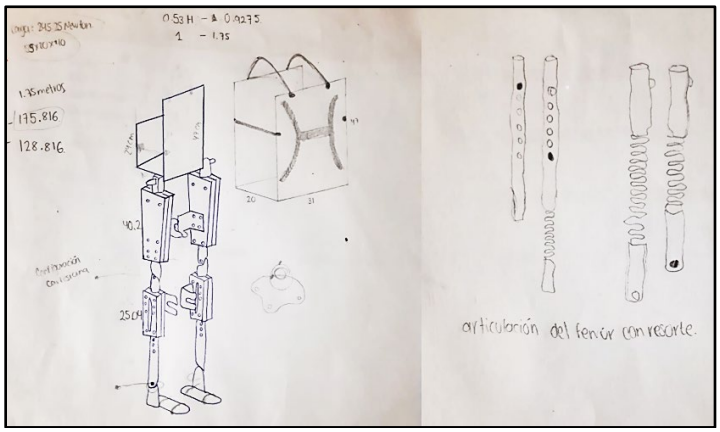


Figura 8. Propuesta 1 de Rediseño.

•Remodelación 1.
Esta remodelación consiste en hacer la parte de la caja donde ira la bomba como una mochila y ponerle cintos que sostengan a la bomba para que tenga un mejor agarre, ver figura 9.

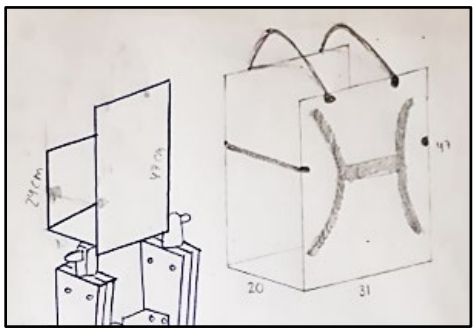


Figura 9. Boceto de la remodelación 1 de la primera propuesta de diseño.

•Remodelación 2.
Consiste en agregarle amortiguadores de resortes a la articulación del fémur, para reducir el impacto sobre las articulaciones, ver figura 10.

Figura 10. Boceto de la remodelación 2 de la propuesta 2 de diseño.

Después de ver las propuestas se prosiguió a hacer una propuesta final, tomando partes de las dos propuestas y con ayuda del estado del arte para llegar a una propuesta final, ver figura 11.

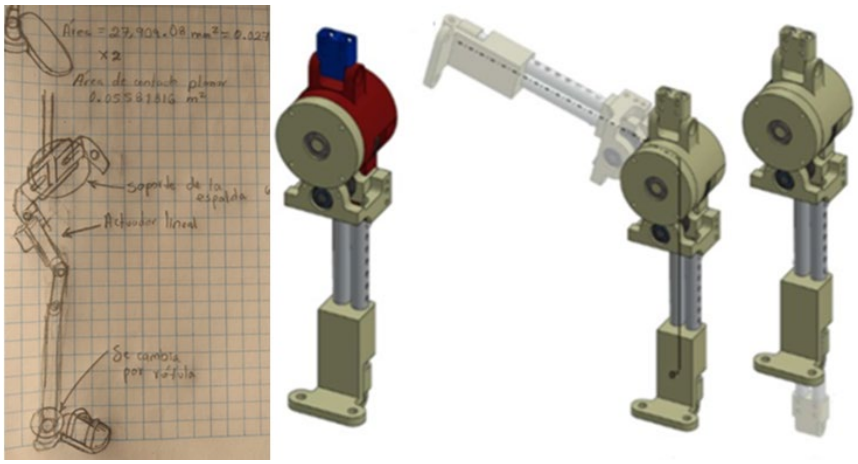


Figura 11. Propuesta final para el diseño.

•Remodelación 1.
Se le pondrá un soporte en la parte de la espalda de la armadura, este soporte constara de un tubo con una placa la cual hará que el armazón se adhiera cómodamente a la espalda de la persona. Retomando la idea de remodelación 2 de la primera propuesta de rediseño se le añadirá un actuador lineal hidráulico que va a sustituir a la parte del fémur, ver figura 12.

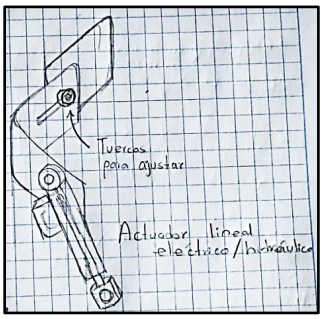


Figura 12. Remodelación 1 de la propuesta final.

•Remodelación 2.
Consiste en poner un arnés junto a la base del tanque que permitirá que la bomba aspersor de fumigar tenga un mejor agarre en el hombro de la persona, ver figura 13.

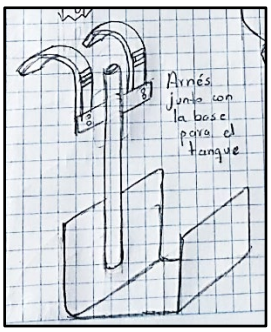


Figura 13. Remodelación 2 de la propuesta final.

•Remodelación 3.
Consiste en cambiar el perno que une la articulación de la rótula con la articulación de la tibia por una rotula de 2 GDL, ver figura 14.

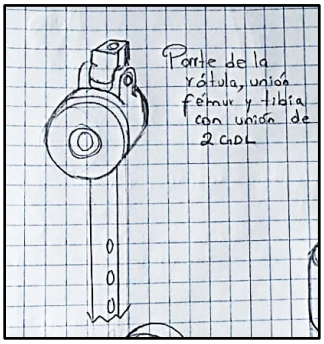


Figura 14. Remodelación 3 de la propuesta final.

Espalda-cadera.
La pieza mostrada a continuación, ver figura 15; supone ser pieza clave del exoesqueleto, pues es donde se materializa el apoyo que existirá entre la espalda, cadera, y el área donde será colocada la bomba aspersora (tanque para fumigación). Esta pieza consta de una serie de tubos soldado a placas que servirán de apoyo tanto para la espalda como para la cadera, de igual forma se tiene un tubo colocado de manera vertical simulando la columna, ya que dará el soporte general del cuerpo, ayudando a la posición del mismo.

Figura 15. Espalda cadera del prototipo. Visto desde software comercial

Ensamblaje de espalda-cadera.

Este ensamble se compone de la pieza principal (espalda), la cual como se observa en la figura 15, se compone de una serie de tubos soldados a placas que sirven como soporte de los mismos, amoldándose en apoyo a la parte superior del cuerpo. También observamos en la figura 16, cómo unas placas en L se añaden en la parte baja de los laterales, funcionando como unión entre la pieza espalda-cadera y las piernas; además, estas placas se ajustan gracias a tuercas, ayudando al ajuste a cualquier tipo de cadera del individuo que utilizará el exoesqueleto.

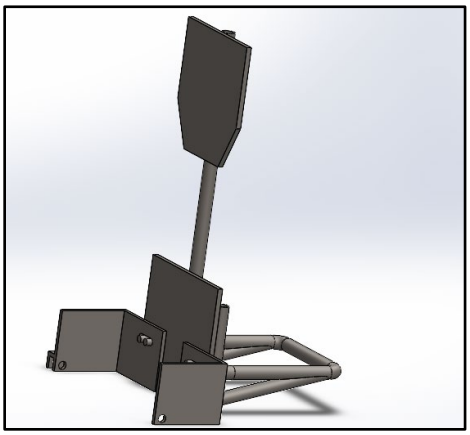


Figura 16. Ensamblaje de espalda-cadera, visto desde software comercial.

Ensamble.

Después de realizar cada componente que hace la función del fémur, tibia, pies se prosiguió a ensamblar cada una de las piezas y se llegó a un resultado final, ver Figura 17.

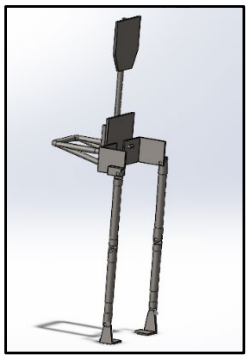


Figura 17. Ensamble final del rediseño del prototipo. Visto desde software comercial.

Modelos de la armadura en la parte de la cadera.

Para realizar el análisis estático, la sujeción que acompaño a la armadura fue la de geometría fija que va en ambos pies y en la placa de la cadera. Además, se agregan los dos diseños de la base de la bomba con tubos y la otra con el diseño de una placa donde se aplicará la carga, ver figura 18.

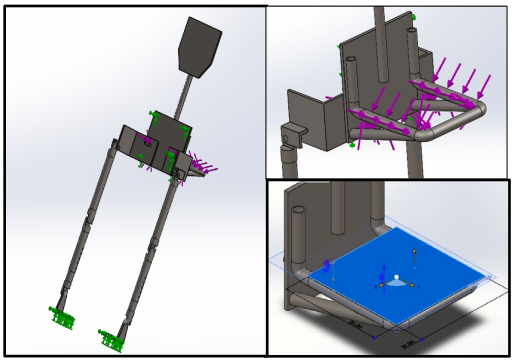


Figura 18. Sujeción de geometría fija en la armadura y zona de aplicación de la carga base de la bomba.

Modelado y simulación de la armadura base con tubos en la parte de la cadera.

Se prosiguió a mallar todos los componentes del ensamble para realizar la simulación con los parámetros de sujeción y aplicación de la carga equivalente a un peso de 30 kg, ver figura 19.

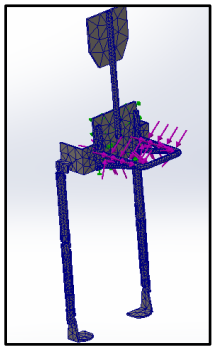


Figura 19. Mallado de los componentes del exoesqueleto. visto desde software comercial.

Para realizar el análisis estático, la sujeción que acompaño al exoesqueleto fue la de geometría fija que va en ambos pies y en la placa de la cadera. Se aplicó la fuerza de 294.3 Newton en la parte de los tubos de la espalda del exoesqueleto donde las fuerzas son verticales con dirección hacia abajo. Se prosiguió a mallar todos los componentes del ensamble para realizar la simulación, los resultados de esfuerzo, desplazamiento y deformación se muestran en las figuras 20, 21 y 22 respectivamente (Rivera Berrí 2023).

- Tensiones de Von Mises.

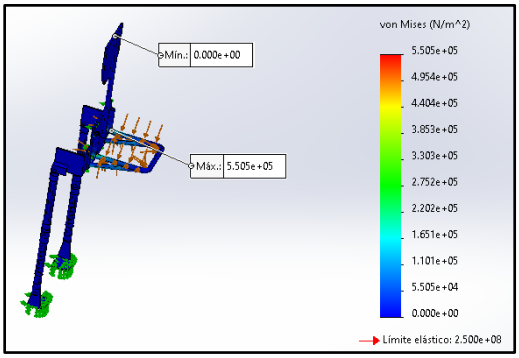


Figura 20. Tensión de Von Mises en el exoesqueleto con una carga de 294.3 N. visto desde software comercial.

- Desplazamientos en el eje Y.

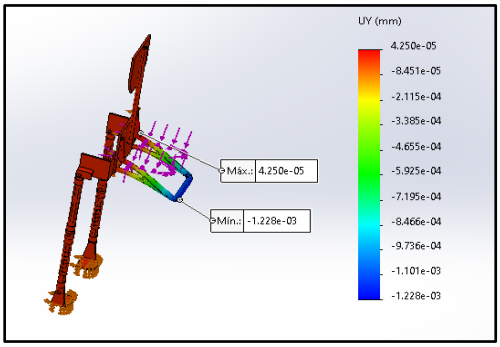


Figura 21. Desplazamiento en el eje Y del exoesqueleto con una carga de 294.3 N. visto desde software comercial.

- Deformaciones unitarias.

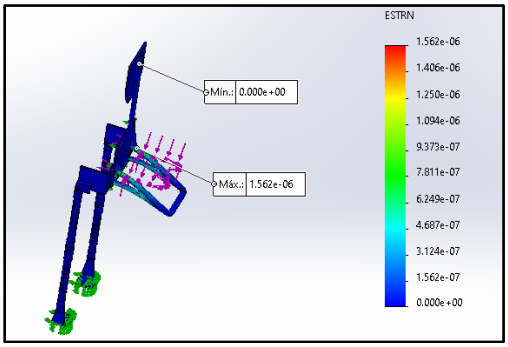


Figura 22. Deformaciones unitarias en el exoesqueleto con una carga de 294.3 N. visto desde software comercial.

Modelado y simulación de la armadura base con placa en la parte de la cadera.

Para realizar el análisis estático, se utilizó las mismas condiciones de frontera del modelo anterior, solo que esta vez se usó el modelo con el diseño de la cadera con una placa, para que en ella se asiente la bomba de fumigación y ahí sea aplicada la carga. Se aplicó la fuerza de 294.3 Newton en la superficie de la placa de la armadura donde las fuerzas son verticales con dirección hacia abajo. Se prosiguió a mallar todos los componentes del ensamble para realizar la simulación, los resultados de esfuerzo, desplazamiento y deformación se muestran en las figuras 23, 24 y 25 respectivamente.
Modelo de exoesqueleto sometidos a cargas de 30 kg.

Tensiones de Von Mises.

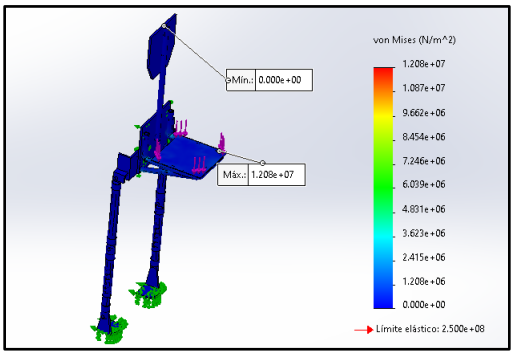


Figura 23. Tensiones de Von Mises en el exoesqueleto con una carga de 294.3 N. visto desde software comercial.

Desplazamiento en el eje Y.

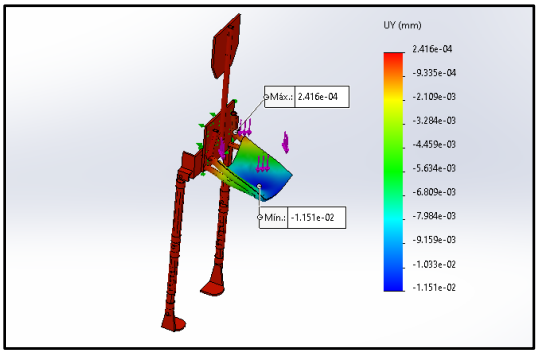


Figura 24. Desplazamiento en el eje Y en el exoesqueleto con una carga de 294.3 N. visto desde software comercial.

Deformación unitaria.

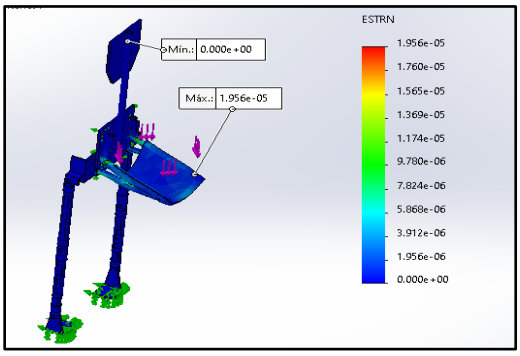


Figura 25. Deformación unitaria en el exoesqueleto con una carga de 294.3 N. visto desde software comercial.

Conclusiones.

Como se ha descrito hasta ahora, cada uno de los pasos seguidos durante la metodología han sido claves para el desarrollo del prototipo de exoesqueleto que se rediseñó. Durante cada paso previsto, la construcción del prototipo mediante el software comercial SolidWorks, nos ha arrojado diversas características que son importantes para el análisis de la posible construcción de la armadura. A continuación, se presentan nuevamente los bocetos del diseño con los cuales se partió para la realización del prototipo virtual. Posteriormente se describen cada uno de los resultados arrojados gracias al software en lo que comprende historial básico del adecuado funcionamiento de la armadura. También hemos añadido los siguientes planos explosionados de los ensambles que existen en este prototipo, junto con las tablas donde se enlistan cada uno de los componentes; todas las piezas se realizaron por medio del software comercial SolidWorks, ver tabla 1.

Tabla 1. Piezas del ensamble del exoesqueleto, junto con ergonomía.

Número de elemento	Número de pieza	Cantidad
1	Espalda-cadera	1
2	Cadera	1
3	Tibia 2	2
4	Pieza tibia_1	2
5	Tibia 1	2
6	Pie derecho	1
7	Perno	4
8	Pieza tibia_2	6
9	Fémur	2
10	Pie izquierdo	1
11	Pieza recubrimiento fémur	4
12	Pieza recubrimiento tibia	4
13	Abrazadera fémur	2
14	Abrazadera tibia	2

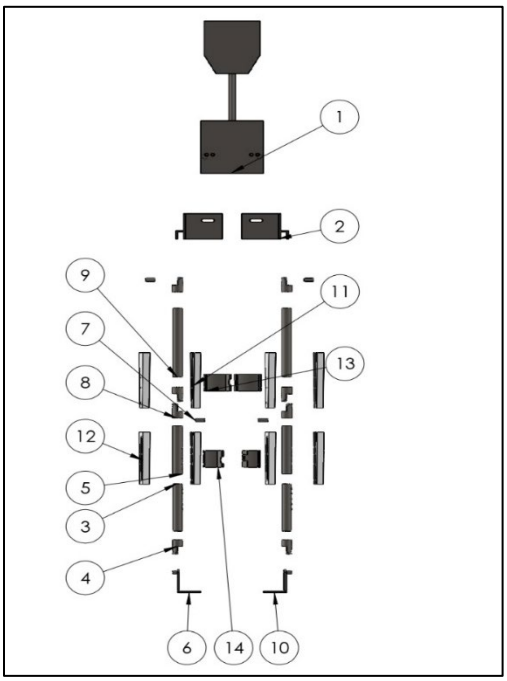


Figura 26. Plano explosionado del ensamble de la armadura, junto con la ergonomía.

De acuerdo con todo lo expuesto en el documento concluimos que se ha finalizado con éxito el rediseño del prototipo de la armadura para uso agrícola, que no sólo cuenta con la base para colocar el tanque de fumigación, sino también con soporte en la cadera, espalda que ayudan a mantener mejor rigidez y apoyo al individuo. Este rediseño se basó en las recomendaciones y características investigadas del primer diseño del prototipo, y con nuevas ideas se logró implementar un rediseño satisfactorio. Dentro de las mejoras que se realizaron, fueron:

- Ajuste de la armadura de acuerdo con la persona que lo use; en altura/talla, y ancho de cadera.
- Menor volumen y peso de la armadura, siendo más liviano para su uso.
- Suelas parciales que sólo se ajustan al tacón de los zapatos; para así tener mayor movilidad en el pie durante la caminata.
- Soporte para la espalda-columna; ayudando a dar mejor balance y resistencia en la parte superior de la armadura.

Aun cuando el rediseño se favoreció gracias a algunas de las modificaciones, se piensa que la resistencia y capacidad de uso de la armadura puede mejorar, por tanto, damos a conocer nuevas recomendaciones para el prototipo, y la construcción del mismo.

- Peso del exoesqueleto: aunque disminuyó el peso del prototipo aún con el mismo material (A36 Acero), creemos que, dentro de las posibilidades de mejorar la materia prima, se puede optar por un material aún más ligero y que posea características de resistencia como el acero.
- Pueden existir mejoras en la zona de espalda cadera, añadiendo arneses que den mayor apoyo en la espalda del usuario. Al igual, la ergonomía empleada puede ser mejorada.
- Utilización de otros dispositivos, como actuadores neumáticos que sirvan de amortiguador del peso, para cada pierna.

Referencias bibliográficas.

Aguilar B. E. Introducción al estudio de la biomecánica y anatomía funcional. https://Introducción al Estudio de la Biomecánica y Anatomía Funcional.

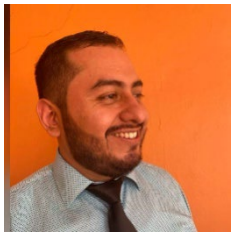
De Castro P. Carlos A. *Teorías de falla bajo cargas estáticas.* http://dim.usal.es/eps/im/roberto/cmm/Teorasdefallabajocargasestticas.pdf.

Rivera Berrí Juan G. *Resistencia de materials, transformacio de esfuerzos y deformaciones,* Capitulo 2 y 6 (2023). Red educativa digital Descartes, Cordoba España. https://prometeo.matem.unam.mx/recursos/VariosNiveles/iCartesiLibri/recursos/Resistencia_de_Materiales/index.html.

Información de los autores.

Saúl de Jesús Molina Domínguez, es Ingeniero Mecánico por el Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez de Chiapas, cuenta con una Maestría en Ciencias en Ingeniería Mecánica por el Instituto tecnológico de Celaya Guanajuato, cuenta con Doctorado en Ingeniería Aplicada por el Colegio de Formación Educativa Tenam.

José Manuel Rasgado Bezares, es Ingeniero Mecánico por el Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez; ha trabajado en proyectos de construcción y ampliación de Centrales Hidroeléctricas como supervisor de obra electromecánica de la Comisión Federal de Electricidad. Actualmente es jefe del Departamento de Metalmecánica y docente en activo del claustro en la H. Academia de Ingeniería Mecánica del Instituto Tecnológico Tuxtla Gutiérrez/Tecnológico Nacional de México. Ha publicado dos libros.



Juan Carlos Niños Torres, es Ingeniero Mecánico egresado del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez, cuenta con la Maestría en Ciencias en Ingeniería Mecánica del Instituto Tecnológico de Celaya, así también con el Doctorado en Ingeniería Aplicada de la Universidad TENAM. Actualmente es Profesor Investigador del Departamento de Metal Mecánica del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez y jefe de la División de Estudios Profesionales del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez. Cuenta con el perfil

PRODEP 2022-2025 como miembro del Cuerpo Académico Ingeniería Mecánica en la línea de investigación de Diseño Mecánico. Es miembro del comité de evaluadores del Consejo de Acreditación de la Enseñanza de la Ingeniería (CACEI A.C.) avalado por

Ignacio Arrioja Cárdenas, es profesor de tiempo completo y jefe de proyectos de docencia en el departamento de Metal-Mecánica del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez/Tecnológico Nacional de México. Doctor en Ingeniería aplicada por el Colegio de Formación Educativa Tenam, Maestro en Ciencias en Ingeniería Mecánica por el Instituto Tecnológico de Veracruz, Maestro en Ciencias Físicas por Centro Mesoamericano de Física Teórica-Universidad Autónoma de Chiapas e Ingeniero Mecánico por el Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez.

Fernando Alfonso May Arrioja, Licenciado en Ingeniería Mecánica por el Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez, Maestro en Energías Renovables por la Universidad Politécnica de Chiapas y Doctorado en Ingeniería Aplicada en el Colegio de Formación Educativa Tenam. Profesor de Carrera Enseñanza Superior en el Departamento de Metal-Mecánica del TecNM/Instituto

Aplicación de sensores de visión para un sistema de clasificación inteligente para la industria agrícola.

Application of vision sensors for an intelligent classification system in the agricultural industry.

Luis Enrique Castro Mendoza (1).
Estudiante Tecnológico Nacional de México/I. T. de Tuxtla Gutiérrez.
L20270577@tuxtla.tecnm.mx.

Aldo Esteban Aguilar Castillejos* (2). Tecnológico Nacional de México/ I. T. de Tuxtla Gutiérrez,
aldo.ac@tuxtla.tecnm.mx.

Osbaldo Ysaac García Ramos (3). Tecnológico Nacional de México/ Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez,
ogarcia@tuxtla.tecnm.mx.

Álvaro Hernández Sol (4). Tecnológico Nacional de México/I. T. de Tuxtla Gutiérrez, alvaro.hs@tuxtla.tecnm.mx.

Vicente León Orozco (5). Tecnológico Nacional de México/I. T. de Tuxtla Gutiérrez, vicente.lo@tuxtla.tecnm.mx.

*corresponding author.

Artículo recibido en noviembre 18, 2024; aceptado en diciembre 20, 2024.

Resumen.

En el presente artículo se presenta el desarrollo de un sistema de clasificación agrícola, enfocado en la optimización del proceso de selección de productos como limones, uvas y granos de café. Se implementaron mejoras al diseño existente, incluyendo la adición de un perfilómetro y el peinado de cables para optimizar el funcionamiento del sistema. Además, se desarrolló un algoritmo de procesamiento de imágenes a través de Efector Dualis, que permitirá clasificar los productos en función de características como color, textura y tamaño. Finalmente, se generó un manual de operación para facilitar la implementación del sistema en instituciones de nivel superior, contribuyendo así a la formación académica y a la innovación en el campo de la clasificación agrícola.

Palabras claves: Efector Dualis, optimización, perfilómetro.

Abstract.

This article presents the development of an agricultural classification system, focused on optimizing the selection process for products such as lemons, grapes, and coffee beans. Improvements were made to the existing design, including the addition of a profilometer and cable grooming to optimize the system's functionality. Additionally, an image processing algorithm was developed using Efector Dualis, which will enable the classification of products based on characteristics such as color, texture, and size. Finally, an operation manual was created to facilitate the

implementation of the system in higher education institutions, thereby contributing to academic training and innovation in the field of agricultural classification.

Keywords: Efector Dualis, optimization, profilometer.

1. Introducción.

México es el segundo mayor productor agrícola de América Latina, solo detrás de Brasil, y se ha consolidado como uno de los principales exportadores agroalimentarios de la región (OCDE-FAO, 2023).

Productos como el aguacate, el tomate y el tequila han impulsado un crecimiento significativo en las exportaciones, las cuales registraron un aumento del 5.82% en los primeros meses de 2024 respecto al año anterior (Líder Empresarial, 2024; SADER, 2024).

La creciente importancia del sector agrícola mexicano ha fomentado la incorporación de tecnologías emergentes para mejorar su eficiencia y competitividad. En este contexto, la implementación de un sistema de clasificación inteligente basado en visión artificial busca optimizar la selección de productos agrícolas, los cuales en este caso lo serian productos de la agricultura en Chiapas.

Esta innovación no solo permitirá agilizar los procesos de selección, sino también garantizar el cumplimiento de estándares internacionales y adaptarse a las particularidades de cada cultivo (OCDE-FAO, 2023). Además, fomentará la competitividad del sector y reducirá pérdidas durante la postcosecha al asegurar una evaluación precisa y consistente de la calidad (FieldPro, 2024).

En este artículo, exploraremos cómo la visión artificial se integra en la agricultura, los beneficios que ofrece y los desafíos que enfrenta su adopción en el sector. A medida que el mundo busca soluciones sostenibles y efectivas para alimentar a una población en crecimiento, la innovación en la clasificación de productos se convierte en una herramienta clave para el futuro de la agricultura.

En este contexto se utilizó una cámara IFM modelo O2D225 y un perfilómetro OPD101 para llevar a cabo la clasificación automática de limones, chiles habaneros, etc., optimizando la precisión y eficiencia en la selección de los frutos y verduras a utilizar.

La cámara O2D225 es un sensor de visión inteligente que permite la captura de imágenes en tiempo real y la detección de características específicas, como el tamaño, color y posibles defectos en la superficie de la fruta que nosotros vayamos a clasificar. Todo esto a través de Efector Dualis (IFM Electronic, 2024a).

Esta herramienta facilita la automatización del proceso, eliminando variaciones humanas y asegurando mayor consistencia en los resultados.

Por otro lado, el perfilómetro OPD101 se utilizó para medir las características volumétricas de los frutos, como textura y forma. Esta tecnología es fundamental para identificar imperfecciones físicas, como deformaciones o irregularidades en la cáscara, que pueden afectar la calidad del producto (IFM Electronic, 2024b). La combinación de estos dispositivos permite un análisis más completo, integrando datos visuales y estructurales.

2. Métodos.

El proyecto se enfocó en la implementación de sistemas de visión en la industria agrícola, la forma ideal que se encontró para llegar al resultado deseado, fueron las siguientes etapas:

- Investigación de sensores de visión: análisis exhaustivo de tecnologías adecuadas para la selección de sensores, considerando los requisitos habituales en procesos agrícolas.
- Selección de dispositivos de visión: a partir de la investigación, se realizó la adquisición de sistemas de visión capaces de analizar características como tamaño, forma, textura y color, asegurando compatibilidad con el PLC.
- Diseño del sistema de clasificación: con los elementos seleccionados se implementa un sistema con banda transportadora y actuadores electroneumáticos para la selección automática de productos.
- Configuración de sensores: Los sensores se ajustarán según patrones de referencia para identificar productos agrícolas (limones, uvas, granos de café) basándose en criterios específicos.
- Pruebas de calidad: Con el diseño del sistema y la configuración de sensores, se realizará la verificación de la funcionalidad del sistema de visión mediante ajustes finos y pruebas con PLC y software especializado.

3. Desarrollo.

Se llevó a cabo una investigación exhaustiva sobre la implementación de sistemas de visión en el ámbito de la industria agrícola. Este análisis detallado permitió identificar distintas aplicaciones de sensores 2D equipados con tecnologías de visión y láser, destacando su efectividad y versatilidad en entornos de producción agrícola. Como resultado de este estudio, se optó por la tecnología de la marca ifm, junto con sus sensores avanzados, por su capacidad para satisfacer las demandas específicas de precisión y confiabilidad en este sector industrial.

Se eligió el sensor O2D225 de ifm ya que es un sistema de visión compacto que combina detección de imágenes en 2D y análisis de patrones. Utiliza tecnología de procesamiento avanzado para reconocer y verificar la presencia, posición y orientación de objetos con alta precisión. En la industria agrícola, lo podemos emplear para tareas como clasificación de productos, control de calidad y monitoreo en procesos de cosecha y empaque, ayudando a automatizar y mejorar la eficiencia en operaciones agrícolas al reducir errores y optimizar el uso de recursos (ifm electronic, s.f.).

Figura 1. Sensor O2D225.

En cuanto a su compatibilidad con el PLC S7-1200 de Siemens, este sensor se puede integrar fácilmente debido a su capacidad de comunicación a través de protocolos industriales comunes como Ethernet/IP o Profinet. Esto permite que el PLC reciba los datos procesados del sensor para su uso en sistemas de automatización, permitiendo una comunicación fluida y coordinada en entornos industriales.

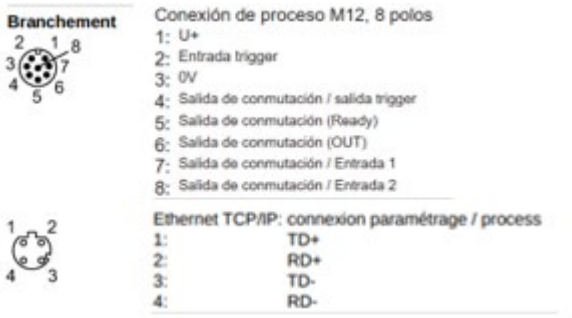


Figura 2. Conexión de la O2D225.

También se seleccionó el sensor OPD101 de ifm, ya que es un sistema de visión 3D que utiliza tecnología de tiempo de vuelo (ToF) para medir la distancia y forma de los objetos en su campo de visión. Esta capacidad le permite detectar volúmenes, formas y posiciones en aplicaciones agrícolas, como la clasificación de productos en nuestro caso en una cinta transportadora para poder tener un mejor control de calidad para frutas y verduras, así como también en otros usos como llenado de contenedores (ifm electronic, s.f.).

Figura 3. Sensor OPD101.

En cuanto a su compatibilidad con el PLC S7-1200 de Siemens, el OPD101 se integra mediante protocolos de comunicación estándar como Profinet. Esto permite que los datos de imágenes y mediciones del sensor se transmitan al PLC, facilitando la automatización y control de procesos en sistemas agrícolas.

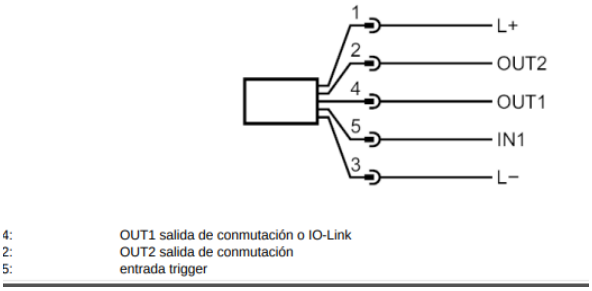


Figura 4. Conexión del OPD101.

Para la integración de todo el sistema, se utilizará el maestro IO-Link del modelo AL1300 con el sensor ifm OPD101 ya que nos da varias ventajas en términos de comunicación, control y flexibilidad, especialmente en esta aplicación industrial que requiere precisión y eficiencia en el intercambio de datos.

Figura 5. Maestro IO Link IFM AL 1300.

Para el control se optó por el uso del PLC modelo S7-1200 de la marca Siemens, un sistema de control altamente flexible y eficiente que se adapta perfectamente a las necesidades específicas de los procesos industriales. Este PLC destaca por su capacidad de expansión y personalización gracias a la integración de módulos de señal enchufables, los cuales permiten una configuración modular que facilita la adaptación a diferentes requerimientos de entrada y salida en función de las características del proceso a controlar.

Además de su flexibilidad en términos de señalización, el S7-1200 ofrece una amplia gama de módulos de comunicación que permiten una integración sencilla y efectiva con otros sistemas, dispositivos o en este caso sensores de visión, tanto a nivel local como remoto. Esto incluye la posibilidad de utilizar protocolos estándar de comunicación industrial como Profinet, Ethernet, y otros, lo que facilita su conexión con otros PLCs, estaciones HMI, y sistemas SCADA, asegurando la interoperabilidad y optimizando la gestión de datos en tiempo real.

Figura 6. PLC S7-1200.

Diseño del sistema de clasificación.

Una banda transportadora equipada con seleccionadores neumáticos tiene la capacidad de procesar grandes volúmenes de producto en un tiempo considerablemente menor en comparación con la selección manual. Este sistema permite transportar continuamente los productos mientras los clasificadores neumáticos identifican y eliminan aquellos que no

cumplen con los estándares de calidad, todo esto mediante los pulsos que nos manda nuestro PLC con la información que nos manda nuestro perfilómetro y cámara.

El proceso de diseño mecánico en 3D se realizó utilizando el software SolidWorks, el cual permitió llevar a cabo cada una de las fases del proyecto de manera precisa. El desarrollo comenzó con el diseño de los elementos que conformarían la base de la cámara y el perfilómetro. En primer lugar, se optó por un perfil de aluminio de 4x4 cm y una altura de 60 cm para la estructura principal. Este perfil fue fijado a una base de soporte hecha de una placa de aluminio con dimensiones de 28x91 cm. Para asegurar una sujeción adecuada, la placa se fijó a la estructura utilizando tornillos, garantizando estabilidad.

Para reforzar, se agregó un perfil adicional de 3x3 cm con una longitud de 15 cm. Este perfil se colocó en la parte superior del perfil principal, permitiendo así sujetar la cámara de manera segura en esa zona superior. Este diseño fue pensado cuidadosamente para asegurar que todos los elementos estuvieran bien sujetos y distribuidos de forma equilibrada, proporcionando estabilidad y seguridad a la cámara y al perfilómetro durante su funcionamiento.

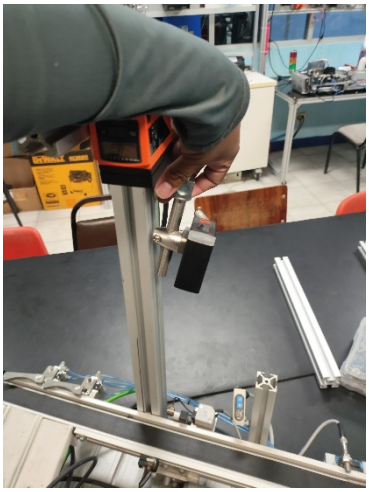


Figura 7. Incorporacion de sensores al sistema de banda transportadora.

Esto con el fin de que la cámara tenga mucha estabilidad, tenga un mejor ángulo en el cual pueda enfocar mucho mejor nuestras frutas y no nos afectara al momento de colocar en un costado nuestro perfilómetro. La cámara se fijó con unos tornillos y unas tuercas que van incrustadas en las ranuras del perfil más pequeño, en el caso del perfilómetro se usaron los accesorios que en el manual nos indica para así se hiciera aún más sencillo el montaje de este.

A continuación, se detalla su proceso de instalación utilizando los componentes que nos detalla en la página de ifm.

Para garantizar un montaje seguro y eficiente, se utilizaron los siguientes accesorios:

Soporte de fijación (E20952): Este soporte proporciona una base robusta para la instalación del sensor. Se fija a una estructura estable, en este caso un perfil de aluminio, permitiendo un anclaje sólido. Su diseño facilita el posicionamiento inicial del sensor en la zona de trabajo.

Adaptador giratorio (E3D301): Este accesorio permite inclinar y rotar el sensor, logrando darle diferentes ángulos de visión. El adaptador se conecta directamente al soporte de fijación y, posteriormente, se monta el sensor OPD101 sobre él. Esta característica es especialmente útil para ajustar el sensor según las necesidades específicas del entorno.

Placa de montaje (E20939): La placa se utiliza para incrementar la estabilidad de la instalación. Se fija al soporte principal y actúa como una base adicional, ideal para aplicaciones en las que las vibraciones o movimientos podrían afectar el rendimiento del sensor.

Figura 8. Accesorios del OPD101.

Para la conexión eléctrica de el sensor OPD101 requiere una alimentación de 24 VDC. Para ello, se utiliza un cable M12 de 5 pines compatible con los puertos del sensor, para este caso también se usó un conector para ese cable de la marca ifm y modelo EVC706. Es fundamental asegurarse de que la fuente de alimentación esté protegida contra sobrecargas y que cumpla con las especificaciones del sensor para evitar fallos en el funcionamiento.

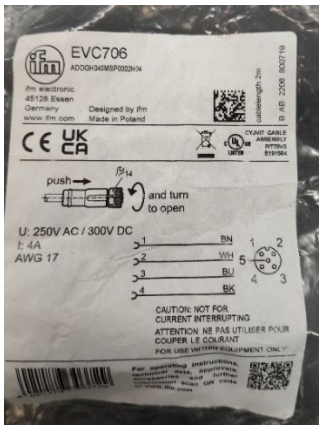


Figura 9. Cable de alimentacion EVC706.

Para la banda transportadora se usaron unas soleras en forma de L, las cuales van fijadas a nuestra base de aluminio y a cada esquina de la estructura de la banda. Esto se hace con el propósito de elevar la banda a una altura de 20 cm, de modo que no obstruya el paso del motor de corriente directa que está conectado a la banda transportadora. La altura también garantiza una correcta alineación y un funcionamiento eficiente del sistema, se usaron 4 de estas soleras para una banda con un largo de 70cm y un ancho 4cm.

Figura 10. Solera en tipo L.

Este motor, de 24 volts, es el encargado de proporcionar la movilidad a la banda, permitiendo el desplazamiento de las frutas a lo largo de su recorrido. El control de la banda transportadora está integrado en un sistema automatizado mediante un PLC 1200, que es el cerebro del proceso. El PLC recibe las señales de los botones pulsadores ubicados en el panel de control, los cuales permiten al operador iniciar, detener o reiniciar el funcionamiento de la banda según sea necesario.

Figura 11. Panel de control.

El panel de control consta de tres botones pulsadores que facilitan el manejo del sistema. Además, se ha instalado un sensor óptico de la marca FESTO, modelo SOE6-L-Q30-P. A-K-21, en uno de los costados de la banda transportadora. Este sensor detecta la presencia de material en el recorrido de la banda y, en cuanto lo hace, envía un pulso al PLC para detener la banda automáticamente.

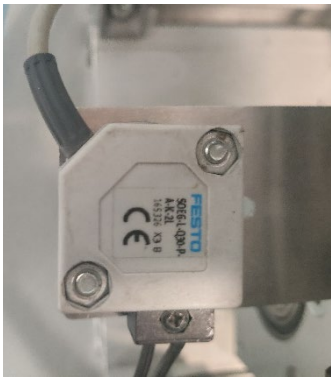


Figura 12. Sensor optico FESTO.

Una vez que el sensor envía el pulso, la cámara O2D225 toma una foto del material que está pasando por la banda. Esta imagen es monitoreada para asegurar que el material esté siendo transportado correctamente y para realizar un control de calidad visual en tiempo real. La cámara proporciona una herramienta adicional de monitoreo que permite verificar la integridad del material o detectar posibles fallos en el proceso, lo que mejora la eficiencia y reduce el riesgo de errores o daños.

Al final de la banda transportadora se instalaron cilindros neumáticos de la marca Festo, modelo ADVU-16-10-P-A 156508 P858, con una presión máxima de 10 bar, para seleccionar los productos. Estos cilindros están controlados por un controlador neumático de la misma marca. Los cilindros neumáticos están conectados a rampas clasificadoras, que permiten clasificar y redirigir los productos según los criterios establecidos. Esta parte del sistema garantiza que los productos sean segregados de manera eficiente y precisa, contribuyendo a una clasificación automatizada basada en características predefinidas.

Figura 13. Cilindros neumáticos.

En cuanto a la parte eléctrica, se utilizaron clemas, en estas clemas van a ir conectados la alimentación de nuestro PLC, cámara, IO link, motor y sensor óptico. Todo esto conectado a una fuente de 24 volts, la cual alimenta todo el sistema. Esta fuente de 24 voltios es alimentada con corriente alterna y cuenta con un interruptor termomagnético para protección. Además, tiene una clavija que permite conectarse a la red doméstica, asegurando la correcta alimentación del sistema y facilitando su integración en un entorno estándar.

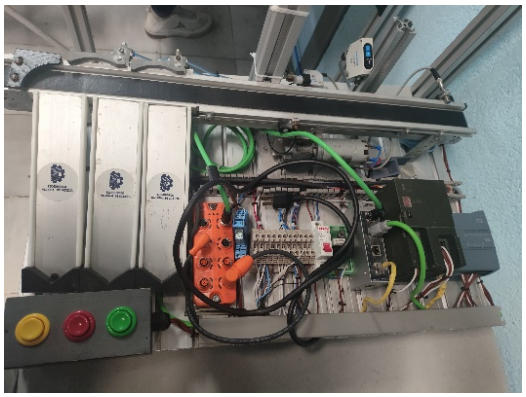


Figura 14. Parte eléctrica.

Todo este sistema es especialmente beneficioso en la industria de frutas y verduras, donde las demandas de producción y distribución son altas. Para limones, uvas y granos de café, que requieren una clasificación precisa y constante, un sistema automatizado garantiza que el proceso sea rápido, lo cual reduce los tiempos de inactividad y aumenta la productividad.

En nuestro sistema de selección neumática se utilizan sensores de alta precisión y tecnología de visión para identificar rápidamente defectos y clasificar productos. En el caso de los limones, el sistema puede detectar imperfecciones en la cáscara o la madurez, mientras que para las uvas y los granos de café puede identificar tamaño, color y textura. Este nivel de precisión reduce el riesgo de error humano y garantiza que cada lote tenga una calidad uniforme.

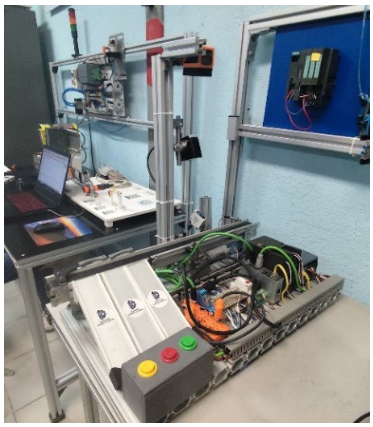


Figura 15. Sistema completo.

Los productos que llegan al consumidor final tienen, en general, una mayor probabilidad de cumplir con los estándares de apariencia y sabor, lo que puede resultar en una mayor satisfacción y lealtad del cliente.

Nuestro sistema utiliza una red PROFINET para garantizar una comunicación rápida y eficiente entre los diferentes dispositivos. Todo está interconectado a través de un Switch Ethernet, que actúa como un nodo central. A este switch se conectan la cámara, el módulo IO-Link y el PLC, permitiendo el intercambio de datos en tiempo real.

El perfilómetro se conecta directamente al módulo IO-Link, que actúa como intermediario, enviando los datos capturados por el perfilómetro al Switch Ethernet. Desde allí, estos datos son distribuidos a los demás dispositivos del sistema, asegurando una comunicación fluida y coordinada. La cámara transmite imágenes capturadas para su procesamiento y monitoreo, mientras que el PLC coordina todas las señales y ejecuta las lógicas de control necesarias para el funcionamiento del sistema.

Gracias a esta infraestructura basada en PROFINET, y con el soporte del Switch Ethernet y el módulo IO-Link, se logra una integración robusta y confiable, optimizando la sincronización y el desempeño de todo el sistema.

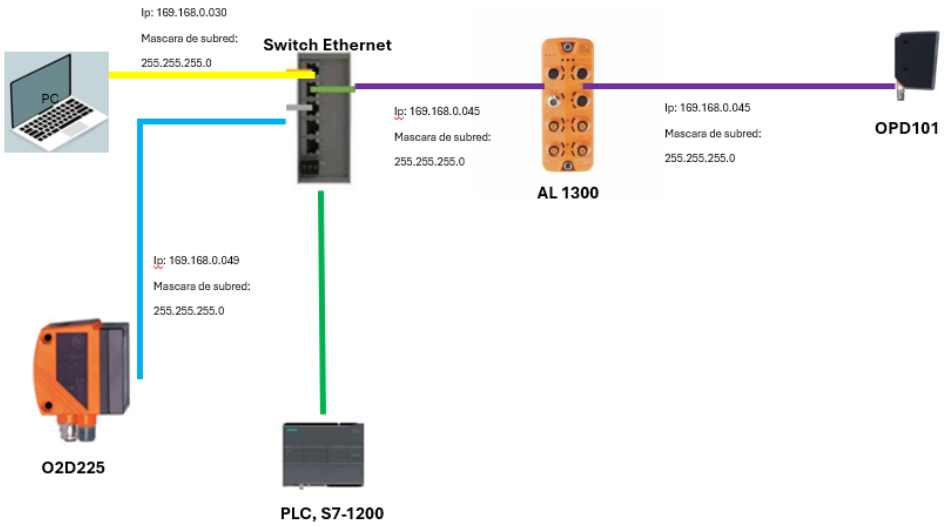


Figura 16. Diseño general del sistema.

Tabla 1. Direcciones de los dispositivos.

Dispositivo	Dirección IP.	Mascara de subred
Pc	169.168.0.030	255.255.255.0
Máster IO link	169.168.0.045	255.255.255.0
O2D225	169.168.0.049	255.255.255.0
OPD101	169.168.0.045	255.255.255.0

Configuración de sensores.

Se utilizó el software efector dualis de ifm, una herramienta específica para la parametrización y configuración de sensores de visión.

Se empleó el software Efector Dualis de IFM, una herramienta especializada en la parametrización y configuración de sensores de visión. Este software permite ajustar de manera precisa y eficiente los parámetros de los sensores, garantizando una integración óptima con el sistema. Con Efector Dualis, se facilita la calibración y personalización de los sensores de visión, lo que asegura un control más preciso de las imágenes capturadas y una detección de defectos o características específicas en los materiales transportados.

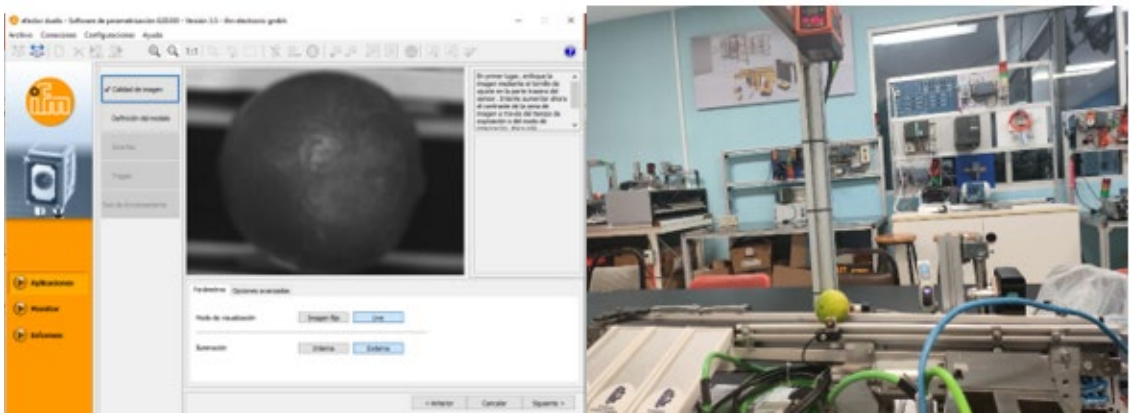


Figura 17. Comparación de la visualización de la cámara.

Se efectuó el ajuste de enfoque y en nuestro caso fue necesario aumentar la altura considerablemente para así poder tener una mejor visualización en nuestras imágenes. Algunos modelos de sensores de ifm incluyen enfoque automático o herramientas en el software para guiar este ajuste, en el caso del O2D225 tiene un tornillo en la parte superior para poder ajustare el enfoque de la cámara.

Este es uno de los puntos más importantes, debemos de ajustar la iluminación externa o activar el modo de compensación de luz en el software para adaptarse a las condiciones ambientales, ya que muchas veces tuvimos problemas que a medida se fuera acercando la noche nuestro sensor se iba desenfocando. La iluminación adecuada es fundamental para la calidad de imagen; debemos de evitar reflejos y sombras fuertes que puedan interferir en la precisión del sensor.

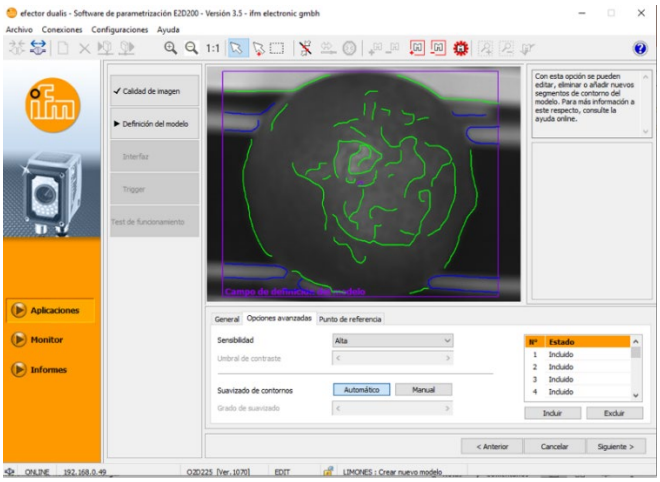


Figura 18. Definición del modelo.

Para finalizar la configuración, se corroboró el funcionamiento con patrones de prueba, es decir diferentes limones para verificar la concordancia.

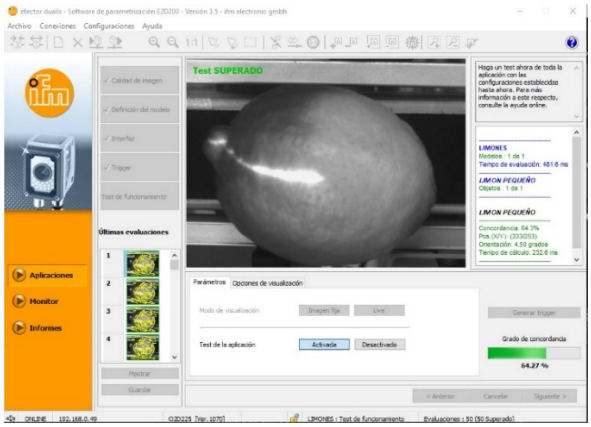


Figura 19. Prueba de aplicación.

Una vez asignada correctamente la dirección IP (192.168.0.45) y la máscara de subred (255.255.255.0), se procede a conectar el Master IO Link a la segunda aplicación, IFM Visión. Si IFM Visión no detecta automáticamente el dispositivo, se puede conectar manualmente ingresando la dirección IP asignada previamente. Además, se debe especificar el modelo del Master IO Link, y el software detectará automáticamente el puerto al que está conectado el sensor.

Buscamos la opción para añadir o configurar un nuevo perfil para así poder parametrizar. Esta opción suele estar etiquetada como “Nuevo perfil” o igual con un signo más.

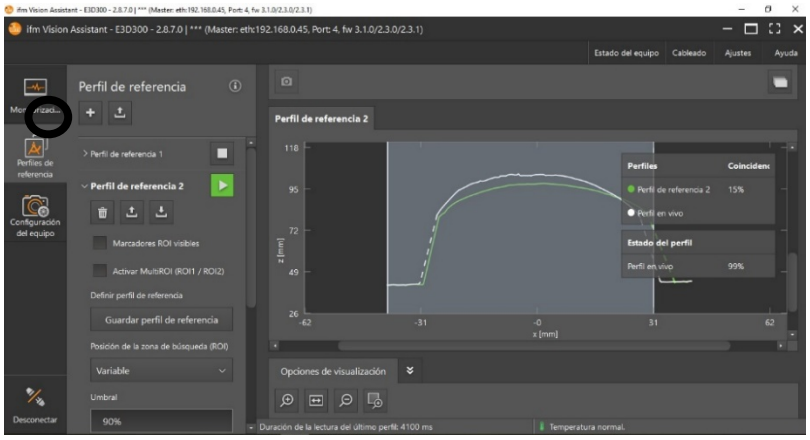


Figura 20. Agregar perfil.

Como siguiente paso tenemos que preparar nuestro objeto y posicionarlo de forma que le llegue el haz de luz para así poder tomar ese perfil como nuestro perfil modelo, luego este usarlo en nuestro caso para seleccionar nuestros productos con los estándares que estamos seleccionando.

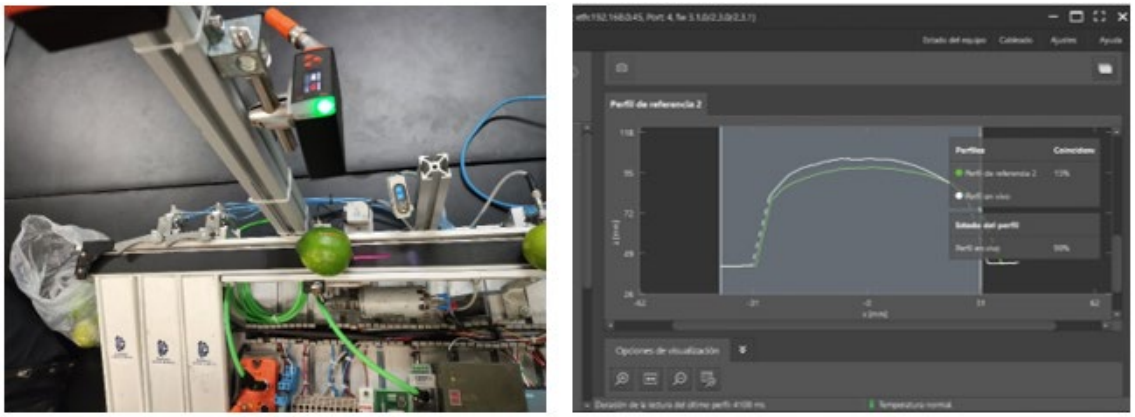


Figura 21. Haz de luz al producto y visualización en el software.

Se realizó el ajuste del haz de luz hacia el limón y se configuró el área ROI y el área de búsqueda de fidelidad al perfil modelo, en este punto también se define la fidelidad de la fruta con respecto al perfil modelo, esta análisis también muestra de manera visual la concordancia en el display del sensor.

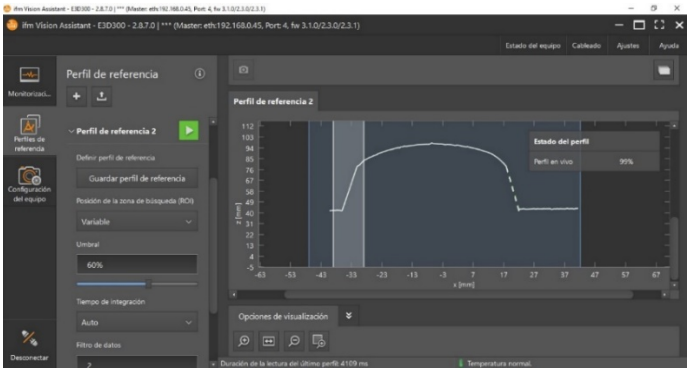


Figura 22. Área ROI y área de búsqueda.

Resultados.

Una vez que se finalizaron las implementaciones del prototipo, como el master IO-Link y ambos sensores, se realizaron pruebas exhaustivas que demostraron un funcionamiento perfecto con concordancias de hasta el 95%. Además, se realizaron dos pruebas adicionales utilizando limones y chile habanero como materiales de prueba. Los resultados fueron exitosos en ambos casos, confirmando la precisión y eficiencia del sistema tanto en la detección como en la clasificación de los productos. Estos resultados validan la capacidad del prototipo para adaptarse a diferentes aplicaciones de manera fiable y efectiva, lo cual puede constatarse en la siguiente figura:

Figura 23. Pruebas de funcionamiento.

Sin embargo, la detección del chile habanero resultó ser un poco más complicada de parametrizar debido a la gran variabilidad en sus formas. A menudo, los chiles habaneros presentan tamaños y formas muy diferentes entre sí, lo que dificultó su identificación precisa en ciertas ocasiones. A pesar de esta complejidad, el sistema logró adaptarse y clasificar correctamente la mayoría de los chiles, lo que resalta la robustez y flexibilidad del prototipo frente a desafíos en la variabilidad de los productos.

Figura 24. Pruebas con habanero.

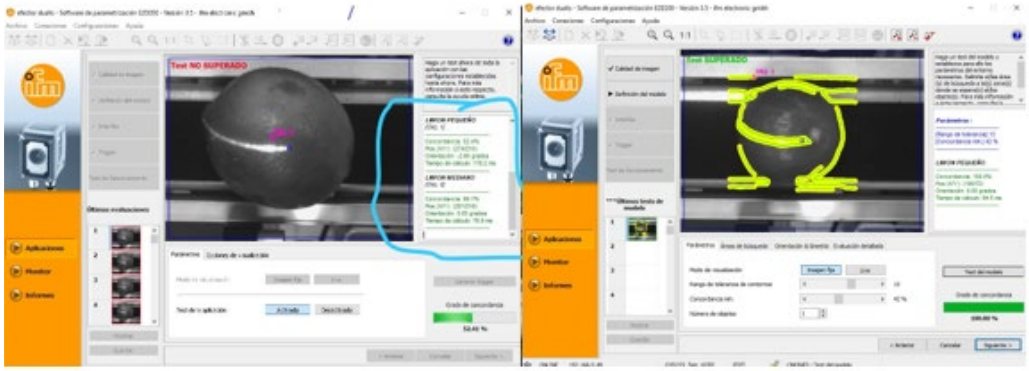


Figura 25. Pruebas con limones.

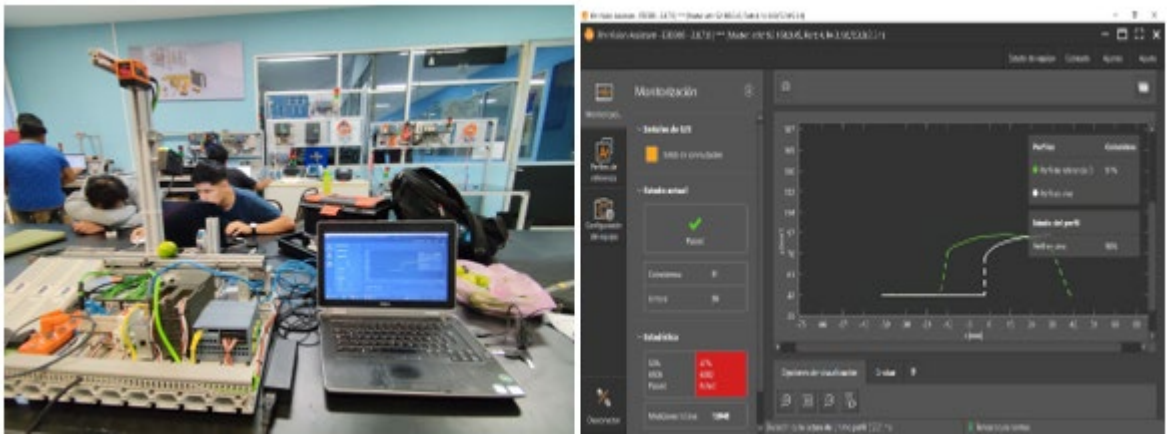


Figura 26. Pruebas de limones con el OPD101.

Conclusiones.

El uso de sensores 2D y de visión en sistemas automatización representa una inversión estratégica para mejorar la precisión, la seguridad y la eficiencia en procesos industriales. Aunque su implementación puede parecer desafiante al principio debido a los requerimientos de calibración, alineación y posibles adaptaciones al entorno, estas dificultades son temporales y solucionables con una buena planificación y capacitación del personal.

La integración de estos sensores no solo ayuda a reducir errores humanos y optimizar recursos, sino que también abre la puerta a procesos más inteligentes y confiables. En industrias donde el tiempo de inactividad o los errores pueden ser costosos, estas tecnologías garantizan un retorno de inversión significativo al mejorar la productividad, reducir costos de mantenimiento y aumentar la satisfacción del cliente final.

Además, al implementar estas herramientas, las empresas se posicionan a la vanguardia tecnológica, preparándose para enfrentar los desafíos de la Industria agrícola de una mejor manera. Si bien la curva de aprendizaje puede ser pronunciada, el impacto positivo en la operación general de los sistemas automatizados justifica plenamente el esfuerzo y los recursos invertidos. Ya que los sensores 2D y de visión no son solo dispositivos complementarios, sino componentes esenciales para construir procesos más eficientes, seguros y sostenibles a largo plazo.

Referencias bibliográficas.

IFM Electronic. (2024a). O2D225- Object recognition sensor. ifm. https://www.ifm.com/gb/en/product/O2D225.

IFM Electronic. (2024b). OPD101 - Profile sensor. ifm. https://www.ifm.com/us/en/product/OPD101.

ifm electronic. (s.f.). O2D225 - Sensor de visión. Recuperado de https://www.ifm.com.

ifm electronic. (s.f.). OPD101 - Sensor de visión 3D. Recuperado de https://www.ifm.com.

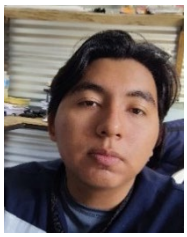
ifm electronic. (2023). efector dualis: Guía de configuración y uso de sensores de visión. ifm electronic GmbH. Disponible en el sitio web oficial de ifm: https://www.ifm.com.

IO-Link Consortium. (2023). Introducción a IO-Link: Principios y aplicaciones en la industria. Disponible en el sitio web de IO-Link: www.io-link.com.

Líder Empresarial. (2024). Los productos agrícolas más exportados de México en 2024. Disponible en: Los productos agrícolas más exportados de México en 2024 - Líder Empresarial (liderempresarial.com).

OCDE-FAO. (2023). Perspectivas agrícolas 2023-2032. OECD iLibrary. https://doi.org/10.1787/19991142.

Información de los autores.



Luis Enrique Castro Mendoza es estudiante de la carrera de Ingeniería Eléctrica, con especialización en Sistemas Eléctricos de Potencia, cursando actualmente el noveno semestre en el Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez (ITTG). Durante su formación

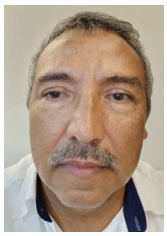
académica, ha adquirido conocimientos sólidos en diseño, análisis y operación de sistemas eléctricos, así como en el manejo de software especializado para la simulación y optimización de redes eléctricas. Además, ha participado en proyectos académicos enfocados en energías renovables y automatización industrial, fortaleciendo sus habilidades técnicas y su capacidad para resolver problemas complejos en el ámbito de la ingeniería eléctrica.

Aldo Esteban Aguilar Castillejos, obtuvo el grado de Maestro en Ciencias en Ing. Mecatrónica en el Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez (ITTG) en el 2011 y el título de Ingeniero en Electrónica en el mismo Instituto, con especialidad en Instrumentación y Control. Cuenta con la certificación CSWA, CSWP, CSWP Avanzado de SolidWorks; así como un Diplomado en el motor de desarrollo de videojuegos UNREAL, Diplomado en Microsoft Teams y Diplomado en competencias para la enseñanza de las ciencias. Acreedor al premio de desempeño a la excelencia EGEL 2018 y Miembro del Colegio de Ingenieros Mecánicos y Electricistas del Estado de Chiapas. Ha participado en el desarrollo de proyectos de investigación (PEI Conacyt) para empresas privadas, desarrollo de patentes con desarrollos tecnológicos en el Estado de Chiapas y fue parte del cuerpo de investigación de la Universidad del Valle de México Campus Tuxtla hasta el 2022. Actualmente es parte del cuerpo académico "Sistemas de control inteligentes" del I.T.T.G. con desarrollos de proyectos financiados por CONACyT y el TecNM. Con campos de interés en: dispositivos opto-mecatrónicos, manufactura, sensores de fibra óptica, instrumentación y control.

Osbaldo Ysaac García Ramos, Maestro en Ciencias en Ingeniería Mecatrónica egresado del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez. Académico de Tiempo Completo en UVM desde 2005. Tiene 12 años de experiencia docente. Tiene Cursos especialización en Mecatrónica en Universidad de Esslingen Alemania, en la empresa Emco Salzburgo Austria, en la empresa Festo Estados Unidos y Festo México. Responsable técnico del proyecto de investigación "Consolidar un centro de investigación y desarrollo de vehículos eléctricos funcionales y confortables e impulsados por energía limpia" junto con la empresa Invemex S.A de C.V., 2015. Ha desarrollado proyectos de investigación como 'Sistema de medición de hélices de barco para la secretaria de marina financiado por Conacyt y Semar', "Diseño y caracterización de Biomateriales a partir de macromicetos como alternativa al uso del unicel" en él año 2014 (financiados por Conacyt). Tiene participaciones en congresos internacionales como congreso Tecno láser Habana Cuba 2013 con artículo y ponencia 'Método de registro automático de imágenes de rango tridimensionales para restauración de piezas arqueológicas'.

Álvaro Hernández Sol, es Ingeniero en electrónica, egresado del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez ITTG, en Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. Es profesor de tiempo completo en el área de Ingeniería Electrónica del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez y es investigador desde 1997. Certificado en SolidWorks Associate. Jefe de proyectos de investigación de ingeniería electrónica desde el 2001. Fundador y asesor del "Club de robótica del ITTG". Colabora en la línea de investigación de "Robótica"

de Ingeniería electrónica. Dirige el área de trabajo en “Robótica“, es parte del cuerpo académico “sistemas de control inteligentes”. Ha realizado investigaciones en el área de los sistemas alternativos de comunicación y en sistemas robóticos, así como en sistemas traductores de lenguaje.



Vicente León Orozco, Ingeniero electricista, egresado del Instituto Tecnológico de Cd Madero, Tamps. Docente tiempo completo, en el Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica. Jefe de proyectos de vinculación de la carrera de ingeniería electrónica. Integrante del Colegio de Ingenieros Mecánicos y Electricistas del Estado de Chiapas. Desde el 2005, integrante de diferentes consejos directivos, como primer secretario. Diseño y ejecución de diversos diplomados de ahorro y uso eficiente de energía, en colaboración CFE-TecNM y SEMAHN. Jefe del Depto. de Ing. Eléctrica y electrónica. En la iniciativa privada con mantenimiento de equipo electrónico.

Arquitectura de gestión de un Data Warehouse para control de la deserción en el Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez.

Management architecture of a Data Warehouse to control dropout at the Tuxtla Gutiérrez Technological Institute.

Luis Alberto Vilchis Alegría (1).
Estudiante del Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez.
l19270625@tuxtla.tecnm.mx.

Mónica Lucero Méndez Hernández (2). Estudiante del Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez, l19270604@tuxtla.tecnm.mx.

Aída Guillermina Cossío Martínez* (3), Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez, aida.cm@tuxtla.tecnm.mx.

Galdino Belizario Nango Solís (4), Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez, galdino.ns@tuxtla.tecnm.mx.

Héctor Guerra Crespo (5), Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez, hector.gc@tuxtla.tecnm.mx.

Néstor Antonio Morales Navarro (6), Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez, nestor.mn@tuxtla.tecnm.mx.

*corresponding author.

Artículo recibido en mayo 10, 2024; aceptado en junio 03, 2024.

Resumen.

El proyecto se enfoca en la creación e implementación de un Data Warehouse utilizando el esquema en estrella, con el objetivo de identificar los factores que inciden en la deserción estudiantil durante los tres primeros semestres de la carrera en Ingeniería en Sistemas Computacionales del Tecnológico Nacional de México Campus Tuxtla Gutiérrez. Para llevar a cabo este proyecto, se emplea la metodología ETL (Extracción, Transformación y Carga). Además, se utiliza la herramienta Power Bi para mejorar la comprensión de los informes generados.

Palabras claves: Data Warehouse, deserción, informes, Power Bi.

Abstract.

The project focuses on the creation and implementation of a Data Warehouse using the star scheme, with the objective of identifying the factors that influence student desertion during the first three semesters of the bachelor's degree in computer systems engineering at the Tecnológico Nacional de México Campus Tuxtla Gutiérrez. To carry out this project, the ETL (Extraction, Transformation and Loading) methodology is used. In addition, the Power Bi tool is used to improve the understanding of the reports generated.

Keywords: Data Warehouse, desertion, Power Bi, reports.

1. Introducción.

La deserción estudiantil es un tema complejo que requiere atención detallada debido a su impacto en el desarrollo académico y profesional de los jóvenes. Durante la investigación, se ha notado el compromiso de numerosas instituciones educativas en abordar esta problemática y reducir su incidencia.

Sin embargo, a pesar de su persistencia, en ocasiones la deserción no recibe la atención adecuada, lo que conlleva a que muchos estudiantes abandonen prematuramente sus estudios en busca de empleo. El proyecto tiene como objetivo fundamental analizar los motivos que llevan a los estudiantes a desertar y proponer acciones para mitigar estos factores, con el fin último de disminuir la tasa de abandono escolar.

La ausencia de la medición impide tomar decisiones fundamentadas en el desarrollo académico y si no se toman medidas sobre el comportamiento difícilmente se podrá mejorar las condiciones; la toma de decisiones por parte de los directivos deberá incidir en la mejor forma antecediendo el conocimiento de indicadores.

Para llevar a cabo este estudio, se ha tomado como fuente principal de información las encuestas dirigidas a los alumnos que abandonaron la carrera de Ingeniería en Sistemas Computacionales en el Tecnológico Nacional de México Campus Tuxtla Gutiérrez, en el periodo comprendidos entre el primer semestre de 2021 al último semestre de 2023, centrándonos específicamente en los tres primeros semestres.

El Data Warehouse parte de la implementación de este sistema de cuestionario encaminado a obtener aspectos que pueden influir en la decisión de abandonar los estudios, como son los factores económicos, psicológicos, académicos, sociales e institucionales. La recopilación de esta información permite elaborar un diagnóstico general del comportamiento de la deserción de la carrera. Además, el Data Warehouse posibilita la conservación de registros históricos y el almacenamiento eficiente de grandes volúmenes de datos, proporcionando todo lo necesario para la toma de decisiones precisas y fundamentadas (Tacuri & Ayabaca, 2019).

Para analizar de manera adecuada los resultados obtenidos, se utiliza la herramienta Power BI de Microsoft. Esta herramienta facilita el análisis y la visualización de datos en tiempo real al conectar directamente con distintas fuentes de datos, proporcionando a los usuarios acceso instantáneo a información actualizada y relevante (Pérez, Ortega & Bastidas, 2023). Gracias a las funcionalidades de Power BI, podemos identificar patrones y tendencias relevantes que nos ayuden a comprender mejor las causas de la deserción estudiantil e implementar estrategias efectivas para reducirlas.

2. Métodos.

De las características distintivas de un Data Warehouse encontramos la orientación al tema pues la información está clasificada en base a los aspectos que son de interés, el ambiente operacional se desarrolló en relación a los aspectos económicos, psicológicos, académicos, sociales e institucionales. La base de datos combina estos elementos en una estructura que acomoda las necesidades de la aplicación. Está integrada la información, no es volátil y además toda la información es requerida en algún momento por lo que es variante.

La información se clasifica en base a los indicadores de aspectos económicos, psicológicos, académicos, sociales e institucionales, lo que significa que los datos no se encuentran en función de las aplicaciones, si no que se orientan al sujeto.

Para llevar a cabo este proyecto, se ha implementado el método ETL (Extracción, Transformación y Carga). Esta metodología desempeña un papel fundamental al proporcionar coherencia y garantizar la integridad de la información recopilada.

Gil Arboleda Samuel (2023), define esta metodología como un enfoque de integración de datos que comprende tres fases: extracción, transformación y carga. Estas fases se utilizan para unir datos provenientes de distintas fuentes, desde la obtención de datos de un sistema de origen (extracción), su transformación a un formato almacenable (transformación) hasta su almacenamiento en un Data Warehouse o base de datos (carga).

De acuerdo con el estudio, en la fase de extracción, se han recabado datos de dos fuentes principales: el departamento de centro de cómputo, encargado de gestionar la base de datos con información socioeconómica de cada estudiante al momento de su ingreso al Sistema Integral de Información (SII), y la encuesta dirigida a los estudiantes desertores. En la fase de transformación, se ha realizado la depuración de los datos, llevando a cabo ajustes y correcciones necesarios para obtener la información relevante para la investigación, lo cual ha implicado la definición de campos necesarios y eliminación de datos irrelevantes. Una vez completada la fase de extracción y transformación, se procedió a la carga de los datos en la base de datos, preparándolos para su análisis posterior, es importante mencionar que este proceso se fundamenta en el diseño del Data Warehouse, publicación previa titulado “Diseño del Data Warehouse para identificar la deserción e índice de reprobación escolar caso Ingeniería en Sistemas Computacionales del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez” (Hernández, Martínez, Solís, Navarro & Toledo, 2023).

El esquema estrella del Data Warehouse consta de una tabla de hechos y 14 tablas dimensionales, que distinguen la operatividad de la base de datos relacional de la cual provienen los datos y la estructura que conforma el Data Warehouse.

Materiales.

- Cuestionario de los alumnos desertores contestado
- Base de Datos del Área del Centro de Computo a través de su Sistema de Información Integral (SII)
- Herramienta Power Bi

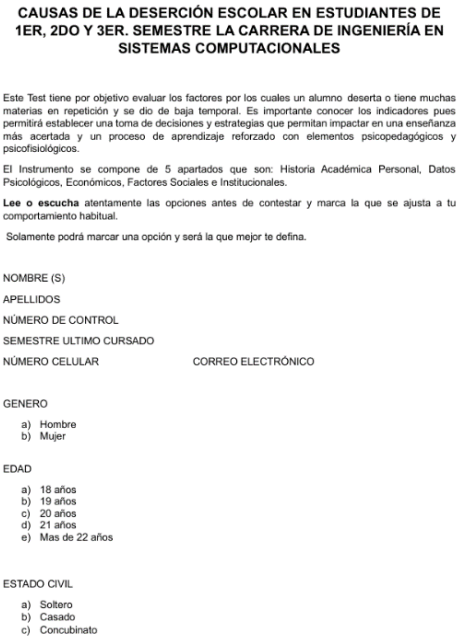
3. Desarrollo.

Procedimiento.

El primer paso fue aplicar el cuestionario a los estudiantes desertores a través de los profesores vía telefónica, asignándoles un tiempo de 15 minutos para cada encuesta y se centra la misma petición e instrucción para todos.

Después de recopilar las respuestas, se comparan las respuestas obtenidas con los datos almacenados en la base de datos proporcionada por el departamento del Centro de Computo a través de su Sistema de Información Integral (SII). Este proceso se realiza para validar la precisión de los datos recopilados y determinar si es necesario actualizar alguna información.

En la Figura 1 se presenta encuesta aplicada al alumno desertor.



CAUSAS DE LA DESERCIÓN ESCOLAR EN ESTUDIANTES DE 1ER, 2DO Y 3ER. SEMESTRE LA CARRERA DE INGENIERÍA EN SISTEMAS COMPUTACIONALES

Este Test tiene por objetivo evaluar los factores por los cuales un alumno deserta o tiene muchas materias en repetición y se dio de baja temporal. Es importante conocer los indicadores pues permitirá establecer una toma de decisiones y estrategias que permitan impactar en una enseñanza más acertada y un proceso de aprendizaje reforzado con elementos psicopedagógicos y psicofisiológicos.

El Instrumento se compone de 5 apartados que son: Historia Académica Personal, Datos Psicológicos, Económicos, Factores Sociales e Institucionales.

Lee o escucha atentamente las opciones antes de contestar y marca la que se ajusta a tu comportamiento habitual.

Solamente podrá marcar una opción y será la que mejor te defina.

NOMBRE (S)

APELLIDOS

NÚMERO DE CONTROL

SEMESTRE ULTIMO CURSADO

NÚMERO CELULAR CORREO ELECTRÓNICO

GENERO

a) Hombre
b) Mujer

EDAD

a) 18 años
b) 19 años
c) 20 años
d) 21 años
e) Mas de 22 años

ESTADO CIVIL

a) Soltero
b) Casado
c) Concubinato

Figura 1. Encuesta realizada a alumno desertor.

Una vez finalizado la comparación de la información obtenida, los datos se ingresan en el Data Warehouse, que está diseñado bajo el esquema en estrella.

Cada encuesta realizada se registra en el Data Warehouse, como se muestra en la Figura 2, donde se observa el proceso de registro de la información de un alumno desertor.

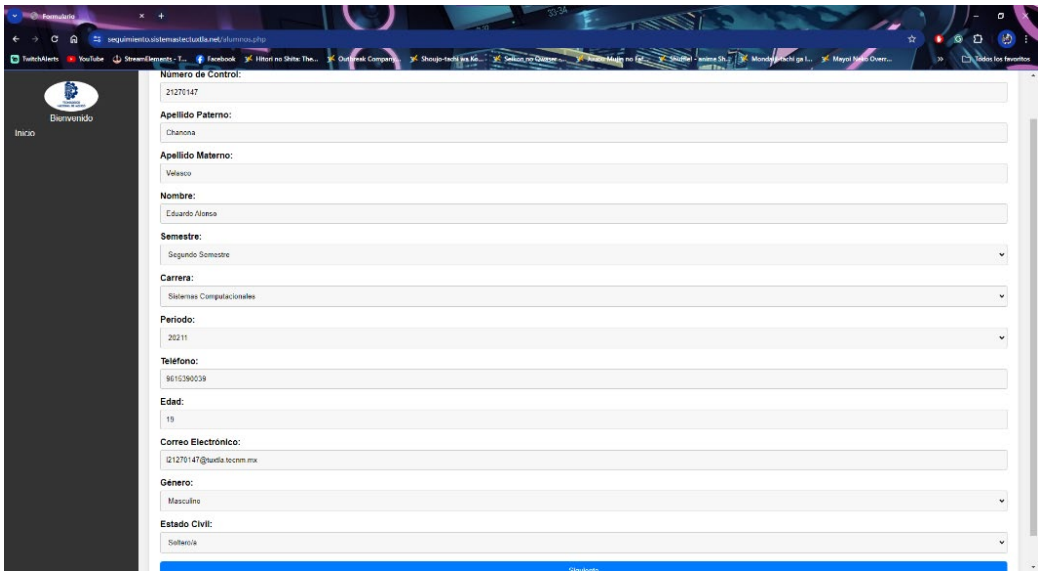


Figura 2. Proceso de registro de información en el Data Warehouse.

Tras haber completado todo el registro de cuestionarios en el Data Warehouse, se utiliza la herramienta Power Bi, para analizar y visualizar los datos. En la Figura 3, se observa la pantalla principal de la herramienta Power Bi.

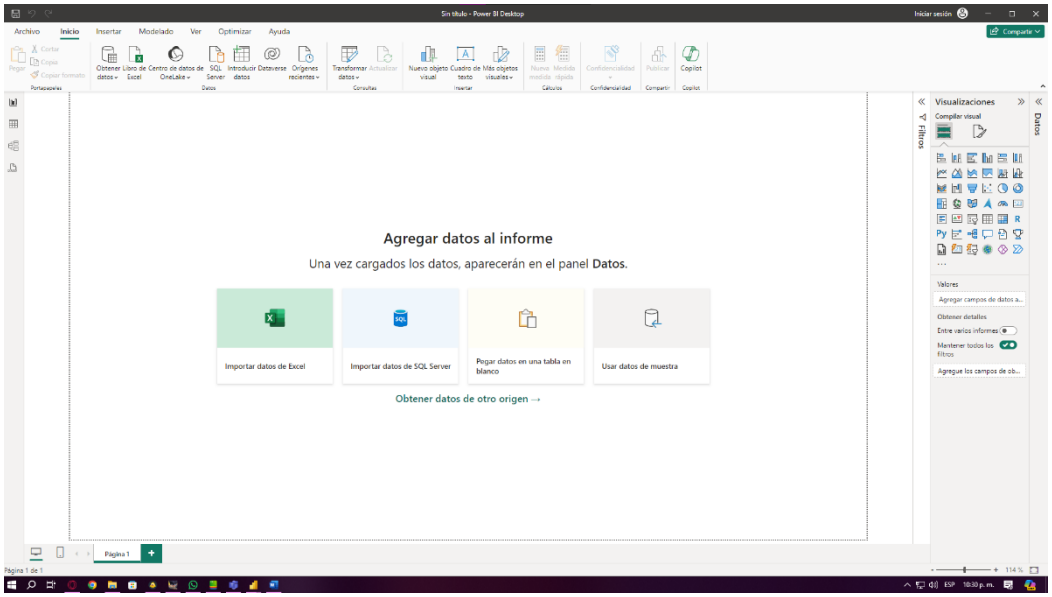


Figura 3. Interfaz principal de Power Bi.

Para establecer la conexión con la base de datos, se accede al apartado “obtener datos” y se selecciona la opción “Más”, luego se elige la conexión con la base de datos MySQL, como se muestra en la Figura 4.

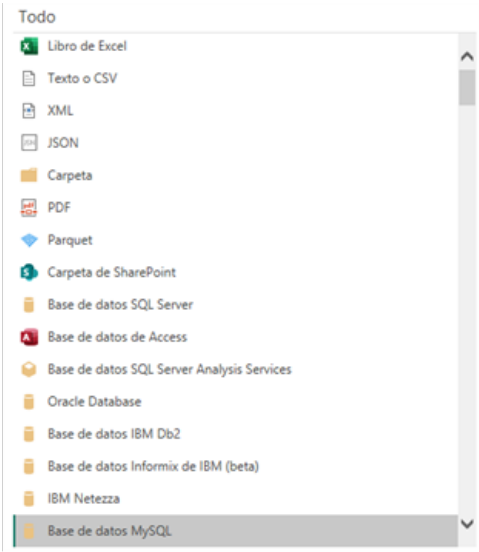


Figura 4. Selección para Conexión a BD MySQL.

Es necesario ingresar la dirección IP del servidor y el nombre de la base de datos, como se muestra en la Figura 5

Figura 5. Selección para Conexión a BD MySQL.

Teniendo establecida la conexión, se seleccionan las tablas requeridas para comenzar a crear los informes. En la Figura 6 se muestra la selección de tablas y en la Figura 7 se muestra la verificación de los datos antes de pasar a la etapa de cargarlos.

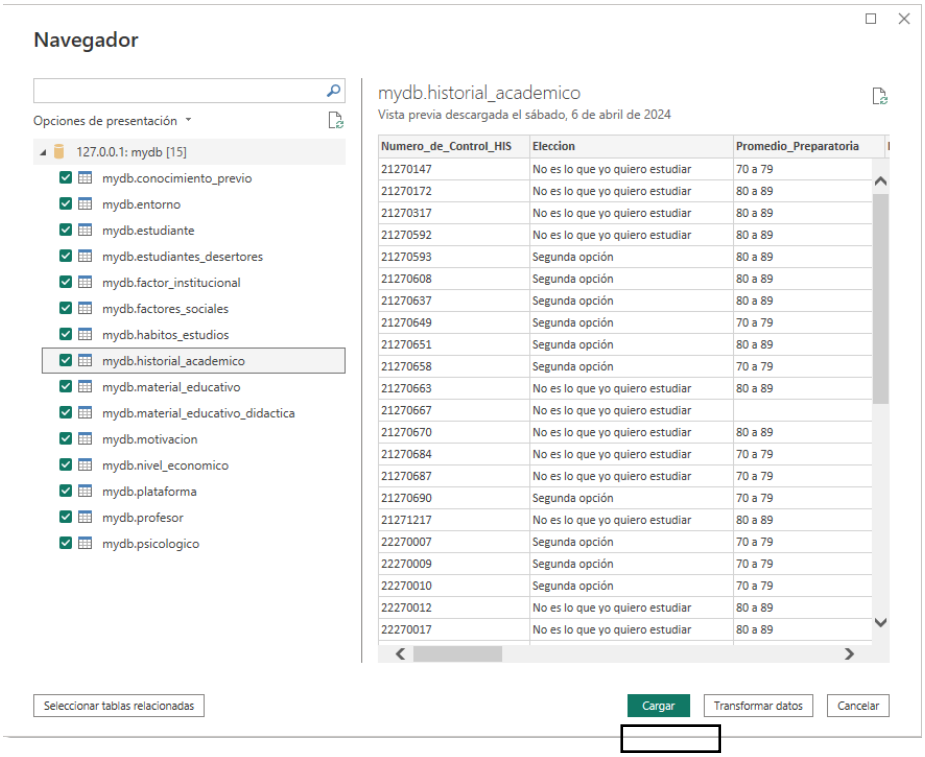


Figura 6. Selección de Tablas.

	Numero_de_Control_HIS	Eleccion	Promedio_Preparatoria	Educacion_Vocacional	Materias_Reprobadas	Tipo_Baja	MotivoBaja	Programa_De_Estudio
1	21270147	No es lo que yo quiero estudiar	70 a 79	Si	Todas las del semestre	Definitiva	Voluntaria	No cumple mis expectativas
2	21270172	No es lo que yo quiero estudiar	80 a 89	Si	3 a 5	Temporal	Por Especiales	No es lo que esperaba aprender
3	21270317	No es lo que yo quiero estudiar	80 a 89	Si	Todas las del semestre	Definitiva	Por Reprobacion de Especiales	No es lo que esperaba aprender
4	21270592	No es lo que yo quiero estudiar	80 a 89	Si	Todas las del semestre	Temporal	Normal	No es lo que esperaba aprender
5	21270593	Segunda opción	80 a 89	Si	Todas las del semestre	Temporal	Normal	No es lo que esperaba aprender
6	21270608	Segunda opción	80 a 89	Si	3 a 5	Temporal	Normal	No cumple mis expectativas
7	21270637	Segunda opción	80 a 89	Si	Todas las del semestre	Temporal	Normal	No cumple mis expectativas
8	21270649	Segunda opción	70 a 79	Si	3 a 5	Temporal	Normal	Me es indiferente
9	21270651	Segunda opción	80 a 89	Si	3 a 5	Temporal	Normal	No cumple mis expectativas
10	21270658	Segunda opción	70 a 79	Si	Todas las del semestre	Temporal	Normal	Lo que dice no es lo que enseña
11	21270663	No es lo que yo quiero estudiar	80 a 89	Si	Todas las del semestre	Definitiva	Por Reprobacion de Especiales	No es lo que esperaba aprender
12	21270667	No es lo que yo quiero estudiar			1 a 3	Temporal	Cambio de Carrera	No cumple mis expectativas
13	21270670	No es lo que yo quiero estudiar	80 a 89	Si	Todas las del semestre	Temporal	Normal	No es lo que esperaba aprender
14	21270684	No es lo que yo quiero estudiar	70 a 79	Si	Todas las del semestre	Definitiva	Voluntaria	No es lo que esperaba aprender
15	21270687	No es lo que yo quiero estudiar	70 a 79	Si	Todas las del semestre	Definitiva	Voluntaria	No es lo que esperaba aprender
16	21270690	Segunda opción	70 a 79	Si	3 a 5	Temporal	Normal	No cumple mis expectativas
17	21271217	No es lo que yo quiero estudiar	80 a 89	Si	3 a 5	Temporal	Normal	No es lo que esperaba aprender
18	22270007	Segunda opción	70 a 79	Si	Todas las del semestre	Temporal	Normal	No cumple mis expectativas
19	22270009	Segunda opción	70 a 79	Si	3 a 5	Temporal	Normal	No cumple mis expectativas
20	22270010	Segunda opción	70 a 79	Si	Todas las del semestre	Temporal	Normal	No cumple mis expectativas
21	22270012	No es lo que yo quiero estudiar	80 a 89	Si	Todas las del semestre	Definitiva	Voluntaria	No es lo que esperaba aprender
22	22270017	No es lo que yo quiero estudiar	80 a 89	Si	Todas las del semestre	Temporal	Normal	No es lo que esperaba aprender
23	22270029	Segunda opción	70 a 79	Si	3 a 5	Definitiva	Voluntaria	No cumple mis expectativas
24	22270031	Segunda opción	70 a 79	Si	3 a 5	Temporal	Normal	No cumple mis expectativas
25	22270033	No es lo que yo quiero estudiar	70 a 79	Si	Todas las del semestre	Definitiva	Voluntaria	No cumple mis expectativas
26	22270042	No es lo que yo quiero estudiar	70 a 79	Si	Todas las del semestre	Definitiva	Voluntaria	No es lo que esperaba aprender
27	22270043	Primera opción	80 a 89	No		Definitiva	Voluntaria	No cumple mis expectativas
28	22270050	No es lo que yo quiero estudiar	70 a 79	Si	3 a 5	Definitiva	Voluntaria	No cumple mis expectativas
29	22270054	No es lo que yo quiero estudiar	70 a 79	Si	Todas las del semestre	Definitiva	Voluntaria	No cumple mis expectativas
30	22270057	Segunda opción	70 a 79	Si	3 a 5	Temporal	Normal	No cumple mis expectativas
31	22270059	No es lo que yo quiero estudiar	80 a 89	Si	Todas las del semestre	Definitiva	Voluntaria	No cumple mis expectativas
32	22270441	No es lo que yo quiero estudiar	80 a 89	Si	3 a 5	Definitiva	Voluntaria	No es lo que esperaba aprender
33	22270463	No es lo que yo quiero estudiar	70 a 79	Si	3 a 5	Definitiva	Voluntaria	No cumple mis expectativas
34	22270474	No es lo que yo quiero estudiar	70 a 79	Si	Todas las del semestre	Definitiva	Voluntaria	No cumple mis expectativas
35	22270487	No es lo que yo quiero estudiar	70 a 79	Si	3 a 5	Definitiva	Voluntaria	No es lo que esperaba aprender
36	22270507	No es lo que yo quiero estudiar	70 a 79	Si	Todas las del semestre	Definitiva	Voluntaria	No es lo que esperaba aprender
37	22270509	No es lo que yo quiero estudiar	80 a 89	No	Todas las del semestre	Definitiva	Voluntaria	No cumple mis expectativas
38	25270045	No es lo que yo quiero estudiar	80 a 89	Si	Todas las del semestre	Definitiva	Voluntaria	No cumple mis expectativas

Figura 7. Verificación de Datos.

Finalmente, una vez que se han verificado los datos, se elige la opción de “Cerrar y Aplicar” y Power Bi proporciona un lienzo en blanco para comenzar a crear nuestros informes y presentar los resultados.

Resultados.

En la Figura 8, muestra el análisis del tipo de baja entre los estudiantes encuestados.

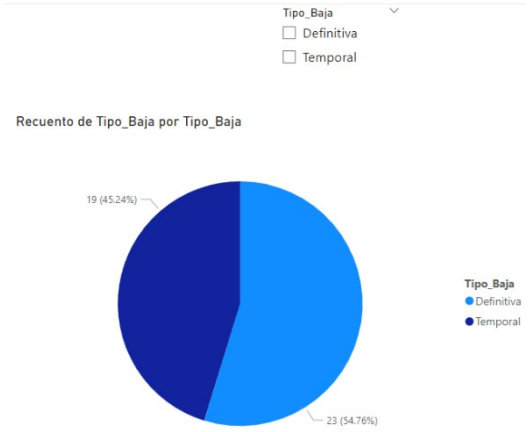


Figura 8. Informe por Tipo de Baja.

De los 42 estudiantes encuestados, 19 optaron por una baja temporal lo que representa el 45.24% del total de estudiantes encuestados. Por otro lado, 23 estudiantes decidieron una baja definitiva equivalente al 54.76% restante.

En la Figura 9, se presenta el análisis del semestre en el que se registró el mayor número bajas.

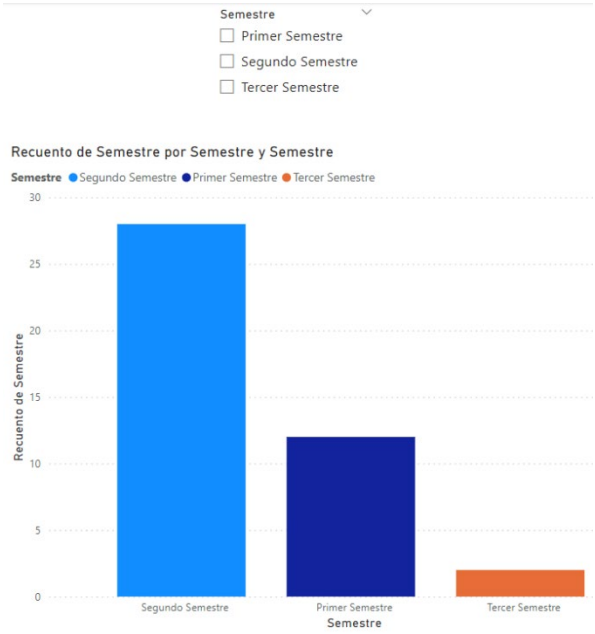


Figura 9. Informe por Semestre.

El segundo semestre registra la mayor demanda de deserción, con un total de 28 estudiantes que abandonaron sus estudios. En el primer semestre se contabilizaron 12 estudiantes que desertaron, mientras que en tercer semestre solo 2 estudiantes se dieron de baja.

En la Figura 10, se observa el análisis de las causas por las cuales los estudiantes optaron por abandonar sus estudios profesionales.

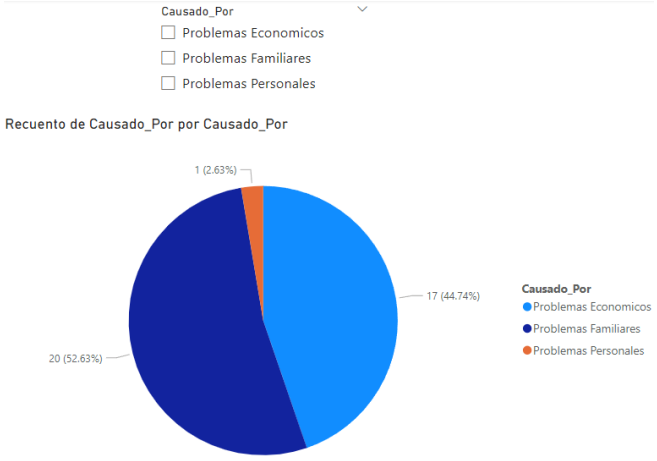


Figura 10. Informe por Causas de Deserción.

Los resultados arrojaron que los problemas familiares fueron la causa principal de la deserción con un total de 20 estudiantes y representa el 52.63% del total, en seguida se encuentran los problemas económicos con 17 estudiantes afectados abarcando el 44.74% de los casos. Finalmente, los problemas personales tuvieron un menor impacto con solo 1 estudiante afectado, lo que corresponde al 2.63% de la muestra estudiada.

En la Figura 11, se muestra el análisis del periodo con mayor índice de deserción estudiantil.

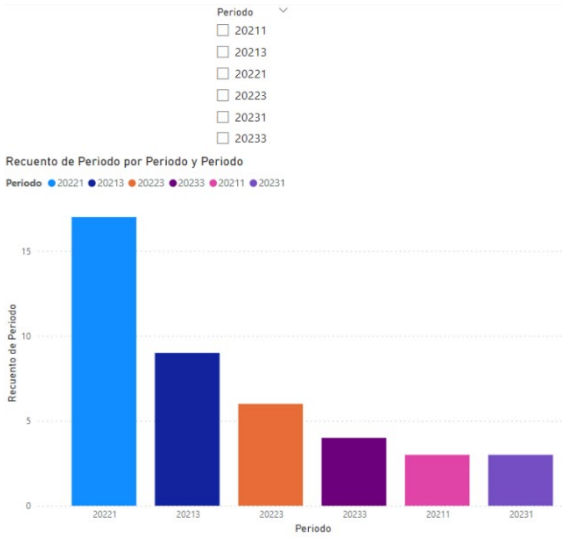


Figura 11. Informe por periodo.

El periodo 20221 indica el mayor índice de deserción con un total de 18 estudiantes que abandonaron sus estudios, mientras que en los periodos 20211 y 20231 registran el menor número de casos de deserción estudiantil con 4 estudiantes.

En la Figura 12, se presenta el análisis para identificar con quien vive cada estudiante.

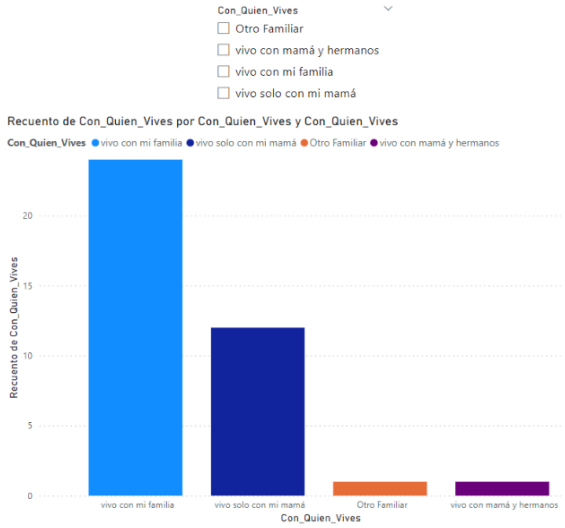


Figura 12. Informe con quien vive el estudiante.

De los 42 estudiantes encuestados, 28 estudiantes viven con su familia, 12 estudiantes viven solo con su mamá, 1 estudiante vive con otro familiar, y 1 estudiante vive con hermanos y su mamá.

En la Figura 13, se observa el análisis para identificar si el estudiante trabaja mientras estudia.

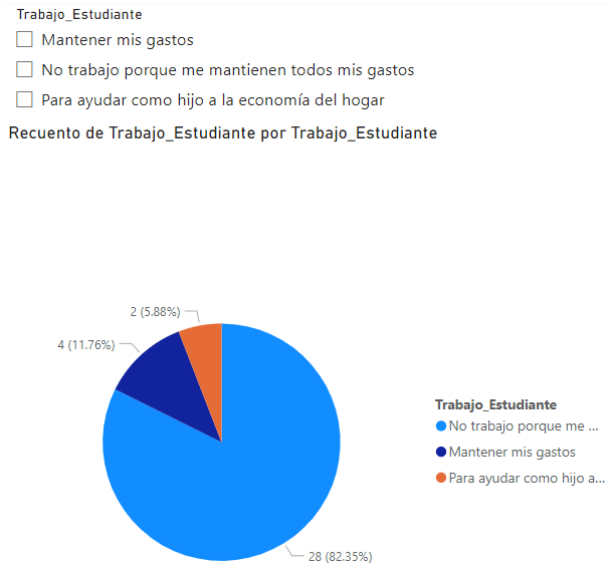


Figura 13. Informe por Gastos del estudiante.

El análisis mostró que 28 de los estudiantes no trabajan mientras estudian, ya que sus gastos son cubiertos por su tutor. Por otro lado, 4 estudiantes trabajan para mantener sus propios gastos, mientras 2 estudiantes trabajan para ayudar en la economía del hogar.

En la Figura 14, se analiza que opción fue la carrera: primera, segunda o última opción del estudiante.

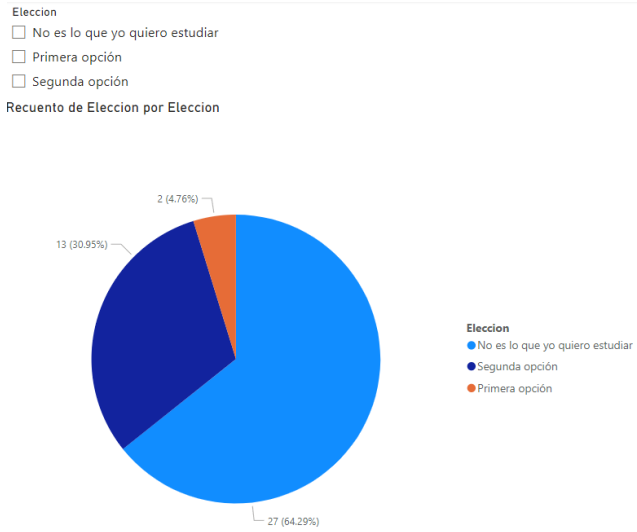


Figura 14. Informe por lugar que ocupa la elección de la carrera ISC.

Los resultados determinan que 27 estudiantes no era lo que realmente querían estudiar. Por otro lado, 13 estudiantes fue segunda opción Ingeniería en Sistemas Computacionales y únicamente 2 estudiantes fue su principal opción al ingresar a la institución.

En la Figura 15, se analiza el proyecto de vida de los estudiantes.

Figura 15. Informe por proyecto de vida del estudiante.

La mayoría de los estudiantes quieren irse del estado siendo un total de 23 estudiantes, mientras que 16 de ellos no quieren estudiar una ingeniería, y el resto quiere irse del país o tener un negocio.

En la Figura 16, se observa el análisis sobre las causas de frustración en los estudiantes desertores.

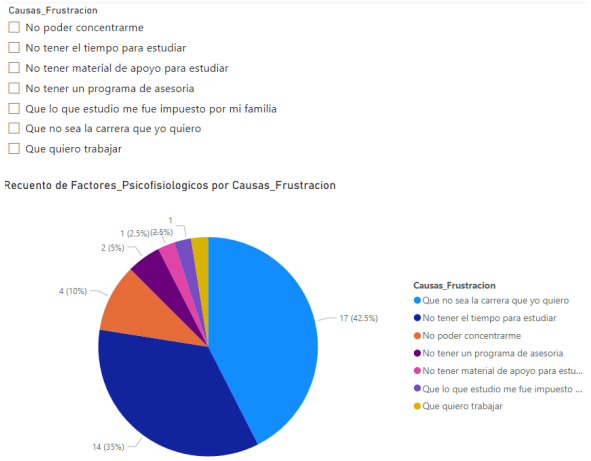


Figura 16. Informe por causas de frustración.

Los resultados obtenidos reflejan que 17 estudiantes su principal frustración se debía a que la carrera no era lo que querían estudiar, por otro lado 14 no tenían tiempo para estudiar, mientras la minoría se divide entre no poder concentrarse y no tener el material de apoyo.

En la Figura 17, se presenta un análisis sobre la cantidad de materias que los estudiantes desertores reprobaron antes de abandonar la carrera.

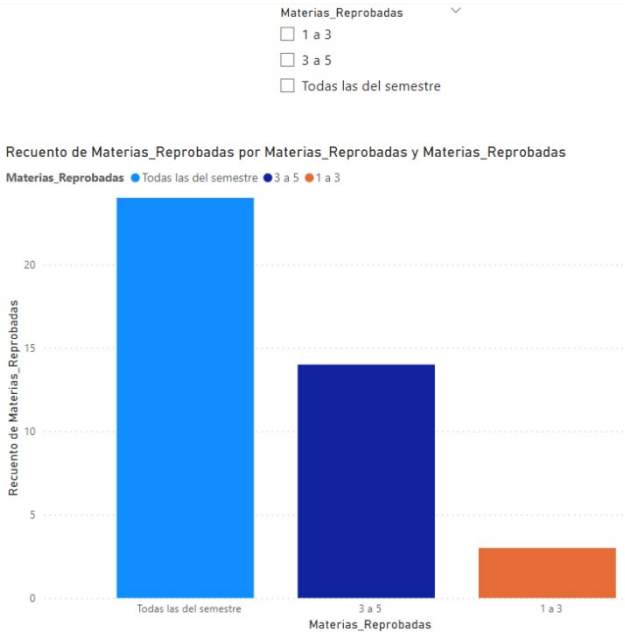


Figura 17. Informe por Materias reprobadas.

25 de los estudiantes que abandonaron la carrera no lograron aprobar ninguna de sus materias, 14 de ellos reprobaron entre 3 y 5 materias. Solo 3 estudiantes reprobaron entre 1 y 2 materias durante el semestre antes de darse de baja.

Conclusiones.

El desarrollo del Data Warehouse ha permitido identificar con precisión las causas de la deserción estudiantil en la carrera de Ingeniería en Sistemas Computacionales del Tecnológico Nacional de México Campus Tuxtla Gutiérrez, durante el periodo 2021 al primer semestre del 2023.

A partir de los resultados obtenidos en la investigación, se recomienda implementar medidas para abordar el tema de la deserción estudiantil, se propone ofrecer un programa integral de asesorías académicas, integración de apoyo vocacional, preparación de materiales de estudio por los docentes en los intersemestrales, difusión de becas, platicas psicológicas y motivacionales, con la finalidad de promover el éxito en la formación profesional de los estudiantes.

Se logra contribuir e identificar las causas de la deserción en la cerrera y esta investigación sienta las bases para futuros proyectos dentro del Tecnológico como el escalamiento a las demás carreras ya el Data Warehouse se concibe como un recurso dinámico y escalable.

Créditos.

Los autores agradecen al Tecnológico Nacional de México por el financiamiento del proyecto a través de la convocatoria de fortalecimiento de cuerpos académicos PRODEP 2023.

Referencias bibliográficas.

Gil Arboleda, S. (2023). Desarrollo de una herramienta para procesos ETL. Tesis de licenciatura. Universidad de Antoquia

Hernández, M. L. M., Martínez, A. G. C., Solís, G. B. N., Navarro, N. A. M., & Toledo, G. R. (2023). Diseño del Data Warehouse para identificar la deserción e índice de reprobación escolar caso Ingeniería en Sistemas Computacionales del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez. Revista Tecnología Digital Vol, 13(2), 27-35.

Morales, L. M. (2018). Business Intelligence adaptado a la migración masiva de datos. Puesta en práctica con Powercenter.

Tacuri, A. M. J., & Ayabaca, S. L. P. (2019). Diseño de un modelo físico de Data Warehouse para la gestión de incidencias para una empresa de telecomunicaciones, aplicando la metodología Hefesto. Polo del Conocimiento: Revista científico-profesional, 4(7), 95-118

Pérez, M., Ortega, D., & Bastidas, D. (2023). inteligencia de negocios para pymes: optimiza tus decisiones con power bi.

Información de los autores.

Luis Alberto Vilchis Alegría, es estudiante de la Carrera de Ingeniería en Sistemas Computacionales del Instituto Tecnológico Campus Tuxtla Gutiérrez. Se encuentra realizando la residencia profesional, titulada “Control y Seguimiento de la Deserción en la carrera de Ingeniería en Sistemas Computacionales.

Mónica Lucero Méndez Hernández es estudiante de la Carrera de Ingeniería en Sistemas Computacionales del Instituto Tecnológico Campus Tuxtla Gutiérrez. Se encuentra realizando la residencia profesional, titulada “Control y Seguimiento de la Deserción en la carrera de Ingeniería en Sistemas Computacionales”

Aída Guillermina Cossío Martínez es Maestra en Ciencias en Administración por el Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez en 2002. Es profesora de tiempo completo del área de Ingeniería en Sistemas Computacionales del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez, desde 1994. Se especializa en la formulación y evaluación de proyectos, así como el emprendimiento y desarrollo de planes de negocio, perfil deseable desde 2015 y trabaja en la línea de investigación Sistemas de Información, actualmente miembro del Cuerpo Académico Tecnología de Información para el Desarrollo de Ventajas Competitivas.

Galdino Belizario Nango Solís es Ingeniero en Sistemas Computacionales por el Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, en 1996. Es Maestro en Ciencias de la Computación por el Centro de Investigación en Computación del Instituto Politécnico Nacional, en 2001. Es Doctor en Desarrollo Tecnológico por la Universidad de Ciencia y Tecnología Descartes, en 2016. Es profesor en el área de Ingeniería en Sistemas Computacionales del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez, donde imparte clases en las materias de Programación Lógica y Funcional; y Lenguajes y Autómatas. Es profesor con perfil deseable PRODEP y miembro del Cuerpo Académico Tecnologías de la Información para el Desarrollo de Ventajas Competitivas en la LGAC Sistemas de Información desde 2022.

Héctor Guerra Crespo es egresado del I. T. de Mérida (Yucatán, México) de la carrera de Ingeniería en Sistemas Computacionales en 1994, es Doctor en Sistemas Computacionales por la Universidad del Sur (Chiapas, México) en 2011. Es profesor en el área de Ingeniería en Sistemas Computacionales del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez y en el área de Licenciatura en Sistemas Computacionales de la Universidad Autónoma de Chiapas, en ambas desde 1995. Es miembro del Claustro Doctoral "Doctorado en Ciencias de la Ingeniería" perteneciente al Programa Nacional de Posgrados de Calidad, I.T. de Tuxtla Gutiérrez desde 2016. Miembro del Sistema Nacional de Investigadores, nivel C (2024-2021).

Néstor Antonio Morales Navarro es Doctor en Desarrollo Tecnológico. Docente del departamento de la carrera de Ingeniería en Sistemas Computacionales y Jefe del departamento del Centro de Cómputo del Tecnológico Nacional de México campus Tuxtla Gutiérrez. Miembro del Sistema Nacional de Investigadores, nivel Candidato. Se especializa en el área de Visión e Inteligencia Artificial.

Desarrollo de intercambiador de calor para determinar los coeficientes individuales basado en Industry 4.0.

Development of heat exchanger to determine individual coefficients based on Industry 4.0.

Osbaldo Ysaac García Ramos (1).
Tecnológico Nacional de México/ Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez.
osbaldo.gr@tuxtla.tecnm.mx.

Rene Cuesta Díaz* (2). Tecnológico Nacional de México/ Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez,
rene.cd@tuxtla.tecnm.mx.

Jorge Armando Gómez Salinas (3). Tecnológico Nacional de México/ Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez,
jorge.gs@tuxtla.tecnm.mx.

Cristal Guadalupe Lozano Cruz (4). Tecnológico Nacional de México/ Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez,
l19270525@tuxtla.tecnm.mx.

Carlos Ramón Alfonzo Santiago (5). Tecnológico Nacional de México/ Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez,
carlos.as@tuxtla.tecnm.mx.

Alexis de Jesús Flores García (6). Tecnológico Nacional de México/ Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez,
alexis.fg@tuxtla.tecnm.mx.

*corresponding author.

Artículo recibido en diciembre 05, 2024; aceptado en diciembre 20, 2024.

Resumen.

En el presente artículo se presenta el desarrollo de un intercambiador de calor de tubos y coraza para determinación en forma experimental de los coeficientes individuales transferencia de calor para un sistema de calentamiento de agua- solución de sosa cáustica usada en el lavado de botellas retornables en la industria refresquera, considerando dos variables importantes: flujo volumétrico y temperatura. Para su implementación se aplicó diseño térmico, diseño mecánico, manufactura mediante CNC, diseño eléctrico, diseño de la red Profinet y IO link. El sistema cuenta con dos depósitos uno de provisionamiento de líquido con temperatura a transferir y el otro con el líquido a atemperar, bombas centrifugas de impulsión, tuberías, conexiones hidráulicas de sensores, tanques, sistema de calentamiento, instrumentación electrónica y dispositivos de control que permiten representar el sistema utilizado en el lavado de botellas retornables en la industria refresquera.

Palabras claves: Coeficientes individuales transferencia de calor, diseño mecánico, Eplan, flujo volumétrico, manufactura CNC.

Abstract.

This article presents the development of a tube and shell heat exchanger for experimental determination of the individual heat transfer coefficients for a water-caustic soda solution heating system used in washing returnable bottles in the soft drink industry, considering two important variables: volumetric flow and temperature. For its implementation, thermal design, mechanical design, CNC manufacturing, electrical design, Profinet network design and IO link were applied. The system has two tanks, one for supplying liquid with temperature to be transferred and the other with the liquid to be tempered, centrifugal pumps, pipes, hydraulic connections of sensors, tanks, heating system, electronic instrumentation and control devices that allow represent the system used in washing returnable bottles in the soft drink industry.

Keywords: CNC manufacturing, Eplan, individual heat transfer coefficients, mechanical design, volumetric flow.

1. Introducción.

Un intercambiador de calor es un equipo que transfiere continuamente calor de un medio a otro. Hay dos tipos principales de intercambiadores de calor: directos e indirectos.

Intercambiador de calor directo, donde ambos medios están en contacto directo entre sí. Se da por sentado que los medios no se mezclan. Un ejemplo de este tipo de intercambiador de calor es una torre de enfriamiento, donde el agua se enfría a través del contacto directo con el aire.

Intercambiador de calor indirecto, donde ambos medios están separados por una pared a través de la cual se transfiere el calor. Los intercambiadores de calor indirectos están disponibles en varios tipos principales (placa, carcasa y tubo, espiral, etc.) (Alfa laval, 2024).

Aunque el principio de la transferencia de calor es el mismo independientemente del medio utilizado, debemos diferencian las aplicaciones entre sí. La mayoría de las tareas se dividen en tres aplicaciones principales:

Agua/Agua: La mayor parte de intercambiadores de calor se utiliza para tareas de agua/agua, es decir, agua calentada o enfriada con agua. Agua enfriada: aquí se utiliza agua de menor temperatura, por ejemplo, de una torre de refrigeración, un lago, un río o el mar y agua calentada: aquí se utiliza agua con una temperatura más alta, por ejemplo, calefacción urbana, calderas o agua caliente para procesos.

Agua/petróleo: En algunas industrias, el petróleo tiene que ser enfriado usando agua. Esta agua puede ser conectada a un sistema de recuperación de calor que recupera el calor del petróleo para varios usos: Refrigeración de aceite hidráulico, Enfriamiento de aceite de enfriamiento, Refrigeración del aceite de motor en los bancos de pruebas de los motores.

Agua/glicol: Cuando hay riesgo de congelamiento, se agrega glicol al agua. El glicol tiene una capacidad calorífica diferente a la del agua y por lo tanto necesita un área de transferencia de calor algo mayor para realizar la misma tarea. Por otra parte, las propiedades físicas de los diversos glicoles son muy similares. Algunas aplicaciones usuales son: Como un intercooler en una bomba de calor, la producción de agua fría en los alimentos y refrigeración del aire acondicionado. (Alfa laval, 2024)

Un sistema de automatización de un intercambiador de calor consiste en la definición de la topología del sistema, selección de los sensores y actuadores necesarios, así como el diseño del funcionamiento del control de las diferentes bombas y equipos de campo. Todas estas variables están automatizadas a través de un PLC que permite controlar, entre otros parámetros: la velocidad de las bombas y el aporte de agua caliente o vapor al circuito, a través de válvulas reguladoras. (Gutiérrez Rojas, 2023)

La automatización consiste en el uso de tecnologías y metodologías con el objetivo de realizar de forma automática todas aquellas tareas que sean repetitivas sin necesidad, o con muy poca, intervención humana. Además de proveer toda la información necesaria para que los sistemas puedan autogestionarse y sea accesible si fuera necesaria intervención externa. Debido a la facilidad para ser implementada en los procesos más repetitivos, una de las formas de automatización más conocidas es el uso de tecnologías como PLCs o Bases de Datos para gestionar información, y en los últimos años se implementa basándose en la Industria 4.0.

En el desarrollo de este sistema se implementa un intercambiador de calor de tubos y coraza, el cual es un dispositivo diseñado para transferir calor entre dos fluidos a diferentes temperaturas, sin que estos se mezclen. Su funcionamiento se basa en la monitorización y control de diversas variables como temperatura y flujo volumétrico, utilizando sensores y sistemas de control automatizados que permiten mejorar el control del proceso y la seguridad operativa. Se podrá monitorear dos variables típicas de la ingeniería de procesos: flujo volumétrico y temperatura.

Se implementa así también sistema de monitoreo mediante HMI que permitirá realizar la visualización de coeficientes individuales térmicos y variables del proceso, todo esto basándose en protocolos de comunicación Profinet y IO-Link, los cuales son protocolos industriales que ayudan a obtener datos en tiempo real la adquisición de datos de manera fácil y rápida.

2. Métodos.

Intercambiador de calor tipo tubo y coraza.

Este tipo de intercambiador de calor contiene un gran número de tubos empacados en un casco con sus ejes paralelos al de éste. El calor se trasfiere del fluido caliente al frío a través de la pared que los separa. “Están diseñados para la transferencia de calor entre dos fluidos dentro del dispositivo, por lo que normalmente la coraza externa está bien aislada para evitar cualquier pérdida de calor hacia el medio circulante”. (Cengel, 2023)

En situaciones donde se trabaja con grandes presiones el fluido de más presión va por los tubos y el fluido con menor presión circula por la coraza. Algunas de las características que destacan a los intercambiadores de calor de tubos y coraza de los otros equipos son las siguientes: Posee grandes superficies para transferencia de calor, los elementos que entran en la construcción de los intercambiadores son de carácter relativamente económicos porque resulta accesible la fabricación, mayormente utilizados en la industria, su proceso de manufactura es estandarizado por la asociación de fabricantes de intercambiadores tubulares (Cengel, 2023)

Una representación de este tipo de sistema se muestra en la figura 1.

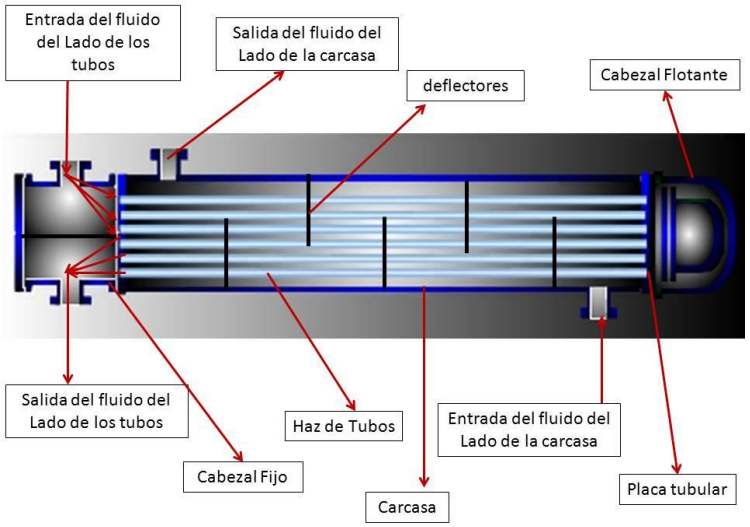


Figura 1. Esquema intercambiador de calor de tubos y coraza.

LMTD (Diferencia media logarítmica de temperaturas).

Un intercambiador de calor (IC) es un dispositivo que recupera calor de una corriente de fluido a alta temperatura transfiriéndolo a una corriente de temperatura inferior. Así se puede plantear un modelo simplificado que no se considere cómo están construidos los intercambiadores, es decir, no importa si están ensamblados con placas o tubos, ni otros detalles de construcción.

En este modelo simplificado, un IC se describe con dos flujos: el de temperatura mayor se llamará "flujo caliente" y el de temperatura inferior, "flujo frío", y con cuatro temperaturas, dos de entrada y dos de salida. En un IC hay dos espacios, y en cada uno circula uno, y solo uno de los flujos. A estos espacios se les llamará "interno" y "externo", sin importar si el fluido que circula en cada uno de ellos corresponde al flujo frío o al flujo caliente.

La cantidad de calor (Q), que transfiere un IC depende del coeficiente de transferencia global (U), de las temperaturas de entrada y salida de las corrientes, y de la configuración. El método LMTD (siglas en inglés de Logarithmic Mean Temperature Difference) relaciona el área de transferencia, la transferencia de calor, y las temperaturas de entrada y salida usando cuatro simplificaciones:

- El intercambiador opera en estado estacionario.
- El coeficiente U se asume constante en todo el intercambiador.
- Las pérdidas de calor hacia los alrededores son despreciables.
- Se conocen las cuatro temperaturas de entra y salida de las corrientes del intercambiador.

Para exponer la deducción del método LMTD se usa un intercambiador 1 -1, pero el procedimiento es análogo para otras configuraciones. El flujo de calor depende de la diferencia de temperatura At entre las dos corrientes en circulación:

$$Q = U * A * \Delta t \qquad (1)$$

$\Delta t = Es\ una\ diferencia\ de\ temperatura$
$U = Es\ el\ coeficiente\ global\ de\ transferencia\ de\ calor.$

Haciendo uso de letras mayúsculas y minúsculas para diferenciar las corrientes implicadas en el balance de energía:

$$dQ = U * (T - t) * dA \quad (2)$$
$$dQ = W * Cp * dT = w * cp * dt \quad (3)$$

Donde:

$W, w = Flujos\ másicos\ de\ ambos\ fluidos$
$Cp, cp = Capacidades\ caloríficas\ de\ ambos\ fluidos$
Para este desarrollo se supone que el intercambiador opera en contracorriente:

$$\int_{T_2}^{T} W * Cp * dT = \int_{t_1}^{t} w * cp * dt \quad (4)$$

Integrando y despejando se obtiene:

$$LMTD = \frac{\Delta t_2 - t_1}{\ln\left(\frac{\Delta t_2}{\Delta t_1}\right)} \quad (5)$$

Sustituyendo en la ecuación (1), se obtiene:

$$\mathrm{Q} = \mathrm{U} * \mathrm{A} * \mathrm{LMTD} \quad (6)$$

Para intercambiadores tipo 1-2, 2-4, etc., es necesario corregir la ecuación (6), para seguir utilizando la LMTD, es decir:

$$Q = U * A * F_T * LMTD \quad (7)$$

Donde F_T es un factor de correlación que depende del tipo de intercambiador (1-2, 2-4, etc.). Puede ser calculado o encontrado en tablas.

Método KERN.

Este método está concebido, en principio, para intercambiadores sin cambio de fase; incluye correlaciones para calcular la transferencia de calor y la caída de presión. El orden de los cálculos depende de la naturaleza del problema.

- Para un problema de dimensionamiento, el primer paso es estimar A (área de transferencia) con base en un valor aproximado del coeficiente de transferencia global U (se encuentran tabulados), Luego se Proponen las dimensiones del intercambiador y, por último, se usa el método de Kern u otro método equivalente de diseño para recalcular el área. Si el valor requerido de A es menor que el propuesto, el diseño es válido, ya que siempre se busca que el Intercambiador esté sobredimensionado.
- Para un problema de evaluación, el área está fijo. Si existen las condiciones de operación, incluidas las temperaturas de entrada y salida, se puede calcular el A requerida; si es menor que el área del intercambiador, la operación en esas condiciones es viable. El otro caso posible es la estimación de las temperaturas de salida mediante el método NTU.

Las correlaciones se emplean de acuerdo con el tipo de intercambiador:

- Cuando el intercambiador no tiene bafles, se utiliza el modelo de intercambiador de doble tubo, cambiando el diámetro equivalente en la coraza. Se considera que este tipo de IC es una derivación del tipo doble tubo.
- Para intercambiadores con bafles, se emplean correlaciones particulares parea el lado de coraza.

El método de Kern, el coeficiente global de transferencia se obtiene despreciado la resistencia de la pared del tubo y agregando el factor de obstrucción.

- Área interna:

$$\frac{1}{U_D} = \frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_o * \left(\frac{d_o}{d_i}\right)} + R_D \quad (8)$$

- Área externa:

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_o * \left(\frac{d_o}{d_i}\right)} + R_D \quad (9)$$

Las correlaciones sugeridas para h_i son:

- Las correlaciones ϕ por temperatura de la pared se utiliza sobre todo para fracciones de petróleo.
- Cuando hay que calcular t_w (temperatura de pared) es necesario iterar, pero a menudo se converge en la primera iteración.
- En régimen laminar, $100 < Re < 2100$, no válida para agua.

$$h_i = 1.86 * \left(\frac{k}{D}\right) * \left(\frac{4 * w * c}{\pi * k * L}\right)^{\frac{1}{3}} * \left(\frac{\mu}{\mu_c}\right)^{0.14} \quad (10)$$

En régimen turbulento, $Re \geq 2100$, no válida para agua:

$$h_i = 0.0027 * \left(\frac{k}{D}\right) * (Re)^{0.8} * (\mathrm{P_r})^{\frac{1}{3}} * \left(\frac{\mu}{\mu_w}\right)^{0.14} \quad (11)$$

El término $\phi = \left(\frac{\mu}{\mu_w}\right)^{0.14}$ es la correlación por la temperatura de pared. En algunos casos, cuando la dependencia de la viscosidad respecto a la temperatura no es significativa, se puede despreciar.

- Para agua, se da una correlación gráfica de h en función de la velocidad lineal V para tubos de ¾ BWG. También hay gráficas de correlación para otros diámetros de tubería (Figura 3).
- Para un arreglo en cuadro:

$$D_e = 4 * \frac{PT^2 * \left[\left(\frac{d_0^2}{4}\right)\right]}{\pi * d_o} \quad (12)$$

- Para un arreglo triangular (equilátero):

$$D_e = 4 * \frac{\left[\left(\frac{PT}{2}\right) * \left(\frac{\sqrt{3} * PT}{2}\right)\right] - \left[\left(\frac{\pi}{2}\right) * \left(\frac{d_0^2}{4}\right)\right]}{\frac{(\pi * d_O)}{2}} \quad (13)$$

El Número de Reynolds se calcula haciendo:

$$Re = \frac{D_e * G_s}{\mu} \quad (14)$$

Donde:

$$G_s = \frac{w}{a_s} \quad (15)$$

$$a_s = \frac{D_s * C' * B}{PT} \quad (16)$$

Donde:
$D_s = Diámetro\ interno\ de\ la\ coraza$
$PT = es\ el\ pitch\ la\ separación\ entre\ los\ centros\ de\ los\ tubos$
$B = es\ la\ separación\ entre\ deflectores$

Si hay más de un paso por la coraza, a_s se divide en el número de pasos.

La aplicación de la correlación por temperatura de pared requiere calcular iterativamente t_w en la forma de la ecuación:

$$t_w = t_i + \left[\left(\frac{h_o}{h_{io}+h_o}\right) * (t_o - t_i)\right] \quad (17)$$

Para la primera iteración se utiliza los valores de $\frac{h_o}{\phi_o}$, h_{io}/ϕ_{io}
La caída de presión de por los tubos tiene dos contribuciones
$\Delta P_L = la\ caída\ de\ presión\ por\ el\ recorrido\ del\ fluido\ en\ los\ tubos.$
$\Delta P_a = la\ caída\ de\ presión\ por\ los\ accesorios$

Así:

$$\Delta P = \Delta P_L + \Delta P_a \quad (18)$$

Para intercambiadores de doble tubo, se desprecia ΔP_a por el tubo interior. Para estimar ΔP_L se puede aplicar la ecuación de Fanning u otras correlaciones para f en la expresión:

$$\Delta P_L = f * \left(\frac{4*G^2*L}{2*\rho*D*\phi}\right) \quad (19)$$

Esto también es válido para el espacio anular entre tubos concéntricos, o coraza sin bafles.

$$\Delta P_L = f * \frac{4*G^2*L}{5.22*10^{10}*D_e*s*\phi} \quad (20)$$

Donde:
$P = es\ la\ presión\ \ en\ PSI.$
$s = es\ la\ gravedad\ específica$
$f = factor\ de\ fricción\ en\ unidades\ consistentes\ con\ G\ en\ \frac{lb}{h*ft^2}$
$D_e = diámetro\ equivalente\ (depende\ del\ arreglo\ en\ los\ tubos)$
$L = es\ la\ longitud\ de\ los\ tubos\ en\ ft$

El término ΔP_a depende del número de pasos (n); así, para IC de tubos y coraza.

$$\Delta P_a = (4 * n) * \left(\frac{G^2}{2*\rho}\right) \quad (21)$$

Para la caída de presión por la coraza, con bafles se sugiere la expresión.

$$\Delta P = f * \frac{4*G_S^2*D_S*(N_b+1)}{2*\rho*D_e*\phi} \quad (22)$$

Donde:
L/B es el número de baffles calculado, también se puede obtener de la expresión.

$$f = 1.7424 * (Re)^{-0.19} \quad (23)$$

Alternativamente se puede usar la misma ecuación con P en PSI.

$$\Delta P = f * \frac{G_S^2*D_S*(N+1)}{5.22*10^{10}*D_e*s*\phi} \quad (24)$$

Donde f está correlaciona en forma gráfica, o se puede calcular como $f = 0.0121 * (Re)^{-0.19}$.

Diseño del intercambiador.

Para la realización del prototipo se tomaron en cuenta ciertas características, para el diseño y su construcción de acuerdo con los recursos establecidos y disponibles:

- La relación PT/d_e (distancia de los centros de los tubos/diámetro externo de los tubos) recomendable para un arreglo de tubos de 1.25 a 2 cm.
- La distancia entre los deflectores esta entre 20% - 35% del diámetro interno de la coraza.
- Cortes comunes de los tubos, BWG (plg): 1, 5/8, 3/4.
- El TEMA en RCB-11 recomienda que el diámetro mínimo de pernos debe de ser de ½ plg para intercambiadores de tipo R, de 5/8 plg para el tipo B y de 1/2 plg para tipo C.

Tabla 1. Cálculos para el diseño.

Lado de la coraza		
DI	3.7638	plg
DE	4	plg
B	2.4634	plg
C'	0.2874	plg
Pasos	1	

Lado de los tubos		
DI	0.40190	plg
DE	0.5	plg
Longitud	19.658	plg
Espesor	0.09810	plg
Area de flujo	0.127	plg2
Sup lineal ext	0.1309	ft^2
BGW	18	
No. tubos	10	
Pitch	0.787402	plg
Pasos	2	

Tabla 2. Propiedades de los fluidos.

Propiedades fisicoquimicas			
Propiedad	Tm	tm	Unidad
p	61.9067	61.8099	lbm/ft^3
μ	0.55	0.65	cp
Cp	0.9989	0.9984	Btu/lb°F
K	0.3735	0.3681	$Btu/(h*ft^2)(°F/ft)$

Datos de dimensionamiento			
	Coraza	Tubos	Unidad
Fluido	agua-sosa	Agua	
Flujo	392.55	348.758675	lb/h
T entrada	77	167	°F
T salida	149	86	°F
T 1/2	113	126.5	°F

Cálculo del balance de energía.

Haciendo uso del método de Donald Kern, realizamos el cálculo correspondiente para determinar el balance de energía.

$$q = W * Cp * \Delta T$$

$$q = \left(392.55\ \frac{lb}{h}\right) * \left(0.9984\ \frac{Btu}{lb°\mathrm{F}}\right) * (149°\mathrm{F} - 77°\mathrm{F})$$

$$q = 28218.37824\ \frac{Btu}{h} = 8269.99031\ W$$

Cálculo del flujo de agua caliente.

Para determinar la cantidad de fluido que se alimentara por el lado de los tubos, se realizan las siguientes operaciones.

$$W = \frac{q}{Cp * \Delta T}$$

$$W = \frac{28218.3782\ Btu/h}{\left(0.9989 \frac{Btu}{lb°\text{F}}\right) * (167 - 86°\text{F})}$$

$$W = 348.758675\ \frac{lb}{h} = 53.306628\ \frac{l}{h}$$

Cálculos del lado de la coraza.

Cálculo del área de flujo.

Con apoyo de las fórmulas podemos calcular el área de flujo que será necesario para el intercambio de calor.

$$\partial_s = \frac{DI * C' * B}{144 * P_T}$$

$$\partial_s = \frac{3.7638\ in * 0.2874\ in * 2.4634\ in}{144 * 0.787402\ in}$$

$$\partial_s = 0.02350106\ ft^2$$

Cálculo de la masa velocidad.

$$G_s = \frac{W}{\partial_s} = \frac{lb}{h * ft^2}$$

$$G_s = \frac{392.55 \frac{lb}{h}}{0.02350106\ ft^2}$$

$$G_s = 16703.5022 \frac{lb}{h * ft^2}$$

Cálculo de la temperatura media logarítmica, se realizan los cálculos correspondientes para determinar la temperatura media logarítmica. Una vez obtenido los valores, determinamos los valores de R y S, con ayuda de fórmulas:

$$\Delta T_{ml} = \frac{(T_1 - t_2) * (T_2 - t_1)}{\ln\left(\frac{T_1 - t_2}{T_2 - t_1}\right)}$$

$$\Delta T_{ml} = \frac{(167 - 149\ °\text{F}) * (86 - 77\ °\text{F})}{\ln\left(\frac{167 - 149\ °\text{F}}{86 - 77\ °\text{F}}\right)}$$

$$\Delta T_{ml} = 233.7165966$$

$$R = 1.125$$

$$S = 0.8$$

$$F_t = 1$$

Cálculo del diámetro equivalente.

Para obtener el valor del diámetro equivalente es necesario realizar las siguientes operaciones.

$$D_{eq} = \frac{4 * \left(\left(\frac{P_T}{2}\right) * (0.86 * P_T) - \left(\frac{\pi (DE_t)^2}{8}\right)\right)}{\frac{\pi * DE_t}{2}}$$

$$D_{eq} = \frac{4 * \left(\left(\frac{0.787402\ in}{2}\right) * (0.86 * 0.787402\ in) - \left(\frac{\pi (0.5\ in)^2}{8}\right)\right)}{\frac{\pi * 0.5\ in}{2}}$$

$$D_{eq} = 0.85778\ in = 0.071482\ ft$$

Viscosidad en temperatura media.

En la tabla A-9 pág. 878 del libro de transferencia de calor y masa 4ta edición del autor Cengel Yunus, se pueden obtener las viscosidades a diferentes temperaturas.

$$\mu = 1.573 \frac{lb}{h * ft}$$

Cálculo del Re de la mezcla sosa-agua.

De acuerdo con las fórmulas se realizan los respectivos cálculos para obtener el valor de Re por el lado de la coraza.

$$R_e = \frac{D_{eq} * G_s}{\mu}$$

$$R_e = \frac{0.071482\ ft * 16703.5022 \frac{lb}{h * ft^2}}{1.573 \frac{lb}{h * ft}}$$

$$R_e = 759.05866$$

Con el *Re* calculado se obtiene jH el cual se puede obtener de tablas con valores establecidos, o bien si se requiere de una mejor precisión es posible realizar una regresión, tal y como se muestra a continuación en la figura 2:

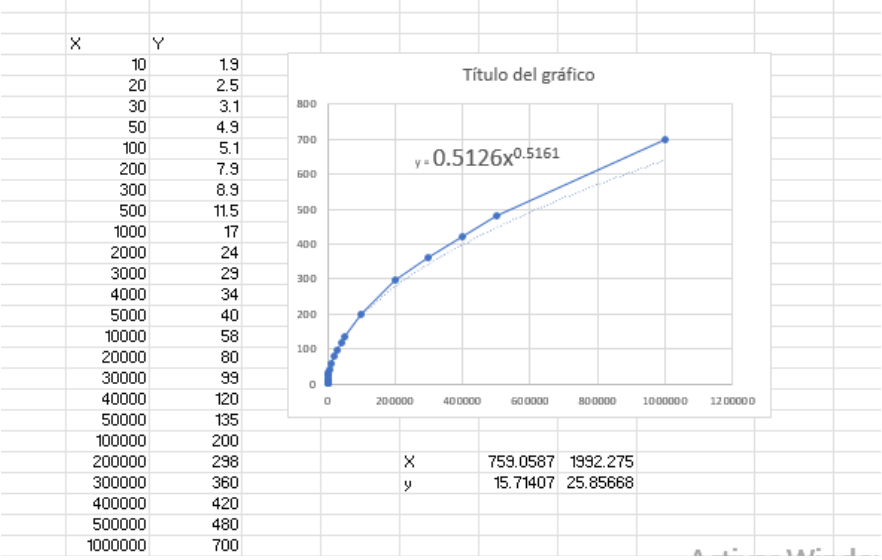


Figura 2. Cálculos de jH mediante regresión.

$$jH = 15.714071$$

Cálculo de coeficiente ho.

Para obtener los valores correspondientes de ho es necesario realizar los cálculos correspondientes de acuerdo con las fórmulas:

$$\frac{h_o}{\phi_o} = jH * \frac{K}{D_{eq}} * \left(\frac{Cp * \mu}{K}\right)^{\frac{1}{3}}$$

$$\frac{h_o}{\phi_o} = 15.714071 * \left(\frac{0.3681 \dfrac{Btu}{(hft^2)\left(\frac{°F}{ft}\right)}}{0.071482\ ft}\right) * \left(\frac{0.9984 \dfrac{Btu}{lb°F} * 1.573 \dfrac{lb}{hft}}{0.3681 \dfrac{Btu}{(hft^2)\left(\frac{°F}{ft}\right)}}\right)^{1/3}$$

$$\frac{h_o}{\phi_o} = 139.837133 \frac{Btu}{hft^{2}°F}$$

Teniendo calculado y obtenido los valores por el lado de la coraza, se procede a la realización de cálculos por el lado de los tubos.

Cálculo del lado de los tubos.

$$\partial_t = \frac{\frac{\pi}{4} * (DI_t)^2 * No\ de\ tubos}{144 * No.\ de\ pasos} = ft^2$$

$$\partial_t = \frac{\frac{\pi}{4} * (0.40190\ ln)^2 * 10}{144 * 2} =$$

$$\partial_t = 0.0044049\ ft^2$$

Área de transferencia de calor.

$$A = \pi * D_e * L * No.\,de\ tubos = ft^2$$

$$A = (\pi) * \left(\frac{0.5\ ln}{12}\right) * \left(\frac{19.658\ ln}{12}\right) * (10)$$

$$A = 2.14436017\ ft^2$$

Cálculo de la masa velocidad por os tubos G_t.

$$G_t = \frac{W}{\partial_t} = \frac{lb}{hft^2}$$

$$G_t = \frac{348.758675\ \frac{lb}{h}}{0.0044049\ ft^2}$$

$$G_t = 79175.460 \frac{lb}{hft^2}$$

Se obtiene la viscosidad a la temperatura media, este valor se puede encontrar en tablas o bien puede ser calculado, en este caso fue obtenido por medio de la tabla A-9 pág. 878 del libro de transferencia de calor y masa 4ta edición del autor Cengel Yunus.

$$\mu = 1.331 \frac{lb}{ft}$$

Cálculo del Re del agua caliente.

$$Re = \frac{DI_t * G_t}{\mu}$$

$$Re = \frac{(0.40190\ ln) * \left(79175.460 \frac{lb}{hft^2}\right)}{1.331 \frac{lb}{ft}}$$

$$Re = 1992.2751$$

Se obtiene de las tablas jH, de igual forma los valores para obtener este dato se encuentra tabulado en tablas, o bien puede ser calculado con una regresión.

$$jH = 6.2$$

Cálculo del coeficiente hi.

$$h_i = jH * \frac{k}{DI_t} * \left(\frac{Cp\mu}{k}\right)^{\frac{1}{3}} = \frac{Btu}{hft^{2\circ}\mathrm{F}}$$

$$h_i = 6.2 * \left(\frac{0.3735 \frac{Btu}{(h * ft^2)\left(\frac{°F}{ft}\right)}}{\frac{0.40190\ ln}{12}} \right) * \left(\frac{\left(0.9989 \frac{Btu}{lb°F} * 1.331 \frac{lb}{ft}\right)}{0.3735 \frac{Btu}{(h * ft^2)\left(\frac{°F}{ft}\right)}} \right)^{\frac{1}{3}}$$

$$h_i = 105.5720 \frac{Btu}{hft^{2}°F}$$

$$h_{\frac{io}{\phi_t}} = \frac{h_i}{\phi_t} * \frac{DI}{DE}$$

$$h_{\frac{io}{\phi_t}} = 105.5720 \frac{Btu}{hft^{2}°F} * \left(\frac{0.40190\ ln}{0.5\ ln}\right)$$

$$h_{\frac{io}{\phi_t}} = 84.858762$$

Cálculo de la temperatura de la pared del tubo.

$$t_w = t_m + \frac{h_o}{h_i + h_o} * (T_m - t_m)$$

$$t_w = 113°F + \left(\frac{139.837133 \frac{Btu}{hft^{2}°F}}{84.858762 + 139.837133 \frac{Btu}{hft^{2}°F}} \right) * (126.5\ °F - 113°F)$$

$$t_w = 121.40158\ °F$$

Cálculo de las correlaciones por viscosidad.

$$\Phi_i = \frac{\mu_i^{T_m}}{\mu_i^{T_w}} \qquad \Phi_o = \frac{\mu_o^{T_m}}{\mu_o^{T_w}}$$

Para bajas viscosidades se considera 1 en la relación de las viscosidades.

$$\Phi_i = 1$$
$$\Phi_o = 1$$

Cálculo del coeficiente parcial de transferencia de calor.

$$h_i = \frac{h_i}{\Phi_i} * \Phi_i = \frac{Btu}{hft^{2}°F}$$

$$h_i = \frac{84.858762}{1}$$

$$h_i = 84.858762\ \frac{Btu}{hft^{2}°F}$$

$$h_o = \frac{h_o}{\Phi_o} * \Phi_o = \frac{Btu}{hft^{2\circ}\mathrm{F}}$$

$$h_o = \frac{139.837133 \frac{Btu}{hft^{2\circ}\mathrm{F}}}{1}$$

$$h_o = 139.837133 \frac{Btu}{hft^{2\circ}\mathrm{F}}$$

Cálculo del coeficiente global de transferencia.

$$Rd = 0.002$$

$$U_D = \left(\frac{1}{U_C + Rd}\right)^{-1} = \frac{Btu}{hft^{2\circ}\mathrm{F}} \qquad U_C = \frac{h_{io} * h_o}{h_{io} + h_o}$$

$$U_D = \left(\frac{1}{52.81096 \frac{Btu}{hft^{2\circ}\mathrm{F}} + 0.002}\right)$$

$$U_D = 47.765841 \frac{Btu}{hft^{2\circ}\mathrm{F}}$$

$$U_C = \frac{\left(84.858762 \frac{Btu}{hft^{2\circ}\mathrm{F}} * 139.83713 \frac{Btu}{hft^{2\circ}\mathrm{F}}\right)}{\left(84.858762 \frac{Btu}{hft^{2\circ}\mathrm{F}} + 139.83713 \frac{Btu}{hft^{2\circ}\mathrm{F}}\right)}$$

$$U_C = 52.81096 \frac{Btu}{hft^{2\circ}\mathrm{F}}$$

Cálculo del factor de obstrucción.

$$R_d = \frac{U_C - U_D}{U_C * U_D}$$

$$R_d = \frac{52.81096 \frac{Btu}{hft^{2\circ}\mathrm{F}} - 47.765841 \frac{Btu}{hft^{2\circ}\mathrm{F}}}{52.81096 \frac{Btu}{hft^{2\circ}\mathrm{F}} * 47.765841 \frac{Btu}{hft^{2\circ}\mathrm{F}}}$$

$$R_d = 0.002$$

Se pudo comprobar que el factor de obstrucción propuesto con el calculado coincide con exactitud.

Caídas de presión.

Para Re obtener f de la figura 29 pág. 944 del libro Donald Q Kern.

$$Re\ de\ la\ coraza = 759.05866 \quad f = 0.0035 \frac{ft^2}{ln^2}$$

$Re\ de\ los\ tubos = 1992.2751 \quad f = 0.0028\ \frac{ft^2}{ln^2}$

Números de cruces.

$$N + 1 = \frac{12L}{B}$$

$$N + 1 = \frac{12 * (19.658\ ln)}{2.4634\ ln}$$

$$N + 1 = 95.760883$$

Caída de presión por el lado de la coraza.

$$\Delta P_s = f * \frac{G_s^2 + D_s(N+1)}{(5.22x10^{10})D_e s \Phi_s} = \frac{lb}{ln^2}$$

$$\Delta P_s = 0.0035 \frac{ft^2}{ln^2} * \frac{16703.5022 \frac{lb}{hft^2} + \frac{3.7638\ ln}{12} * 95.760883}{5.22x10^{10} * 0.071482\ ft * 1 * 1}$$

$$\Delta P_s = 0.00026172 \frac{lb}{ln^2}$$

Cálculo de la caída de presión por el lado de los tubos.

$$\Delta P_t = \frac{f G_t^2 Ln}{(5.22x10^{10}) Ds \Phi_i} = \frac{lb}{ln^2}$$

$$\Delta P_t = \frac{0.0028\ \frac{ft^2}{ln^2} * 79175.460 \frac{lb}{hft^2} * \frac{19.658\ ln}{12}}{(5.22x10^{10}) * \frac{0.40190\ ln}{12} * 1 * 1}$$

$$\Delta P_t = 0.03289425 \frac{lb}{ln^2}$$

$$\Delta p_r = \frac{4n}{s} * \frac{V^2}{2g'} = \frac{lb}{ln^2}$$

$$\Delta p_r = 0 \frac{lb}{ln^2}$$

$$\Delta P_T = \Delta P_t + \Delta p_r = \frac{lb}{ln^2}$$

$$\Delta P_T = 0.03289425 \frac{lb}{ln^2} + 0 \frac{lb}{ln^2}$$

$$\Delta P_T = 0.03289425 \frac{lb}{ln^2}$$

Para la construcción del intercambiador de calor de tubos y coraza basado en el diseño CAD previo se consideró que el material de construcción contara con ciertas características, principalmente que fuera totalmente transparente para poder observar el recurrido de los fluidos, que fuera resistente a corrosiones y soportara temperaturas menores a 150 °C.

Por lo tanto, se seleccionó para la construcción de la coraza un tubo de policarbonato de 4” de diámetro externo, con una longitud de 50 cm.

Se propone utilizar 10 tubos de cobre de 3/8” de diámetro nominal con un espesor de 1 mm y un $\frac{PT}{d_o} = 2$

Debido a la longitud de la coraza, el intercambiador de calor será de 1-2. La parte segmentada del intercambiador será del 60% puesto que es la segmentación ideal ya que resultaría con 6 deflectores con una distancia de estos del 25% del diámetro interno de la coraza (3.7638 plg), valor que se encuentra dentro de los parámetros de diseño. Para la unión de las piezas se requirió el uso de un adhesivo industrial para policarbonato, de igual manera para el secado de este adhesivo se requiero de una lampara de luz UV de 365 nm.

Contará con un pitch de 2 cm de distancia de centro a centro en el diámetro de los tubos.
Para las tapas se utilizarán tramos de 8 cm y 4 cm de longitud, su diámetro externo e interno coinciden con el diámetro de la coraza puesto que son del mismo material. Una de las tapas contara con dos perforaciones de ½ plg de diámetro para las entradas y salidas de los fluidos. Las tapas y la coraza serán unidas por medio de bridas las cuales contará con 8 perforaciones, el diámetro de los tornillos a utilizar será de 3/16 plg con una cantidad de 8 tornillos por cabezal.

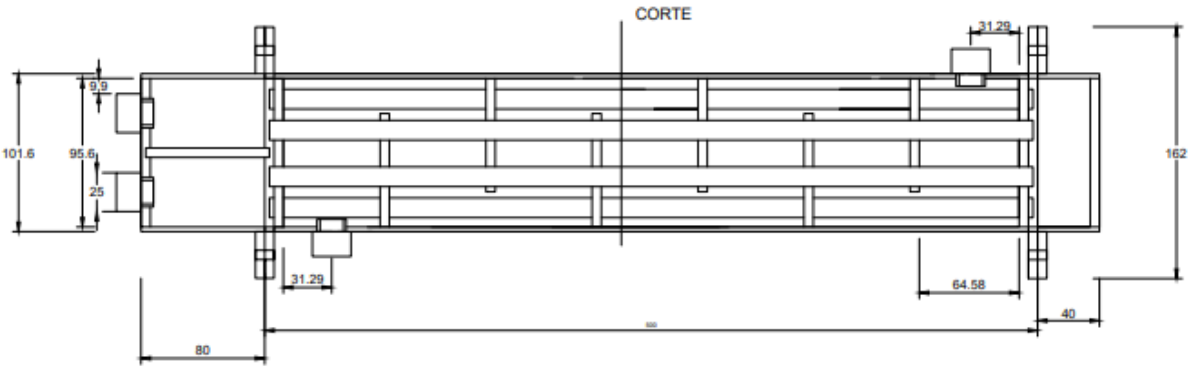


Figura 3. Esquema para la construcción del intercambiador de calor.

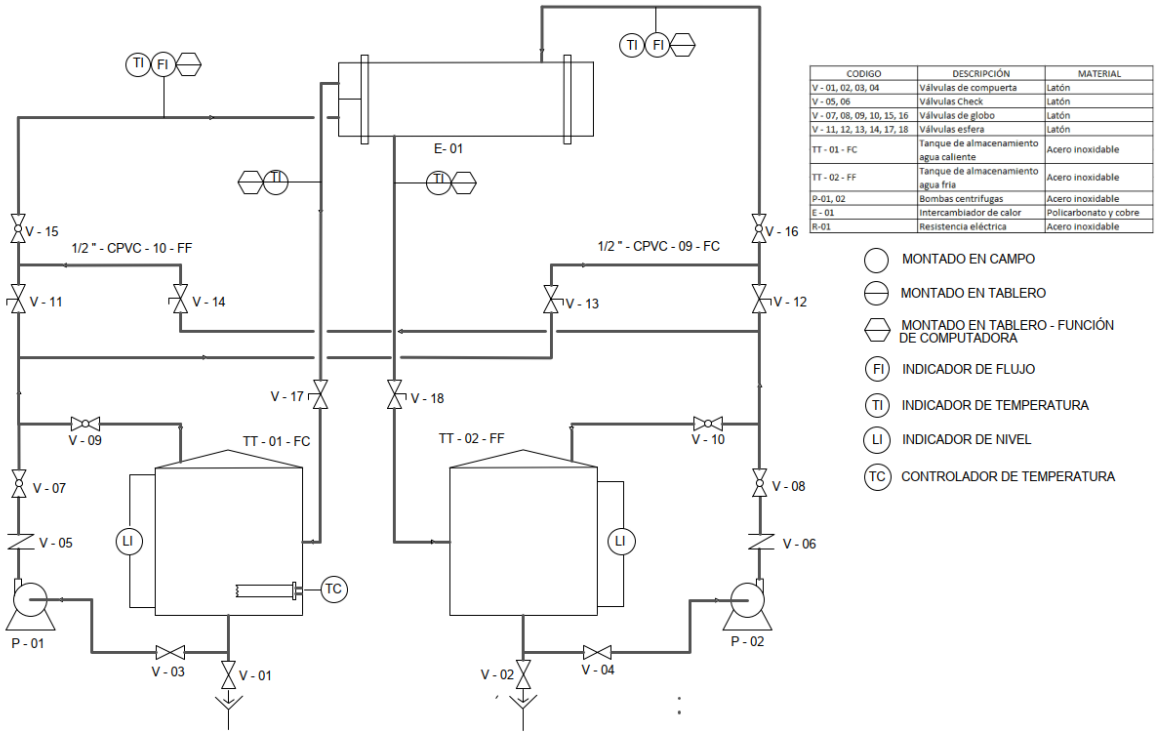
Diseño de diagramas de tuberías e Instrumentación P&ID.

Un diagrama de tuberías e instrumentación o P&ID muestra las tuberías y los componentes relacionados del flujo de un proceso físico. Se utiliza más comúnmente en el campo de la ingeniería. Los P&IDs son fundamentales para el mantenimiento y modificación del proceso que representan gráficamente. En la etapa de diseño, el diagrama también ofrece la base para el desarrollo de esquemas de control del sistema, como el Análisis de Riesgos y Operabilidad (HAZOP, por sus siglas en inglés).

En el caso de las instalaciones de procesamiento, se trata de una representación gráfica de: los detalles clave de las tuberías e instrumentación, los esquemas de control y apagado, los requisitos de seguridad y normativa, la información básica de arranque y operación. (LucidChart, 2024).

Utilizando el software LucidChart el cual es una herramienta de diagramación basada en la web se desarrolló el P&ID del sistema.

En la figura 4 se muestra el desarrollo de la instrumentación del sistema que se basa en normativa ANSI ISA 5.1.



CODIGO	DESCRIPCIÓN	MATERIAL
V - 01, 02, 03, 04	Válvulas de compuerta	Latón
V - 05, 06	Válvulas Check	Latón
V - 07, 08, 09, 10, 15, 16	Válvulas de globo	Latón
V - 11, 12, 13, 14, 17, 18	Válvulas esfera	Latón
TT - 01 - FC	Tanque de almacenamiento agua caliente	Acero inoxidable
TT - 02 - FF	Tanque de almacenamiento agua fria	Acero inoxidable
P-01, 02	Bombas centrifugas	Acero inoxidable
E - 01	Intercambiador de calor	Policarbonato y cobre
R-01	Resistencia eléctrica	Acero inoxidable

Figura 4. Diseño P&ID del sistema de control de procesos basado en normativa ANSI ISA 5.1.

Diseño mecánico del sistema de control de procesos.

Basado en el P&ID del sistema de realiza el diseño mecánico utilizando el software de SolidWorks. El cual es un software de diseño CAD 3D (diseño asistido por computadora) para modelar piezas y ensamblajes en 3D y planos en 2D, SOLIDWORKS. (2023).

Para el diseño del sistema se propone dos depósitos de agua de succión, intercambiador de calor tipo tubo y coraza, 2 bombas sanitarias de acero inoxidable con alimentación monofásica, válvulas y sensores de flujo volumétrico y sensores de temperatura. En la figura 5 se muestra una vista isométrica de la parte de la estructura principal del sistema de intercambio de calor.

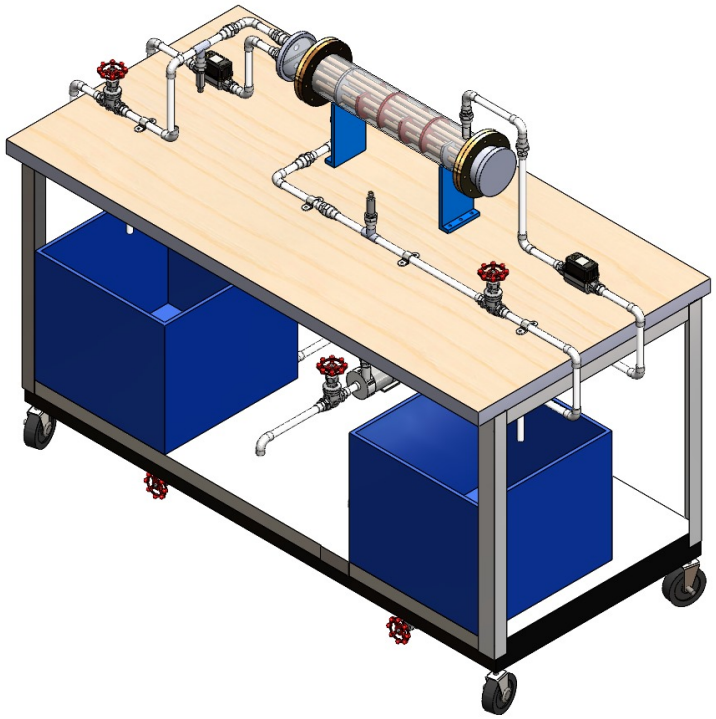


Figura 5. Diseño del sistema de intercambio de calor, en vista isométrica.

La figura 6 presentada muestra una vista general del diseño del sistema intercambiador de calor, destacando la disposición de los componentes clave. Los dos tanques de acero inoxidable, diseñados para suministrar el fluido calefactor y el fluido receptor de calor, están integrados en el sistema siguiendo las especificaciones del diagrama de tuberías e instrumentación (P&ID).

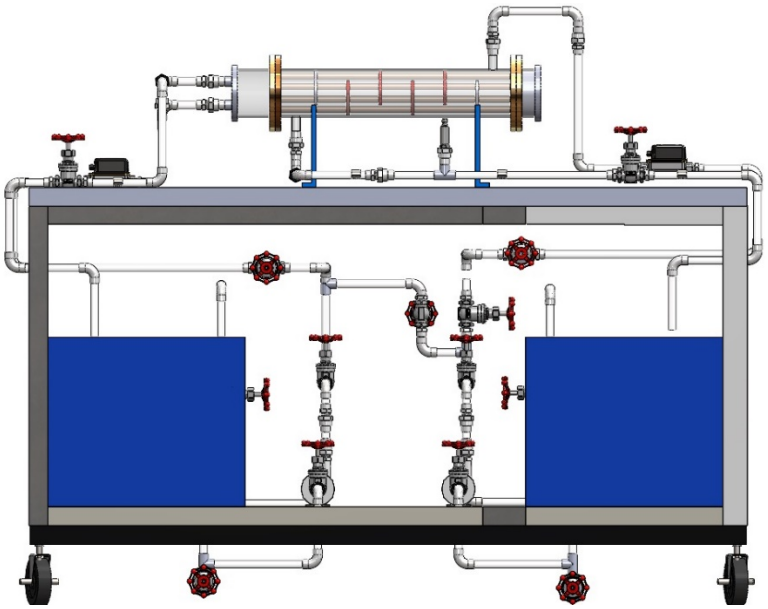


Figura 6. Vista frontal del intercambiador de calor.

En las figuras 6 a la 8 se muestran vistas (frontal, superior e izquierda respectivamente) del diseño del sistema generados en SolidWorks. En el trayecto del flujo, se incluyen diversos elementos cuidadosamente seleccionados y ubicados para garantizar un funcionamiento eficiente del sistema. También se ilustra la conexión de sensores de flujo y temperatura, esenciales para el monitoreo y control del proceso, así como las bombas centrífugas encargadas de mantener el flujo constante dentro del circuito.

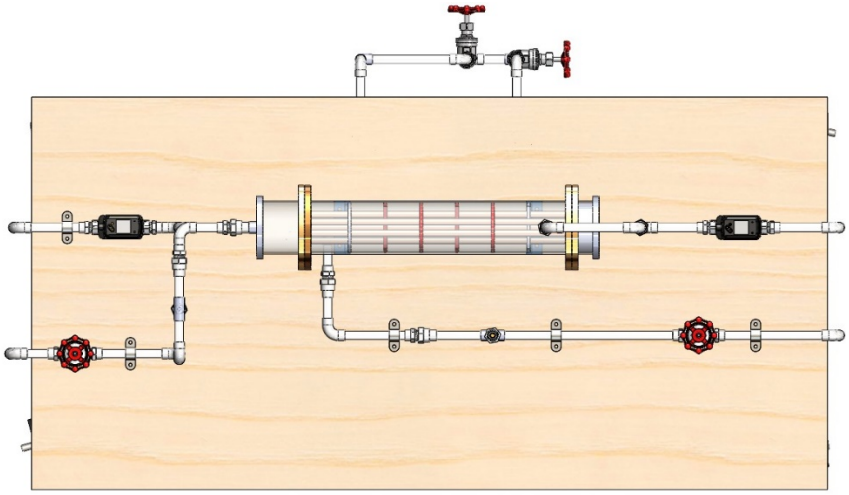


Figura 7. Vista superior del intercambiador de calor.

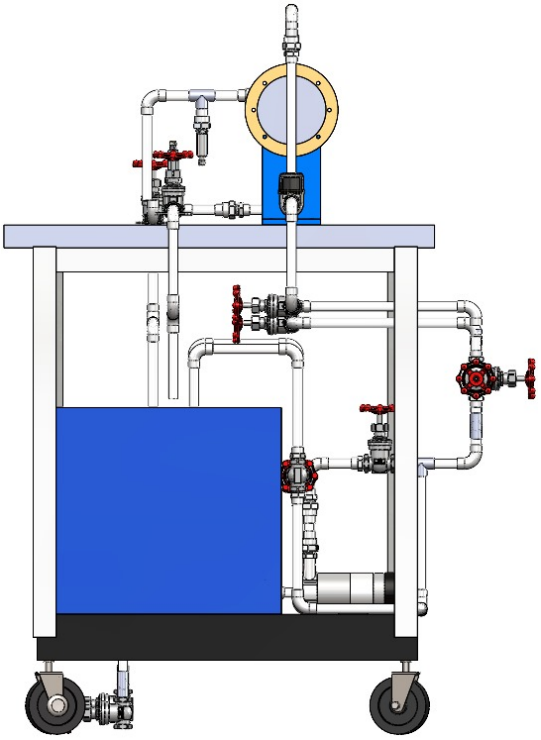


Figura 8. Vista lateral izquierda del intercambiador de calor.

Diseño del sistema de automatización, la Red profinet y IO Link.

En la figura 9 se muestra la red comunicación Profinet, en donde se establece la conexión del PLC al ordenador mediante Ethernet TCP/IP. Así mismo el PLC está comunicado con un maestro IOL-Link mediante bus Profinet, que a su vez tiene salidas a los sensores de interfaz IO-Link, que monitorearán el proceso.
IO-Link es un sistema de comunicación punto a punto independiente para conectar sensores y actuadores a un sistema de automatización, IFM. (2023).

En el mismo bus de Profinet es posible conectar una PC para para el monitoreo de magnitudes del sistema de control de proceso, esto gracias a que el maestro IO-Link tiene conexiones de comunicación Profinet.

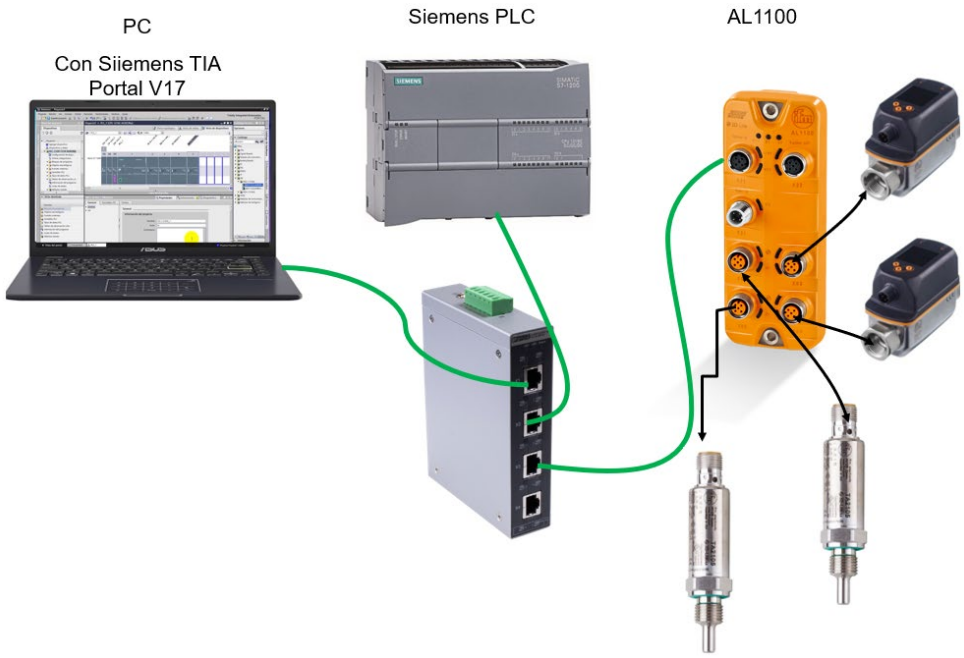


Figura 9. Sistema de automatización basado en la red Profinet y IO Link.

3. Desarrollo.

Con base en el diseño mecánico de los componentes desarrollado mediante el software CAD Solidworks, se avanza a la etapa de manufactura asistida por computadora (CAM), donde se genera el código G necesario para la ejecución del proceso de fabricación en una máquina CNC. Este flujo asegura la integración precisa entre el diseño digital y la implementación física de todos los componentes que integran el intercambiador (coraza, tapas, espejos, bridas y deflectores).

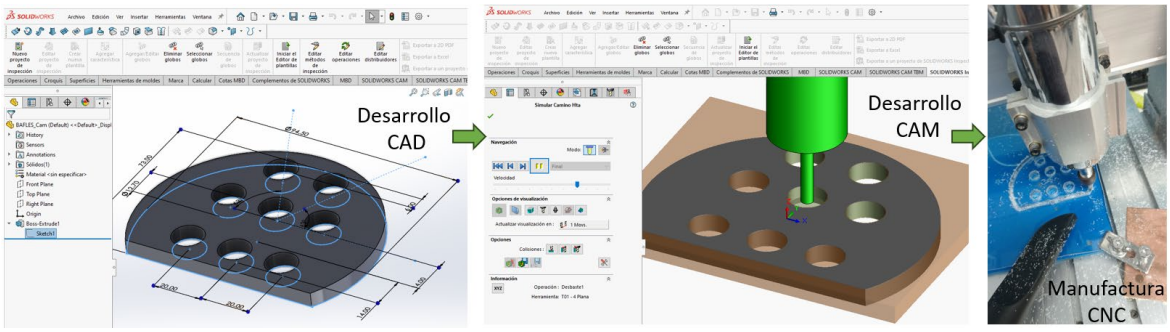


Figura 10. Desarrollo Cad-Cad de las partes del intercambiador.

Así también teniendo los diseños P&ID, eléctrico y mecánico, se empezó con la construcción física del intercambiador de calor.

Figura 11. Implementación de la estructura del sistema.

Una vez generadas las piezas que conformaran la coraza, tapas, espejos, bridas y deflectores mediante manufactura CNC, se procede a medir y se cortar los tubos de cobre que conforman el haz de tubos, los cuales tienen una longitud de 50 cm. Con apoyo del adhesivo y la lampara luz UV, se adhieren los tubos a los espejos y deflectores que conformaran el cuerpo interno del intercambiador de calor, para lo cual requirió un tiempo de 2 días de exposición solar.

Figura 12. Ensamble de partes del intercambiador de calor.

Posteriormente se realizó la implementación de la base del sistema de control, siguiendo el diseño 3D que se implementó en la etapa de diseño en SolidWorks.

Figura 13. Soldadura, corte y ensamble de la base sistema de control.

El siguiente paso fue montar la bomba centrifuga sobre la base de madera y fijarla. Posteriormente se inició con las conexiones de tubería, tanto en la parte de succión y en la salida de la bomba, conectando así la primera válvula proporcional. Esta construcción se aprecia en la figura 14.

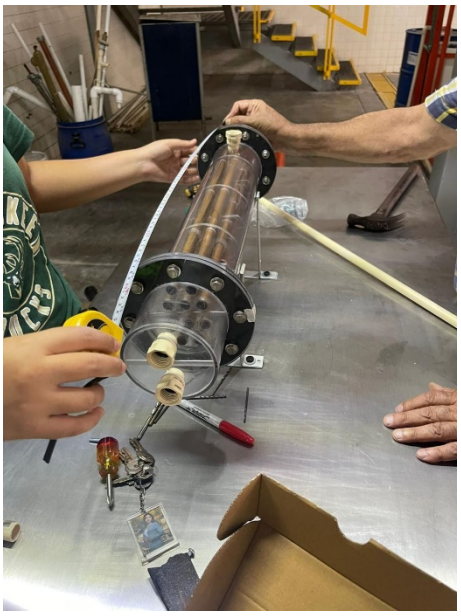


Figura 14. Ensamble final del intercambiador de calor incluyendo unión de las entradas, bridas y empaques.

Posteriormente después de ubicar los tanques de alimentación en su sitio y bombas, se procedió a la colocación de tuberías, con apoyo del isométrico se realizaron las medidas y cortes de las tuberías de CPVC, Así mismo se fueron colocando los accesorios como son codos, tees, válvulas, etc, como se muestra en la figura 15.

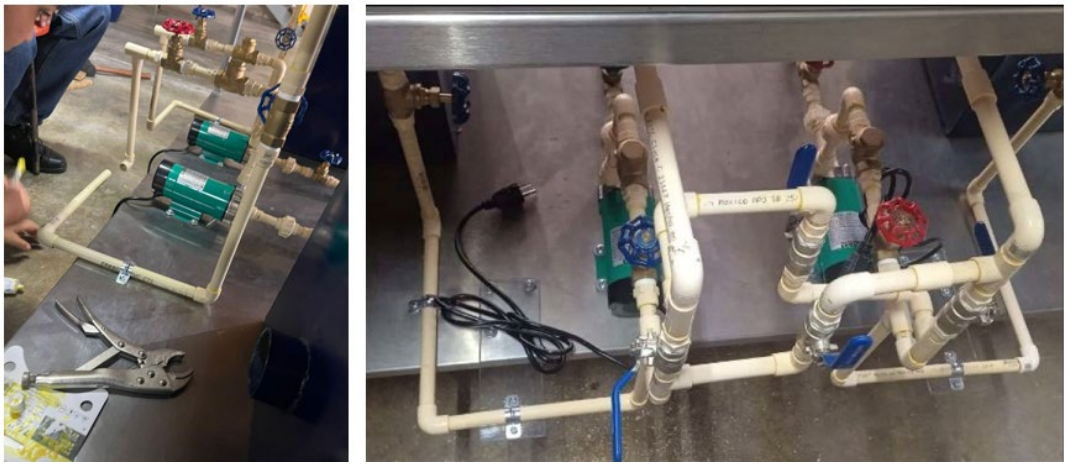


Figura 15. Instalación válvulas, bombas y tuberías.

Posteriomente se realizó en conexionado de los sensores de flujo y temperatura asi como su cableado M8 basado en la norma EN61076 con montaje que no requiere herramientas y que cuentaa con alto grado de protección para las exigencias de entornos industriales, como se muestra en la figura 16.

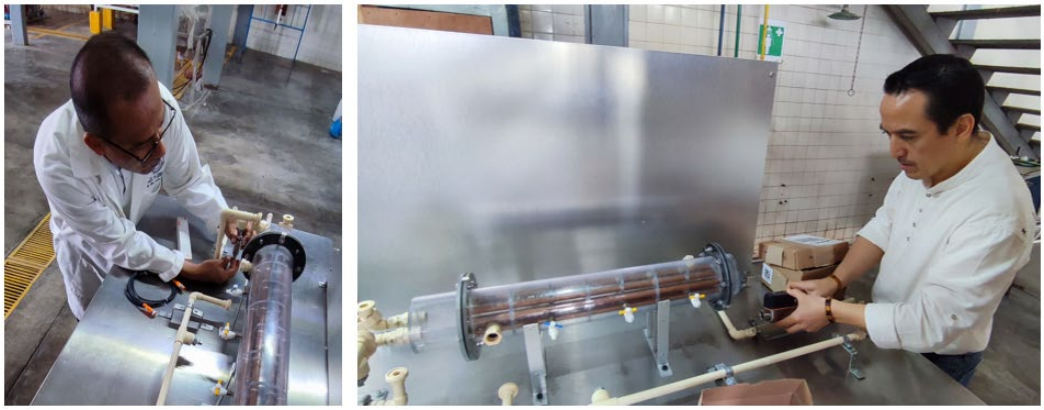


Figura 16. Instalación de instrumentación electrónica del intercambiador.

El siguiente paso consistió en la conexión de las bombas centrífugas a los elementos de potencia y control, permitiendo su activación a través del PLC y el sistema HMI. Simultáneamente, los sensores se integraron al maestro IO-Link, el cual se enlazó mediante una red Profinet al controlador lógico programable, asegurando una comunicación eficiente y precisa entre los dispositivos.

Además, se llevó a cabo la instalación y conexión de los botones de arranque y paro, diseñados para proporcionar al operador control directo sobre el funcionamiento del sistema intercambiador de calor. Estos elementos permiten una interacción segura y sencilla con el proceso.

En la figura 17 se muestra el resultado de la construcción física del intercambiador de calor tubo y coraza, que consistió en la conexión de tuberías PVC, válvulas unidireccionales y on-off, instalación de sensores de flujo volumétrico, sensores de temperatura, bombas centrifugas, controlador lógico programable, computadora personal con software de monitoreo y control, cables de comunicación IO Link y Profinet.

Figura 17. Intercambiador de calor tipo tubo y coraza.

Conclusiones.

Se desarrolló un intercambiador de calor de carcasa y tubos a escala como herramienta de entrenamiento en el ITTG representa un avance significativo en la formación técnica e ingeniería. Este equipo es fundamental en aplicaciones industriales debido a su diseño eficiente, compuesto por una carcasa externa y múltiples tubos internos que facilitan la transferencia térmica. Su importancia radica en su capacidad para optimizar procesos de calefacción y refrigeración en sectores como el alimentario, químico, metalúrgico y farmacéutico, aumentando la productividad y reduciendo costos operativos y el consumo energético.

La integración de sensores de flujo volumétrico y temperatura con tecnología IO-Link en el prototipo añade un valor considerable al proyecto al proporcionar una comunicación precisa y estandarizada entre los dispositivos de campo y el sistema de control. Combinado con un sistema HMI (Interfaz Hombre-Máquina) basado en la red Profinet, este diseño ofrece a los estudiantes la oportunidad de trabajar con tecnologías avanzadas de automatización industrial. Esto no solo mejora la experiencia de aprendizaje práctico, sino que también prepara a los futuros profesionales para enfrentar los desafíos tecnológicos actuales en el monitoreo y control de procesos.

El sistema desarrollado constituye una integración estratégica entre las áreas de Ingeniería Química e Ingeniería Mecatrónica, demostrando el valor de la colaboración interdisciplinaria para el diseño y construcción de prototipos funcionales que incorporan tecnologías avanzadas y metodologías propias de la industria moderna. Esta combinación de conocimientos y capacidades ha permitido la creación de un intercambiador de calor automatizado, diseñado para monitorear y analizar procesos térmicos en tiempo real, consolidándose como una herramienta tecnológica innovadora y altamente eficiente para su implementación en el Laboratorio de Química.

Referencias bibliográficas.

Alfa laval. (2024). Alfa laval industria. Recuperado 06 Junio de 2024 https://www.alfalaval.mx/.

Cengel, Yunus A (2023). Termodinámica, cuarta edición, México D.F. Mc Graw Hill Pág. 670 https://www.academia.edu/38408494/Transferencia_De_Calor_y_Masa_4ta_ed_Cengel_McGraw_Hill.

EPLAN. (2024). EPLAN – efficient engineering. Recuperado 01 de Agosto de 2023 https://www.eplan.com.mx/.

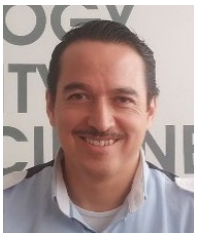
Gutiérrez Rojas, Javier.(2023). Automatización de intercambiador de calor. UCrea. https://repositorio.unican.es/xmlui/handle/10902/29540.

IFM. (2023). Ifm electronic. Recuperado 10 de Junio de 2023 https://www.ifm.com/mx/es.

LucidChart. (2024). LucidChart. Recuperado 5 de mayo de 2023 https://www.lucidchart.com/.

SOLIDWORKS. (2024). Qué es y para qué sirve Solidworks. Recuperado 1 de Junio de 2023 https://solid-bi.es/solidworks/.

Información de los autores.



Osbaldo Ysaac García Ramos, Ingeniero en Electrónica, es Maestro en Ciencias en Ingeniería Mecatrónica egresado del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez. Tiene Cursos especialización en Mecatrónica en Universidad de Esslingen Alemania, en la empresa Emco Salzburgo Austria, en la empresa Festo Estados Unidos y Festo México. Es académico de tiempo completo del Departamento de Eléctrica-Electrónica del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez. Tiene 18 años de experiencia docente. Es profesor con perfil deseable PRODEP. Ha desarrollado proyectos de investigación siendo responsable técnico de desarrollo de proyectos financiados por CONACyT y empresas privadas. Cuenta con la certificación de Diseñador mecánico CSWA, CSWP, CSWP Avanzado por la empresa SolidWorks. Obtuvo premio de desempeño a la excelencia EGEL 2018 en Ingeniería Mecatrónica y es Miembro del Colegio de Ingenieros Mecánicos y Electricistas del Estado de Chiapas. Con campos de interés en: Automatización de procesos, Industry 4.0, Tecnologías CAD-CAM-CAE, Instrumentación y control.

René Cuesta Díaz, Ingeniería Químico, egresado del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez, cuenta con la maestría en Ingeniería en Calidad del Agua en la Universidad Autónoma de Chiapas, Campus Ingeniería Civil. Ha realizado estudios en el área ambiental como, por ejemplo, elaboración de prototipos didácticos que brinden información para escalarse en el diseño de plantas de tratamiento de aguas residuales. Se ha desempeñado en Instituciones de gobierno como la Secretaría de Ecología en proyectos de Cuenca Hidrológica en la parte de contaminación de ríos y, en la industria alimenticia en plantas embotelladoras de refrescos en plantas de agua purificada y procesos de envasado. Actualmente se desempeña en la docencia en el Instituto tecnológico de Tuxtla Gutiérrez.

Jorge Armando Gómez Salinas, obtuvo el título de la licenciatura en Ingeniería Bioquímica, en el 2002, ingreso a la maestría en ciencias en Ingeniería Bioquímica, en el Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez. Es docente- investigador de ITTG, ha desarrollado proyectos de investigación TecNM, tales como Evaluación del proceso fermentativo para la formulación y producción de bebidas a base de frutos regionales de Chiapas, Efecto antifúngico de esporas encapsuladas de Metarhizium anisopliae sobre el desarrollo de plantas de frijol (Phaseolus vulgaris L) infectadascon Fusarium moniliforme, Sensibilidad de agentes causales de infecciones intestinales a extractos orgánicos de Justicia spicigera, Aislamiento e identificación de enterobacterias en alimentos frescos y cocidos y su sensibilidad a agentes antimicrobianos naturales.

Cristal Guadalupe. Lozano Cruz, Estudió el bachillerato con una carrera Técnica en Administración de empresas, continuó sus estudios en la licenciatura en Ingeniería Química en el Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez. Realizó diversos proyectos que le permitieran desarrollar habilidades relacionadas a su área de estudio. Desarrollo un prototipo a escala nivel laboratorio de un intercambiador de calor de tubos y coraza, proyecto que le permitió obtener el título de la licenciatura en Ingeniería Química en el Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez.

Carlos Ramón Alfonzo Santiago, estudió Ingeniería Mecánica (1991-1995) en el Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez, también cursó la Maestría en Ciencias en Ingeniería Mecatrónica (2016-2018) en el Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez, donde se desempeña como docente desde marzo del año 2003. Es profesor de tiempo completo y durante su trayecto en el Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez logró en el año 2015 la Certificación en SolidWorks CSWA, ha impartido materias a nivel profesional en distintas áreas como Ingeniería Mecánica, Ingeniería Química e Ingeniería Industrial, actualmente es parte del cuerpo académico de la carrera de Ingeniería Mecatrónica. Fungió como jefe de departamento en el Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez en los Departamentos de Recursos Materiales (2005-2008) y de Mantenimiento de Equipo (2008-2010) y fue jefe del Laboratorio de Sistemas de Manufactura (2010-2016).

Alexis de Jesús Flores García, es Ingeniero en Electrónica por el Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez (ITTG 2010); Maestro en Ciencias en Optomecatrónica por el Centro de Investigaciones en Óptica A.C. (CIO 2014). Es Técnico-Docente ¾ de tiempo en el departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez (ITTG). Tiene 10 años de experiencia docente y Diplomado en Microsoft Teams. Ha participado en el desarrollo de proyectos de investigación financiados por TecNM. Cuenta con la certificación de Diseñador mecánico CSWA, CSWP por la empresa SolidWorks. Es profesor con perfil deseable PRODEP. Colaborador del cuerpo académico en formación “Sistemas de control inteligentes”. Es presidente de Academia de Ingeniería Electrónica y miembro de la Academia de Ingeniería Mecatrónica.

Diseño de sistema integral automatizado para control de cultivos con IoT.

Design of an integrated automated system for crop control with IoT.

Sandra Lucia Dorantes González (1).
Estudiante del Tecnológico Nacional de México. Instituto Tecnológico de Zacatepec.
20090271@zacatepec.tecnm.mx.

Rafael Ortiz (2). Estudiante de TecNM, I. T. de Zacatepec, 20090287@zacatepec.tecnm.mx.

Eugenio César Velázquez Santana* (3). Instituto Tecnológico de Zacatepec, eugenio.vs@zacatepec.tecnm.mx.

Sócrates Espinoza Salgado (4). Instituto Tecnológico de Zacatepec, socrates.es@zacatepec.tecnm.mx.

Norma Josefina Ontiveros Hernández (5). Instituto Tecnológico de Zacatepec, norma.oh@zacatepec.tecnm.mx

Jesús Ángel Peña Ramírez (6). Instituto Tecnológico de Zacatepec, jesus.pr@zacatepec.tecnm.mx

*corresponding author.

Artículo recibido en abril 14, 2024; aceptado en abril 22, 2024.

Resumen.

Este artículo presenta los resultados de un proyecto de investigación aplicada para el sector de las Tecnologías de la Información y Comunicación, específicamente para la gestión cultivos agrícolas de hortalizas con sistema de riego y control de temperatura automático. El trabajo de investigación fue realizado con varios productores de hortalizas de la región sur del estado de Morelos, a través de entrevistas y la aplicación de encuestas, las cuales dejaron ver la necesidad de desarrollar un sistema de monitoreo y control; este sistema está conformado por un módulo web y un módulo móvil, ambos proporcionan acceso a información de variables climáticas, así como a la programación de actividades sobre el cultivo. Los resultados que se obtuvieron, demuestran que el sistema desarrollado, tuvo un impacto positivo en el cuidado de los cultivos y, por ende, contribuyó a que el agricultor pudiese controlar de manera remota sus cultivos.

Palabras claves: Internet de las cosas, microprocesador, sensores.

Abstract.

This article presents the results of an applied research project for the Information and Communication Technologies sector, specifically for the management of agricultural vegetable crops with an irrigation system and automatic temperature control. The research work was carried out with several vegetable producers in the southern region of the state of Morelos, through interviews and the application of surveys, which revealed the need to develop a monitoring and control system; This system is made up of a web module and a mobile module, both provide access to information on climatic variables, as well as the scheduling of crop activities. The results obtained demonstrate that the developed system had a positive impact on crop care and, therefore, contributed to the farmer being able to remotely control his crops.

Keywords: Internet of things, microprocessor, sensors.

1. Introducción.

Este proyecto está enfocado en el uso del microprocesador ESP32, la plataforma programación de Arduino, así como una aplicación web y una móvil, que juntos conforman un prototipo que pueda contribuir a mejorar el trabajo de los agricultores que cultivan hortalizas en invernaderos. En los últimos años se han hecho esfuerzos considerables para que la agricultura esté en constante evolución, y es gracias al avance de la tecnología y la ciencia, que se han desarrollado nuevos tipos de semillas, nutrientes, fertilizantes, y demás químicos que benefician a los cultivos, sin dañar al consumidor final.

Es por ello, que, con estos avances, se busca eficientar algunas de las diversas actividades del agricultor, mediante un prototipo de sistema automatizado, el cual controle el ciclo de crecimiento de un cultivo, con el fin de que los agricultores puedan tener información en tiempo real de sus cultivos, mediante un dispositivo móvil con acceso a Internet (Tovar et al, 2019).

Con este proyecto se busca lograr que los agricultores tengan acceso a la información relevante de su cultivo en invernadero, como lo es: la humedad, la temperatura, y la concentración de dióxido de carbono, para garantizar que los factores ambientales estén controlados de manera correcta.

Dado lo anterior, se realizó una búsqueda bibliográfica sobre las tecnologías encaminadas a mejorar los procesos agrícolas, que básicamente dependen de personas, que en ocasiones no tienen el tiempo necesario para medir factores ambientales como la humedad en la tierra, la temperatura del invernadero, así como la humedad en el ambiente; todo lo anterior, puede provocar que se tenga una cosecha con enfermedades o plagas, y por consecuencia el agricultor tenga pérdidas económicas considerables.

Por ello, nace la iniciativa de elaborar un diseño de un sistema integral automatizado en el que intervengan un microprocesador, una aplicación web, y una aplicación móvil, que le puedan ayudar al agricultor a estar informado de su cultivo y por ende a tener una buena cosecha. El sistema automatizado fue pensado para ser desarrollado con una tecnología simple y accesible a los agricultores, esto con el fin de buscar eficiencia y funcionalidad completa, es por eso por lo que se utilizó el microprocesador ESP32 y la plataforma de programación Arduino. Enseguida, se discutirán aspectos sobre su funcionamiento y algunos fundamentos teóricos relevantes para el proyecto.

En los últimos años, la exploración en el área de la informática ha dado inicio a la innovación en la tecnología de la agricultura de precisión (AP), que ofrece a los agricultores a que optimicen todos sus rendimientos, también a que reduzcan las aplicaciones de pesticidas y fertilizantes que no son necesarias, a salvaguardar los recursos naturales y a afrontar a los imperiosos fenómenos atmosféricos. De acuerdo con Ríos-Hernández, (2021), la AP es una técnica de gestión, que junta, maneja y examina datos de representación temporal y espacial y los combina con otra información, para apoyar la toma de decisiones. Por esto, la agricultura de precisión es una habilidad agrícola moderna, que promueve que la producción de cultivos sea eficaz, con ayuda del uso de la tecnología.

La tecnología de AP mejora la eficiencia del uso de los recursos, también su calidad, su productividad, su sostenibilidad y la rentabilidad de la producción agrícola. Con esta tecnología se consigue información a detalle las particularidades del cultivo, optimizando la gestión de una parcela, desde la perspectiva medioambiental, económico y agronómico. Como menciona Quiñonez et al (2017), lo que permite la AP es utilizar servicios tipificados y en tiempo real, apoyados en un extenso grado de elementos como: el tipo de riego, su ubicación, el tipo de cultivo, las prácticas de administración, el tamaño y el tipo de suelo y el nivel de automatización.

Por otro lado, el Internet de las Cosas (IoT), es un conjunto de objetos físicos, con sensores incorporados con la finalidad de conectarse a Internet y poder recopilar e intercambiar datos de manera perspicaz con otros dispositivos. El IoT es inducido por un conjunto de procesos y métodos que utilizan software, sensores y otras tecnologías para una comunicación en tiempo real entre procesos y personas (Tzounis, et al 2017).

Al hacer mención del IoT que se dirige a la agricultura, no sólo se habla de dispositivos móviles como drones o tabletas, sino también incluye una interconectividad de técnicas agrícolas de comunicaciones en colaboración y compatibles que intercambian datos de varios objetos como lámparas, monitores, cámaras, termostatos (Tzounis, et al 2017).

Además, las tecnologías del Internet de las Cosas que son utilizadas en la agricultura, se clasifican en tres niveles o capas según lo mencionan Ayaz, et al (2019). En primer lugar, la capa de percepción, seguida de la capa de red y finalmente la capa de aplicación, las cuales no están sujetas a un modelo en específico para el desarrollo de sistemas.

Como lo define Ayaz, et al (2019), la capa de percepción está compuesta de diversos componentes o dispositivos que se encargados de recabar la información del entorno; estos dispositivos son los encargados de modificar las mediciones de los sensores que se implementaron. Ávila-Camacho y Moreno-Villalba (2022), coinciden en que la capa de red incluye las redes de datos, que otorgan comunicación entre los dispositivos conectados, en esta capa, se declaran los diversos protocolos y medios de red requeridos.

La capa de aplicación en conformidad como lo menciona Elijah, et al (2018), es la encargada de la comunicación entre hombre-máquina, es decir, el sistema obtiene directamente los datos del usuario final, ya sean de entrada y/o de salida, con lo cual se mantiene la comunicación directa con el usuario, a través de las capas inferiores. Finalmente, la solución propuesta para el presente trabajo, está orientado al cultivo de hortalizas en invernadero.

2. Métodos.

La presente investigación es de tipo cualitativa, dado que se utilizó la entrevista, la observación directa y las encuestas, para obtener información de la problemática que afecta a los cultivos de hortalizas en la zona sur del estado de Morelos.

Al analizar el contexto de la problemática, como inicio para la investigación, los componentes y la relación que existe entre ellos, se efectuó la identificación del problema y su formulación. Por lo que, una actividad esencial fue la aplicación de un cuestionario a diversos productores agrícolas del sur del estado de Morelos. La finalidad de este cuestionario fue obtener información general de los cultivos, así como de las diversas actividades que se llevan a cabo en cultivos de hortalizas para invernaderos. La información proporcionada por los encuestados, aportó datos de juicio y de reflexión, sobre todo, los requerimientos funcionales, y características generales necesarios para el proceso de desarrollo del sistema automatizado. La muestra a la cual se le aplicó la encuesta estuvo conformada por 25 agricultores, de zonas rurales de los municipios de Zacatepec, Jojutla, Tlaquiltenango, Puente de Ixtla y Amacuzac.

Adicionalmente, como método de trabajo ágil y para controlar el desarrollo de software, se utilizó *Scrum*, dado que es una metodología que se adapta perfectamente a este tipo de proyecto (Morandini et al, 2021). Esta metodología busca llevar al mínimo los riesgos que se pueden presentar al ejecutar el proyecto en iteraciones menores a cuatro semanas, en cada *Sprint* o iteración, se realizan actividades como la planificación, el análisis, el diseño, la codificación y las pruebas, con ello se busca lograr el máximo progreso en el desarrollo al finalizar cada iteración. Está metodología ágil tiene como objetivo primordial, generar el mayor software funcional, sobre la documentación, y con ello, entregar incrementos en funcionales al cliente en menor tiempo.

Con respecto al diseño del sistema de monitoreo y control, los dispositivos interconectados son el microprocesador *ESP32*. Este microprocesador viene con varios módulos y placas, totalmente programables y fáciles de utilizar. Las placas pueden leer entradas y generar señales de salida como sensor midiendo la temperatura del ambiente y convertirlo en una salida que permitirá que se activen un extractor de calor y la activación de un ventilador (Santana et al, 2020).

Como se mencionó anteriormente, el microprocesador *ESP32* es una de las mejores soluciones a considerar para proyectos este tipo. Con la estructura que tiene este integrado, se pueden seleccionar como herramientas de programación el de *Espressif* (*IoT Development Framework*), el entorno de programación de Arduino y MicroPython.

Como parte de los dispositivos utilizados para la construcción del proyecto, está el sensor *DHT22*, el cual permitió medir la humedad y la temperatura relativa dentro del invernadero, fue considerado para el proyecto dado su buen

rendimiento y costo bajo, ya que incorpora un termistor, sensor resistivo a la temperatura para medir el aire que circula y un sensor de humedad, y proporciona también los datos a través de una señal digital. Las plataformas con las que puede operar este sensor son: Pi/Nodemcu, *Raspberry* y Arduino.

Otro dispositivo utilizado, es el sensor de humedad en suelo *FC-28* Higrómetro, el cual permite medir a través de 2 electrodos resistivos la humedad del suelo dentro del invernadero. Este dispositivo es compatible con el microprocesador *ESP32*, por lo que es ideal para monitorear el nivel de humedad en el suelo del invernadero utilizado en el presente proyecto, además, este mismo dispositivo ayudaría al riego de las hortalizas de manera automatizada solamente con añadir una válvula para ello.

Así también, se utilizó un relevador o *Relé*, que es un dispositivo electromagnético y trabaja como un interruptor que es controlado por un circuito eléctrico, y por medio de una bobina y un electroimán permite que los contactos abran o cierren circuitos eléctricos independientes. Al activar el relé mediante electromagnetismo se abre o se cierra un canal que transmite un voltaje y amperaje más alto. Para este caso, el *Relé* utilizado en el proyecto es el *SRD-05VDC*, el cual es utilizado para activar dos actuadores, como la bomba de riego y el extractor de humedad dentro del invernadero.

Con respecto al diseño del invernadero, se propuso que tuviera dimensiones de 3m de largo x 2m de ancho y 2m de altura. Los materiales para la construcción son: a) estructura metálica de PTR; b) contenedor plástico de 250 litros; c) bomba recirculante de 60 litros por hora; *d)* tubos de CPVC de 1/2” x 6m; *e)* pegamento y lijas para tubo de CPVC.

La aplicación web desarrollada utilizó *php*, como lenguaje de programación, y para este mismo el *framework* de desarrollo *Laravel* y para la aplicación móvil, se implementó en *Android* Studio, que utiliza la API REST para intercambiar datos de manera segura con la aplicación web; ambas aplicaciones proporcionan al agricultor, la información estadística del estado de las principales variables del invernadero (temperatura, humedad, y concentración del dióxido de carbono), así como un planificador de actividades. Los datos que se recolectan del invernadero, se almacenan en un servidor local que gestiona una base de datos en MySQL. La aplicación web es la que gestiona todo el control de administración de los agricultores y cultivos. Por otro lado, la aplicación móvil, muestra a cada agricultor, información relacionada con la temperatura y la humedad del suelo de cada uno de sus cultivos registrados en la plataforma web. El método utilizado para obtener información de las variables ambientales será mediante el protocolo de red TCP web socket conectado al servidor local, en donde se aloja el sistema web.

3. Desarrollo.

La información recolectada dentro del invernadero será a través de los sensores mencionados con anterioridad. Esta información será recolectada en tiempo real por el Sistema, por lo que estas mediciones serán almacenadas en la base de datos del sistema para su posterior uso y explotación.

Una vez terminado de analizar los componentes que estarán involucrados en el diseño del sistema, se recurrió al software de simulación de electrónico Proteus, dada la capacidad que tiene para simular en tiempo real circuitos eléctricos basados en microprocesadores, así como de los demás componentes electrónicos que contiene dentro de sus diferentes librerías.

En cuanto a la creación de un circuito en *Proteus*, este apoya al desarrollador a conocer los requerimientos de cada uno de los elementos y muestra el funcionamiento de los sensores mediante una simulación, una vez que el programa se ha ejecutado de manera correcta, se puede tomar el esquema eléctrico generado como base para hacer el prototipo real sin ocasionar algún daño a los demás componentes físicos.

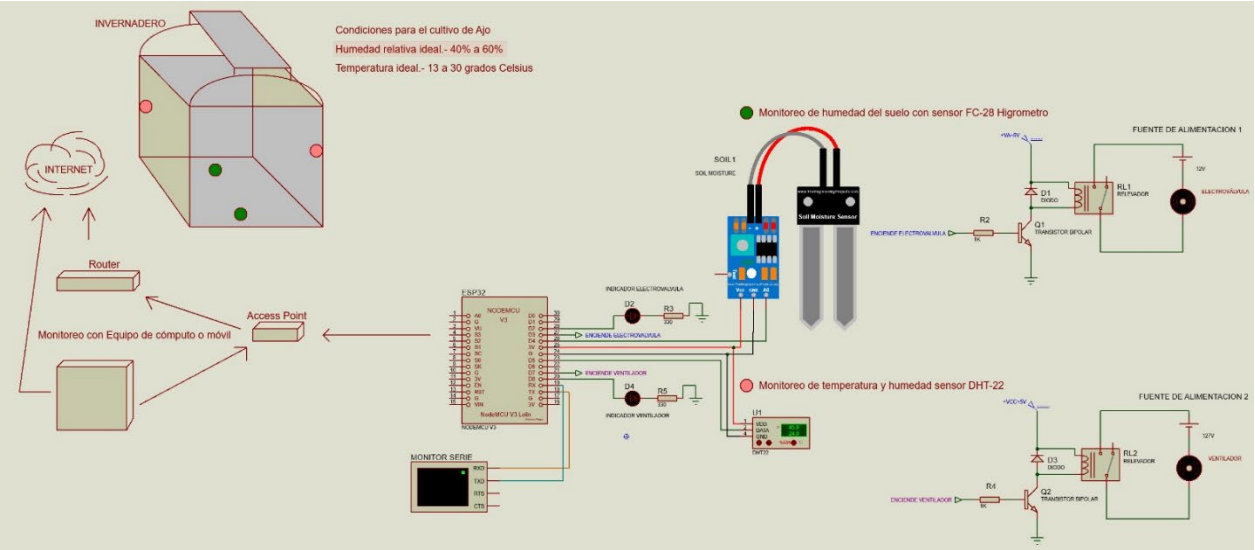


Figura 1. Arquitectura del proyecto en *Proteus*. Elaboración propia.

En la figura 2, se muestra el código que fue utilizado para comunicar el prototipo con el sistema web, para ello, se hizo uso de la llamada Web API, la cual es una herramienta que permite la interconexión entre estos dos elementos. Esta API funge como una interfaz entre el circuito y el sistema web, ya que no importa el lenguaje en que se consulte, la función del API, es enviar y recibir información. Para este proyecto, se hace una petición *HTTP* (desde el lenguaje de programación), pero en lugar de retornar una página *HTML*, el servidor retorna la información en una representación fácil de manipular en un lenguaje de programación. La petición que fue mencionada anteriormente, se realiza desde el propio programa de Arduino utilizando la librería *WiFi Client*, la cual viene incluida por defecto dentro del IDE de programación.

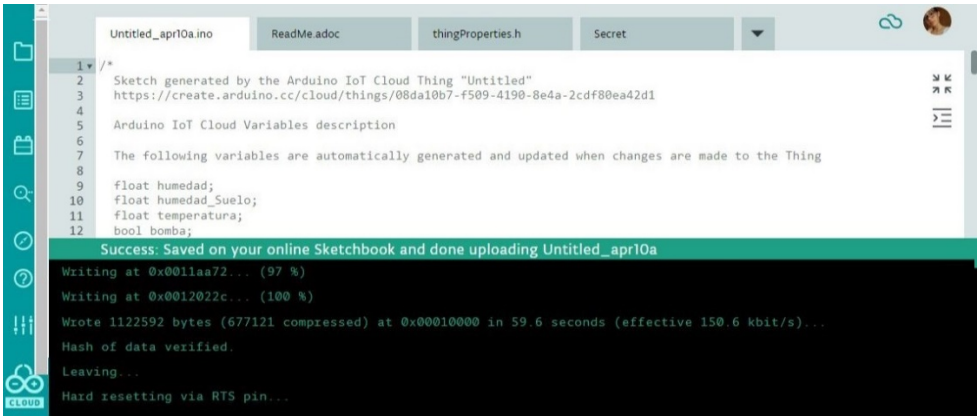


Figura 2. Conexión al servidor. Elaboración propia.

Una vez realizada la configuración de los sensores en el Arduino, es momento de verificar la comunicación entre ellos y la propia aplicación web. Cabe recordar que la aplicación web, ofrece un módulo para la administración de cultivos de las hortalizas, lo que le permite al agricultor agregar, eliminar o modificar información detallada de cada uno de estos cultivos; otro módulo con el que cuenta el sistema es el de la gestión de las estadísticas como la temperatura, la humedad en el ambiente, el dióxido de carbono, así como la humedad en el suelo, esta información es presentada mediante gráficas de barras para facilitar su comprensión. Por último, en la figura 3, se muestran algunas interfaces de la aplicación web, en donde el agricultor puede visualizar información relevante.

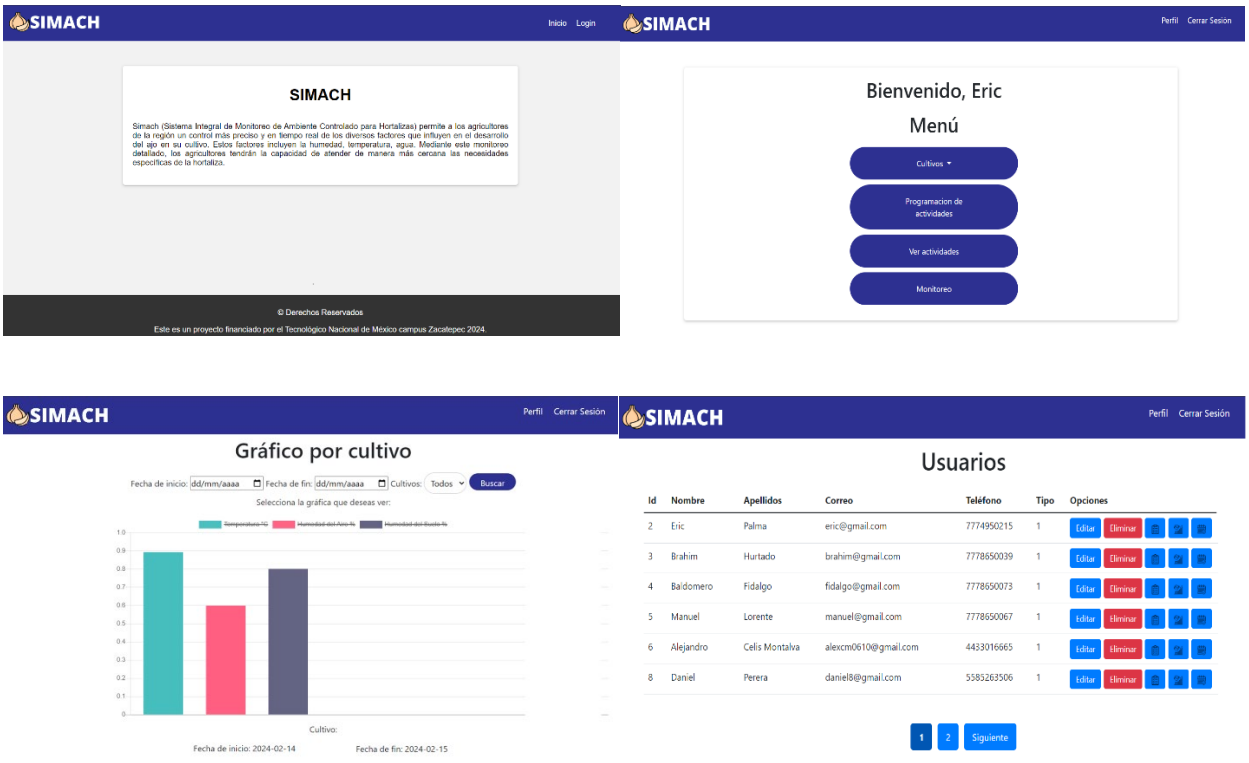


Figura 3. Interfaces de la aplicación web. Elaboración propia.

Por otro lado, la aplicación móvil ofrece módulos para que el agricultor realice consultas de las actividades planeadas, así como también le permite consultar información en tiempo real de los cultivos, adicionalmente a esto, la aplicación móvil muestra notificaciones para que el agricultor esté enterado de las tareas pendientes en el día. El proceso de riego sobre el cultivo es una tarea automatizada, sin embargo, en ocasiones es necesario ajustar los parámetros según la época del año, es por esto que la aplicación tiene la opción de programar un riego de manera remota para que se realice desde su dispositivo móvil, como se muestra en la figura 4.

Figura 4. Interfaces aplicación móvil. Elaboración propia.

Conclusiones.

De acuerdo con lo que menciona, Wen, et al (2021), la implementación de un sistema integral automatizado para hortalizas en invernadero, aporta de manera significativa un conocimiento sobre el uso de las tecnologías 4.0, específicamente en el Internet de las Cosas, ya que este proyecto, contribuye al conocimiento de cómo disminuir los tiempos y los costos de producción que tiene un agricultor, derivados de tener un cultivo de hortalizas. Además, con este tipo de proyectos, el agricultor con ayuda de las aplicaciones web y móvil, se mantiene informado sobre las variables climáticas dentro del invernadero.

Aunado a lo anterior, los agricultores del sur del estado de Morelos, están convencidos de que el uso de nuevas estrategias, y de nuevas tecnologías como el Internet de las cosas (IoT), están tomando importancia debido a que mejoran los procesos de los cultivos en invernaderos, logrando que tengan una buena cosecha de sus productos, así como mejorando la calidad de vida de los agricultores.

Agradecimientos.

Los autores agradecen al Tecnológico Nacional de México por el financiamiento del proyecto 17069.23-P (Sistema Integral de Monitoreo de Ambiente Controlado para Hortalizas) de la convocatoria de Proyectos de Investigación Científica, Desarrollo Tecnológico e Innovación 2023. Así como también, todo el apoyo brindado por el profesor José Luis Pérez Estudillo, quien fue parte esencial con sus contribuciones para el desarrollo del presente proyecto. Finalmente, el agradecimiento se extiende a las autoridades del Instituto Tecnológico de Zacatepec, por las facilidades otorgadas para el presente trabajo de investigación.

Referencias bibliográficas.

Ávila-Camacho, F.M y Moreno-Villalba, L.M. (2022). *Internet de las Cosas (IoT) Retos para las Empresas en* la era de la Industria 4.0. Boletín Científico de Ciencias Básicas e Ingenierías del ICBI.

Ayaz, M., Ammad-Uddin, Z., Sharif, A., Mansour & E. -H. M. Aggoune. (2019). *Internet-of-Things (IoT)-Based Smart Agriculture: Toward Making the Fields Talk.* in IEEE Access. Vol. 7, pp. 129551-129583. https://ieeexplore.ieee.org/document/8784034.

Elijah, O., Rahman, A., Orikumhi, C., Leow and M. N. Hindia. (2018). *An Overview of Internet of Things (IoT) and Data Analytics in Agriculture: Benefits and Challenges.* in IEEE Internet of Things Journal. Vol. 5, No. 5, pp. 3758-3773. https://doi.org/10.1109/JIOT.2018.2844296.

Morandini, M., Coleti, T., Oliveira, E., Corrêa, P. (2021). *Considerations about the efficiency and sufficiency of the utilization of the Scrum methodology: A survey for analyzing results for development teams*. Elsevier. Computer Science Review. Vol. 39. https://doi.org/10.1016/j.cosrev.2020.100314.

Quiñones-Cuenca, V., González-Jaramillo, R., Torres, & M. Jumbo. (2017). *Monitoring System of Enviroment Variables Using a Wireless Sensor Network and Platforms of Internet of Things.* Vol. 8. No. 1. pp.329-343. https://doi.org/10.29019/enfoqueute.v8n1.139.

Ríos-Hernández, R. (2021). *La Agricultura de Precisión. Una necesidad actual.* Revista Ingeniería Agrícola. ISSN: 2306-1545. Vol. 11. No. 1.

Santana Ching, I., Cárdenas Rivero, A. J., Sosa López, R., & Portal Díaz, J. A. (2020). *Monitoreo de parámetros ambientales en casas de cultivo a través de aplicación IoT.* Revista Cubana de Transformación digital, pp. 53-62.

Tovar. J, Santos. J, Badillo. A, Rodríguez. G. Rodríguez. (2019). *Internet of things applied to agriculture: actual state.* Universidad Católica. https://doi.org/10.21501/21454086.3253

Tzounis, A., Katsoulas, N., Bartzanas, T., Kittas, C. (2017). Internet of things in agriculture, recent advances and futures challenges. Elsevier Biosystems Engineering. Vol. 164. Pp. 31-48. https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2017.09.007

Wen Tao, Liang Zhao, Guangwen Wang, & Ruobing Liang. (2021). *Review of the internet of things communication technologies in smart agriculture and challenges.* Computers and Electronics in Agriculture, Vol. 189, 2021, 106352, ISSN 0168-1699, https://doi.org/10.1016/j.compag.2021.106352.

Información de los autores.

Sandra Lucia Dorantes González, es estudiante de la carrera de Ingeniería en Sistemas Computacionales del Instituto Tecnológico de Zacatepec, cursa la especialidad de Desarrollo Web Empresarial. Actualmente se encuentra realizando su residencia profesional con el proyecto "Sistema de Monitoreo para Hortalizas – Módulo Web". Su área de interés, es el desarrollo de software web orientado hacia la industria 4.0.

Rafael Ortiz, es estudiante de la carrera de Ingeniería en Sistemas Computacionales del Instituto Tecnológico de Zacatepec, cursa la especialidad de Desarrollo Web Empresarial. Actualmente se encuentra realizando su residencia profesional con el proyecto "Sistema de Monitoreo para Hortalizas – Módulo Móvil". Su área de interés, es el desarrollo de software web orientado hacia la industria 4.0.

Eugenio César Velázquez Santana, es Ingeniero en Sistemas Computacionales, egresado del Instituto Tecnológico de Zacatepec, en donde además cursó la Maestría en Tecnologías de la Información, cuenta con el Doctorado en Planeación Estratégica y Dirección de Tecnologías y actualmente es jefe de departamento de Sistemas y Computación del Instituto Tecnológico de Zacatepec.

Sócrates Espinoza Salgado, es Ingeniero Electromecánico egresado del Instituto Tecnológico de Zacatepec, además en este mismo Instituto cursó sus estudios de Doctorado en Ciencias en Polímeros. Actualmente es profesor investigador de tiempo completo del departamento de Sistemas y Computación. Además, es responsable del Cuerpo Académico Tecnologías de la Información, Comunicaciones (TIC's) y Docencia reconocido ante PRODEP. Su área de interés es la electrónica y docencia.

Norma Josefina Ontiveros Hernández, es originaria de la ciudad de Durango, Dgo., es Licenciada en Informática egresada del Instituto Tecnológico de Durango en el año de 1984. De ese mismo año al año 1986, concluyó sus estudios de Maestría en Administración Pública de la Facultad de Economía, Contaduría y Administración de la Universidad Juárez del estado de Durango. En octubre de 1986, obtuvo su ingreso al Sistema Nacional de Institutos Tecnológicos y en agosto de 1989 fue enviada al CENIDET para llevar a cabo la Maestría en Ciencias de la Computación. Desde febrero de 1997 cambió su adscripción al departamento de Sistemas y Computación del Instituto Tecnológico de Zacatepec, y desde agosto de 2014, se integró al trabajo del Centro de Investigación e Innovación Empresarial (CIIE-Zacatepec). La maestra cuenta con 5 diplomados y desde agosto de 2015, pertenece al Cuerpo Académico TIC’s y Docencia.

Jesús Ángel Peña Ramírez, es Licenciado en Informática, egresado del Instituto Tecnológico de Zacatepec, cuenta con Maestría en Tecnologías de la Información del mismo Instituto. Actualmente es presidente del claustro de la maestría en Ingeniería. Además, es profesor de tiempo completo del departamento de Sistemas y Computación. Tiene como áreas de interés redes de cómputo, inteligencia artificial, robótica, así como programación móvil.

Diseño y construcción de un prototipo de balanceo de inyectores a gasolina automotriz.

Design and construction of automotive gasoline injector balancing equipment.

Hernán Valencia Sánchez* (1).
Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez.
hernan.vs@tuxtla.tecnm.mx.

Roberto Carlos García Gómez (2). Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez,
roberto.gg@tuxtla.tecnm.mx.

Fernando Alfonso May Arrioja (3). Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez,
fernando.ma@tuxtla.tecnm.mx.

Luis Tomás García Andrade (4). Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez,
luis.ga1@tuxtla.tecnm.mx.

Ignacio Arrioja Cárdenas (5). Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez,
ignacio.ac@tuxtla.tecnm.mx.

*corresponding author.

Artículo recibido en julio 07, 2024; aceptado en agosto 16, 2024.

Resumen.

En el presente artículo se describe implementación de un equipo para determinar si los inyectores se encuentran dentro de sus parámetros técnicos de operación. El funcionamiento del prototipo está basado en un sistema mecatrónico en donde se montarán los inyectores en la base del equipo y se realizará una simulación del ciclo de trabajo de los inyectores a gasolina dentro de un motor de combustión interna con una tarjeta de adquisición de datos(TAD) que permite la dosificación del combustible, en el dispositivo , las condiciones de trabajo de estos inyectores que estarán en función de las revoluciones por minuto y el tiempo de trabajo del inyector de combustible que se expresa en milisegundos que es la anchura de impulso de estos inyectores e indica la cantidad de combustible suministrada en cada cilindro, con unas probetas graduadas se tendrá la cantidad de combustible que inyecta cada inyector y se realizara la comparación en las tablas que proporciona el fabricante de estos inyectores para su óptimo rendimiento en los vehículos automotores.

Palabras claves: CAD, IDC, RPM, TAD.

Abstract.

This article describes the implementation of a device to determine if the injectors are within their technical operating parameters. The operation of the prototype is based on a mechatronic system where the injectors will be mounted on the base of the equipment and a simulation of the work cycle of the gasoline injectors will be carried out inside an internal combustion engine with a data acquisition card (TAD) that allows the dosing of the fuel, in the device, the

working conditions of these injectors that will be a function of the revolutions per minute and the working time of the fuel injector that is expressed in milliseconds which is the pulse width of these injectors and indicates the quantity of fuel supplied in each cylinder, with some graduated cylinders the quantity of fuel that each injector injects will be had and the comparison will be made in the tables provided by the manufacturer of these injectors for their optimal performance in motor vehicle.

Keywords: CAD, IDC, RPM, TAD.

1. Introducción.

El presente proyecto se centra en el desarrollo de un banco de balanceo de inyectores a gasolina automotriz, diseñado para evaluar su rendimiento y eficiencia de manera precisa y confiable. El banco de pruebas contará con un sistema de control que ofrecerá dos funcionalidades principales: la definición de revoluciones y tiempos de inyección, y la simulación de condiciones de ralentí del motor.

El objetivo principal es proporcionar una herramienta versátil y fácil de usar que permita a técnicos y mecánicos diagnosticar y ajustar los inyectores de combustible con mayor precisión. Las dos opciones principales del sistema son:

1. Definición de Revoluciones y Tiempo de Inyección: Esta función permite al usuario definir manualmente las revoluciones por minuto (RPM) y el tiempo de inyección del combustible. Esto facilita la simulación de diversas condiciones de operación del motor, proporcionando un entorno de prueba controlado para evaluar el rendimiento del inyector bajo diferentes cargas y velocidades.

2. Simulación de Ralentí: En esta opción, el banco de pruebas simula el comportamiento del inyector cuando el motor del vehículo está en ralentí. Esta simulación automática proporciona datos valiosos sobre el rendimiento del inyector en condiciones de bajas revoluciones, que son críticas para el funcionamiento suave y eficiente del motor.

El banco de pruebas de inyectores propuesto ofrecerá múltiples beneficios, incluyendo:

Flexibilidad: Capacidad para realizar pruebas personalizadas y simulaciones específicas, mejorando el diagnóstico y ajuste de los inyectores.

Precisión: Mediciones precisas de los parámetros de inyección, facilitando la detección de fallos y la optimización del rendimiento.

Usabilidad: Una interfaz de usuario fácil de usar que simplifica la operación del banco de pruebas, haciéndolo accesible para técnicos y mecánicos de diversos niveles de experiencia.

2. Métodos.

Diseño de la Estructura.

Diseñar es formular un plan para satisfacer una necesidad específica o resolver un problema, si el plan resulta en la creación de algo físicamente real, entonces el producto debe ser funcional, seguro, confiable, competitivo, útil, que pueda fabricarse y comercializarse.

El diseño es un proceso innovador y altamente iterativo, También es un proceso de toma de decisiones, el diseño es una actividad de intensa comunicación en la cual se usan tanto palabras como imágenes y se emplean las formas escritas y orales. (Budynas,2008)

En la manufactura del prototipo se debe construir una carcasa que de acuerdo al análisis de diseño contengan los elementos que lo conforman, tomando en consideración que el prototipo debe ocupar poco espacio en una mesa de trabajo y contener todos los elementos que lo constituyen para su funcionamiento, el material que debe ser considerado tiene la propiedad que es resistente a la corrosión por el uso del fluido, así como mantener un aspecto ergonómico y funcional. Para poder visualizar el balanceo de los inyectores es necesario que el frente del mismo este descubierto para que se pueda apreciar el ciclo de trabajo que se lleva a cabo durante las pruebas realizadas a los inyectores de gasolina.

Considerando el análisis del diseño en el cual el frente del equipo estuviera totalmente visible para el operador (Fig. 1) y contara únicamente con los elementos de mayor interés para el operador, en este caso serían los cuatro inyectores a los cuales se les realizarían el balanceo, las cuatro probetas para medir el volumen de inyección de cada una de las inyectores y un instrumento para medir la variable física la presión actual en la línea de combustible proporcionada por la bomba de gasolina, elemento que junto con el depósito de combustible, la fuente de poder y la tarjeta de adquisición de datos del prototipo se encontrarían en la parte posterior de la carcasa. Al contar con el análisis de diseño se realizó distribución de los elementos que conforman el prototipo ocupando los espacios destinados para ello, dentro de la carcasa del prototipo que tendría unas medidas de 32 x 34 x 30 cm (Altura x Ancho x Profundidad) las cuales se obtuvieron al realizar la medición de los componentes del sistema y considerar un tamaño adecuado para que cada parte del prototipo tuviera un lugar con suficiente espacio para garantizar un ciclo de trabajo de los inyectores poder trabajar con el prototipo de manera cómoda. (Gómez, 2012)

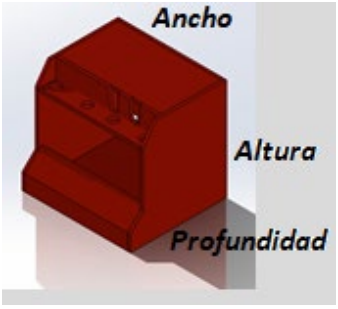


Figura 1. Vista Isométrica.

Selección del material.

Teniendo definido el diseño, en la selección de los materiales para la manufactura del prototipo de balanceo de los inyectores.

La selección de estos materiales obedece a una serie de parámetros, entre los cuales destacan la resistencia a la corrosión, disponibilidad y bajo costo de adquisición, toda la unión de la estructura se realizó con dobladora de lámina para mejora la vista de los perfiles y atornillada para alguna modificación futura.

La estructura es de lámina galvanizada de 0,10mm de espesor, está constituida de 6 elementos cortados y doblados con base al diseño, que luego fueron unidas con aproximadamente 35 tornillos de 7/16 de pulgada con la finalidad de obtener una estructura fuerte y firme (Beer, 2010).

La idea principal de la selección de este material es por su capacidad de resistir al óxido y a la corrosión; sin embargo, se consideró necesario la cobertura de la estructura con una pintura anticorrosiva, que, a más de adicionar un plus en la protección del equipo, proporciona un buen acabado.

Figura 2. Ensamble del Banco de Inyectores.

3. Desarrollo.

Diseño del sistema electrónico.

Para controlar el flujo en los inyectores se requiere de un sistema que lo gobierne el cual consta de tres etapas las cuales son:

1.- Fuente de energía.
2.- Sistema lógico digital.
3.- Etapa de potencia.

1.- Fuente de energía.

Para el diseño de la fuente de poder del sistema consideraron los consumos de energía de cada uno de los dispositivos que se conectarán al prototipo, se elaboró una tabla (tabla1) para hacer la comparación de cada elemento.

Con los datos del consumo eléctrico de cada elemento del prototipo se determinó que el consumo sería de aproximadamente 17 Amperes con voltajes de 5 y 12 Volts, lo que resulta en una fuente de al menos 204 Watts aproximadamente. Se eligió una fuente conmutada debido al tamaño pequeño y eficiencia. Para cumplir con estas necesidades se seleccionó una fuente para computadora personal ATX que proporciona los niveles de voltaje y potencia requeridos para el proyecto.

La fuente seleccionada es de la marca Acteck® modelo AF-B500 slim que entrega una potencia máxima de 288 Watts.

Tabla 1. Necesidades energéticas.

Dispositivo	Cantidad	Voltaje	Amperaje	Potencia
Bomba de gasolina	1	12	8 A	96 W
Inyector	4	12	2 A	24 W
Luz LED	1	12	0.6 A	7.2 W
Unidad de control	1	5	0.1 A	1.2 W
Total			16.7 A*	200.4 W*

*En el amperaje y potencia total de la tabla anterior se tomaron en cuenta los cuatro inyectores.

2.- Sistema Lógico Digital.

El prototipo requiere de un sistema digital para el control de las rutinas de los elementos de este, se eligió usar un

microcontrolador sobre las demás opciones por las facilidades que proporciona el uso del mismo. Se empleó la plataforma Arduino™, en específico el modelo Nano el cual está basado en un microcontrolador ATmega328 de la empresa ATMEL® y cuenta con las siguientes características:

Tabla 2. Características del microcontrolador.

Microcontrolador	Atmel ATmega328
Voltaje de operación (nivel lógico)	5 Volts
Voltaje de alimentación (recomendado)	7 – 12 Volts
Voltaje de entrada (limites)	6 – 20 Volts
I/O digitales (6 salidas PWM)	14
Entradas analógicas	8
Corriente DC por pin I/O	40 mA
Memoria Flash	32 KB (2 KB usados por bootloader)
SRAM	2 KB
EEPROM	1 KB
Velocidad de reloj	16 MHZ
Dimensiones	45 mm x 18 mm

La placa acepta una alimentación externa de 5 V. La programación se desarrolló en el Entorno de Desarrollo Integrado (IDE) de Arduino®, considerando que es un prototipo didáctico para el trabajo con alumnos.

Figura 3. Controlador.

3.- Etapa de Potencia.

Todos los sistemas lógicos manejan niveles de corriente muy pequeños los cuales no son adecuados para la activación de los inyectores y la bomba de gasolina los cuales tienen un consumo de corriente grande. Por tal motivo es necesario una etapa de componentes electrónicos que puedan manejar los requerimientos de potencia mencionados.

Esta etapa de potencia se tiene que conectar a la etapa lógica por medio de una interfaz lo cual se logra con transistores intermedios que recibirán las señales de la placa del microcontrolador y activarán a otros transistores de mediana potencia que son capaces de manejar el voltaje y la corriente de los inyectores del prototipo que son de 12V y 2 amperes.

El transistor seleccionado es el TIP122 que es un transistor Darlington el cuál se configuró para que trabaje como interruptor, para la protección de los transistores de potencia estos se montaron en disipadores de calor.

Para la activación de la bomba de gasolina se eligió un relevador automotriz marca Hella® que tiene la capacidad de manejar corrientes de hasta 40 amperes a 12 v. para la interfaz entre el relevador y la etapa lógica se utilizó un transistor NPN de propósito general de baja potencia la selección fue el 2N2222A de Motorola®.

Para el encendido de la tira de leds que se encuentran detrás de las probetas del prototipo para la iluminación se utilizó el mismo transistor usado con el relevador.

La etapa de potencia se montó en una placa de circuito impreso diseñada en un software CAD (Diseño asistido por computadora), (Fig. 4).

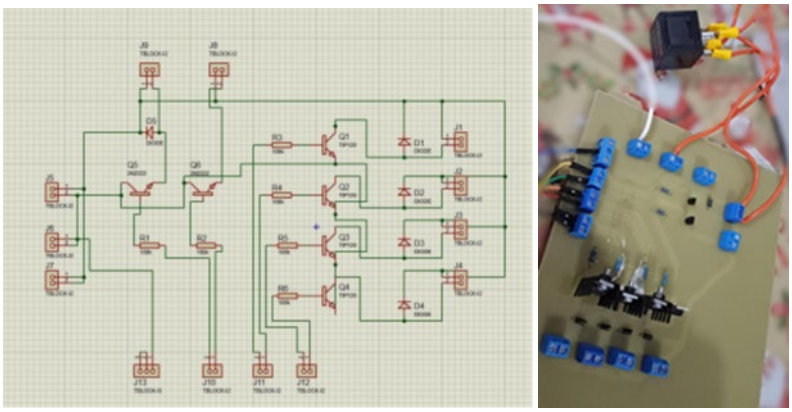


Figura 4. Diseño de PCB.

Para controlar los inyectores del equipo fue necesario desarrollar una ecuación que calculara su ciclo de trabajo, el cual determina el porcentaje de tiempo que el inyector permanece energizado durante un ciclo de operación.

Debido a las limitaciones físicas de los inyectores este ciclo de trabajo no debe superar el 85% ya que al hacerlo este no tiene el tiempo suficiente para regresar a la posición de cerrado y permanece entreabierto, provocado un funcionamiento errático. Para evitar este problema se establecieron parámetros de funcionamiento que van de 0 a 80%.

En la industria automotriz se le conoce a este ciclo de trabajo como IDC (injector duty cycle por sus siglas en ingles) el cual se calcula de la siguiente manera: (Bosch, 2008).

Los inyectores de gasolina permiten el paso de combustible una vez por ciclo del motor en cada uno de los cilindros, en un motor de cuatro tiempos se lleva a cabo un ciclo cada dos revoluciones por lo que, si tomamos 900 RPM y las dividimos entre dos, obtendremos 450 ciclos por minuto que se convierte a 7.5 ciclos por segundo.

Obteniendo este resultado podemos averiguar cuánto tiempo le toma al motor completar un ciclo realizando la siguiente relación:

$$\frac{7.5\ ciclos}{1\ segundo} = \frac{1\ ciclo}{x\ segundos}\ \therefore\ \frac{1\ segundo \cdot ciclo}{7.5\ ciclos} = x\ --Ecuación\ 1$$

$$x = 0.133\ segundos = 133\ ms$$

Con esto podemos determinar que cada ciclo completo del motor a 900 RPM toma 133 ms, si quisiéramos calcular el tiempo de inyección con un IDC de 10% tendríamos.

$$0.1 = \frac{y}{133}\ \therefore\ 133 \cdot 0.1 = 13.3\ ms\ --Ecuación\ 2$$

Donde 0.1 representa un IDC de 10% y 133 es el tiempo en milisegundos que le toma al motor llevar a cabo un ciclo, la variable y representa el tiempo que permanecerá activado el inyector durante ese ciclo, este tiempo se conoce como PW o ancho de pulso que en este ejemplo es y = 13.3 milisegundos.

En base a los datos anteriores se desarrollaron dos ecuaciones que servirán para calcular ya sea el IDC o el PW en porcentaje y milisegundos respectivamente facilitando el manejo de los datos dentro de la programación del controlador.

$$\left[\left(\frac{RPM}{2}\right)\left(\frac{1}{60}\right)\right]^{-1} \rightarrow \frac{120}{RPM}$$

$$\frac{PW}{\left(\frac{120}{RPM}\right)} \rightarrow \%IDC = \frac{RPM \cdot PW}{120}$$

$$IDC\% = \frac{RPM \cdot PW \cdot 100}{120}$$

PW en milisegundos.

$$\frac{RPM \cdot PW \cdot 100}{120 \cdot 1000} \rightarrow \%IDC = \frac{RPM \cdot PW}{1200}$$

$$\%IDC = \frac{RPM \cdot PW}{1200} --Ecuación\ 3$$

Donde PW está en milisegundos, a partir de la Ec.3 podemos despejar la Ec. 4.

$$PW = \frac{\%IDC \cdot 1200}{RPM} --Ecuación\ 4$$

Esta ecuación permite que se pueda calcular el PW del inyector conociendo el IDC y las revoluciones por minuto del motor, con esto es posible crear un programa que controle los inyectores.

Conclusiones.

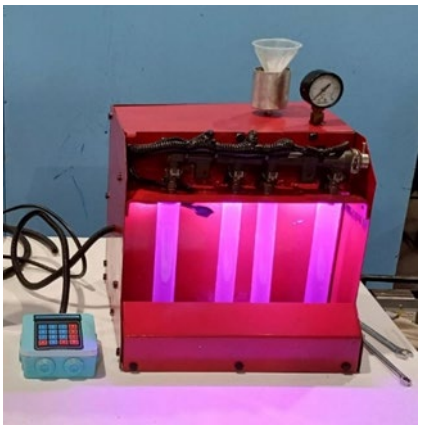


Figura 5. Banco de pruebas.

El desarrollo del equipo banco de pruebas de inyectores ha demostrado ser una herramienta efectiva y versátil para el diagnóstico y mantenimiento de sistemas de inyección de combustible. Este banco de pruebas cuenta con tres modos de operación distintos que permiten una evaluación integral de los inyectores:

1. Prueba de presión: Este modo permite verificar la presión de funcionamiento de los inyectores, asegurando que están dentro de los parámetros especificados por el fabricante. Es crucial para detectar inyectores con fugas o con problemas de presión que podrían afectar el rendimiento del motor y la eficiencia del combustible.

2. Ralentí: En este modo, se simulan las condiciones de operación del motor en ralentí. Esto es fundamental para identificar inyectores que no estén atomizando correctamente el combustible a bajas velocidades, lo que podría causar problemas de combustión incompleta y emisiones elevadas.

3. Modificación de revoluciones y tiempo: Este modo avanzado permite ajustar tanto las revoluciones por minuto (RPM) como el tiempo de inyección, ofreciendo una evaluación dinámica y precisa del desempeño de los inyectores bajo diferentes condiciones de carga y velocidad. Es particularmente útil para simular el comportamiento del motor en una amplia gama de escenarios operativos, desde bajas hasta altas revoluciones.

La implementación de estos tres modos en el banco de pruebas de inyectores no solo facilita la identificación y corrección de fallos en los inyectores, sino que también contribuye significativamente al mantenimiento preventivo y la optimización del rendimiento del motor.

Este equipo garantiza la confiabilidad y eficiencia de los sistemas de inyección de combustible. Además, mejora la comprensión y el análisis del comportamiento de los inyectores en condiciones controladas, contribuyendo al desarrollo de mejores prácticas de mantenimiento y reparación.

Referencias bibliográficas.

Beer, F. P. (2010). Mecánica de Materiales (Quinta ed.). México: McGraw-Hill Educación. Recuperado en mayo de 2022.

Bosch R. (2008). Sistemas de Inyección Electrónica. Febrero 15, 2015, de © Robert Bosch México S.A. de C.V. Sitio web: http://www.catalogobosch.com/BibliotecaPDF_es/Inyecci%C3%B3n/Sistemas_de_Inyecci%C3%B3n.pdf

Budynas, R. G. (2008). Diseño en ingeniería mecánica de Shigley. México: McGraw-Hill Educación. Recuperado en abril de 2022.

Gómez G.S. (2021). "SolidWorks", Ed. Alfaomega México, 12da. Ed.

Información de los autores.

Hernán Valencia Sánchez, Licenciatura en Ingeniería Mecánica y con un Posgrado en Maestría en Ciencias en Ingeniería Mecatrónica Egresado del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez, Reconocimiento al perfil deseable, Jefe de Proyectos de

Investigación del Departamento de Metal-Mecánica, Docente del Departamento de Metal-Mecánica del TecNM/Instituto tecnológico de Tuxtla Gutiérrez.

Roberto Carlos García Gómez, Licenciatura en Ingeniería Mecánica, con tres posgrados: Especialidad en Mecatrónica, Maestría en Ciencias en Ingeniería Mecánica, Doctorado en Procesos de Manufactura. Egresado del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez, Jefe de Proyectos de Vinculación del Departamento de Metal-Mecánica, Docente del Departamento de Metal-Mecánica del TecNM/Instituto tecnológico de Tuxtla Gutiérrez.

Fernando Alfonso May Arrioja, Licenciado en Ingeniería Mecánica por el Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez, Maestro en Energías Renovables por la Universidad Politécnica de Chiapas y Doctorado en Ingeniería Aplicada en el Colegio de Formación Educativa Tenam. Profesor de Carrera Enseñanza Superior en el Departamento de Metal-Mecánica del TecNM/Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez. Perfil Deseable desde 2016.

Luis Tomás García Andrade, Licenciado en Ingeniería Electrónica por el Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez, Maestro en Administración de Redes y Telecomunicaciones por el Instituto de Estudios Superiores de Chiapas, Docente del Departamento de Eléctrica y Electrónica del TecNM/Instituto tecnológico de Tuxtla Gutiérrez.

Ignacio Arrioja Cárdenas, es profesor de tiempo completo y jefe de proyectos de docencia en el departamento de Metal-Mecánica del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez/Tecnológico Nacional de México. Doctor en Ingeniería aplicada por el Colegio de Formación Educativa Tenam, Maestro en Ciencias en Ingeniería Mecánica por el Instituto Tecnológico de Veracruz, Maestro en Ciencias Físicas por Centro Mesoamericano de Física Teórica-Universidad Autónoma de Chiapas e Ingeniero Mecánico por el Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez.

Evaluación de un plan agregado de producción utilizando programación en Visual Basic.

Evaluation of an aggregate production plan using Visual Basic programming.

Carlos Venturino De Coss Pérez (1).
Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez.
carlos.dp@tuxtla.tecnm.mx.

Edali Ramos Mijangos* (2). TecNMéxico/I. T. de Tuxtla Gutiérrez, edali.rm@tuxtla.tecnm.mx.

Roberto Antonio Meza Meneses (3). TecNM/I. T. de Tuxtla Gutiérrez, roberto.mm@tuxtla.tecnm.mx.

*corresponding author.

Artículo recibido en enero 08, 2024; aceptado en febrero 09, 2024.

Resumen.

La planeación agregada se refiere a la adjudicación de las diversas fuentes de capacidad a la demanda para algún nivel de planeamiento". Este tema es de gran importancia, ya que se comprende la aplicación a una empresa, lo cual permitirá llegar a un punto de equilibrio entre los niveles de servicio, las restricciones sobre las capacidades que se fijan y los ajustes temporales a la demanda de servicios a medio plazo, para hacer mejor uso de los recursos. Así surge la idea de un software que cumpla con las características básicas para solucionar planes agregados y que tanto el docente como el alumno hagan uso de este como herramienta educativa.

Palabras claves: Métodos, nivelación, plan agregado, programación, persecución.

Abstract.

Aggregate planning refers to the allocation of the various sources of capacity to the demand for some level of planning". This issue is of great importance, since the application to a company is understood, which will allow reaching a point of balance between the service levels, the restrictions on the capacities that are set and the temporary adjustments to the demand for services to medium term, to make better use of resources. Thus arises the idea of a software that meets the basic characteristics to solve aggregate plans and that both the teacher and the student make use of it as an educational tool.

Keywords: Aggregate plan, leveling, methods, programming, persecution.

1. Introducción.

La implementación de planes agregados ayuda a la toma decisiones tácticas respecto a los niveles adecuados de producción, inventarios y recursos que deben utilizarse en fabricación (Escobar, 2012). Con ello se intenta optimizar las necesidades y recursos para la producción, teniendo en cuenta siempre la eficiencia, calidad y costos totales del proceso. En definitiva, el plan agregado trata de establecer la capacidad de las operaciones, para responder a la demanda

de los clientes. Actualmente no existen softwares libres de planes agregados para fines educativos, además de que estos softwares están enfocados al sector industrial, por lo que alumnos y docentes difícilmente pueden hacer uso de estos. Analizando las problemáticas causadas por la falta de un software educativo, se plantea la siguiente pregunta: ¿Es factible el diseño funcional de un software que sea útil para docentes y alumnos que desean poner en práctica sus conocimientos y habilidades para la elaboración de planes agregados? Para la elaboración del programa, tomando en cuenta la experiencia obtenida en la asignatura "Algoritmos y Lenguaje de Programación", en la que se desarrollan habilidades de programación en Visual Basic de Excel se decidió utilizar dicho programador. El objetivo del programa es mejorar el proceso enseñanza-aprendizaje práctico del tema “Planes Agregados” que se contempla en la asignatura de Administración de las Operaciones II del plan de estudio de Ingeniería Industrial; a través de la evaluación del diseño que necesita el programa para cumplir con las funciones básicas, se genera y aportan conocimientos de las alternativas de planes agregados para los docentes y estudiantes.

2. Métodos.

La metodología utilizada se basó en ocho pasos para lograr obtener un programa funcional. Era necesario la validación de cada uno de estos pasos para proceder al siguiente. A continuación, se describe cada uno de estos.

A. Capacitación.

En este paso, se tuvieron tutorías de programación, dedicando dos horas diarias durante una semana para estas reuniones. Se comprendió la teoría de la programación, para proceder con las actividades de capacitación, tales como la grabación de macros, cálculos de promedios, máximos y mínimos, creación de bordes, impresiones e inserciones de componentes.

```
Option Explicit
Private Sub cmdProcesar_Click()
    Dim i%, Opera(12) As Integer, Demanda(12) As Integer, Meses%, OperaTExt(12) As Integer 'Se coloca las variables
    Dim Dias(12) As Integer, CMaterial#, CInv#, CVenta#
    Dim CSub#, CCap#, CDes#, HTrab%, HExtras%, HDia%, CTNor#, CTExtra#, CHOciosa#
    Dim MaxSub%, II(12) As Integer, TrabCont%, TrabDesp%
    Dim CT(11) As Double, ProdNormalv5(12) As Integer, CostoTotal#, SumaTotal#, j%, ProdTExtra(12) As Integer, ProdNormal%
    Dim Colu%, SumaDemanda&, SumaDias%, Paso#, Faltante(12) As Integer, Faltante1(12) As Integer, Faltante2(12) As Integer
    Dim Fila%, CapProd%, ProdNoEfectuada%, HOciosas%, Subcontratar(12) As Integer
```

Figura 1. Declaración de variables.

B. Estructuración del software.

Se colocó dentro de tablas los conceptos que integran a un plan agregado y los necesarios para la obtención de datos. De igual forma se agregaron los controles que permiten al usuario ingresar información y elegir el método que desea utilizar. También, se realizó la declaración de variables, asignando un nombre a cada variable a utilizar en el proceso, como se ve en la Fig. 1. Posterior a este paso, el equipo se hizo la siguiente pregunta: ¿La estructuración del software es funcional?; si la respuesta es sí, se continúa al paso 3, si la respuesta es no, se regresa al paso 2 para verificar.

C. Programación de métodos generales.

En el proceso de planificación agregada se tienen en cuenta diversos factores, que han de combinarse. Entre ellos: la producción normal, las horas extra necesarias, posibles retrasos en entregas, etc. Con todo ello se intentan optimizar las necesidades y recursos para la producción, teniendo en cuenta siempre la eficiencia, calidad y costos totales del proceso. En definitiva, el plan agregado trata de establecer la capacidad de las operaciones, para responder a la demanda de los clientes.

Existen dos tipos de estrategias de planificación agregada disponibles:

- Estrategia de nivelación:

Busca mantener un ritmo de producción y fuerza de trabajo en nivel constante. En esta estrategia, la organización requiere de la previsión de la demanda ya sea para aumentar o disminuir la producción en función de reducciones o incrementos en la demanda de los clientes. La ventaja de esta estrategia es que el nivel de mano de obra es constante *(Conexión ESAN. 2016).*

- Estrategia de persecución:

Se trata de encajar, en forma dinámica, la demanda con la producción. Para lograrlo se modifica el nivel de la fuerza de trabajo o la tasa de producción. La ventaja de la estrategia de persecución es que logra bajos niveles de inventario (Salazar, 2019).

Para desarrollar el método general de nivelación se comienza estableciendo la fórmula que determina el número de operarios con los que se trabajará en todos los periodos, ya que el método de nivelación busca mantener un ritmo de producción y fuerza de trabajo en nivel constante. En la ecuación (1) se desarrolla la fórmula utilizada para que el programa calcule este valor.

Operario = (Demanda total de plan de producción + Faltante del periodo anterior – Inventario del periodo anterior) / (Días laborarles de todo el periodo de planeación * Horas de trabajo en el día * capacidad de trabajo del Operario en horas) …… (1)

```
If Opera(i) >= Opera(i - 1) Then
    TrabCont = Opera(i) - Opera(i - 1)
    Cells(Fila + 5, Colu) = TrabCont
    CT(1) = TrabCont * CCap
    Cells(Fila + 6, Colu) = CT(1)
Else
    TrabDesp = Opera(i - 1) - Opera(i)
    Cells(Fila + 7, Colu) = TrabDesp
    CT(2) = TrabDesp * CDes
    Cells(Fila + 8, Colu) = CT(2)
End If
```

Figura 2. Programación de número de operarios.

El método de persecución permite modificar el número de operarios de cada periodo, cuando sea necesario, a manera de optimizar la producción (Vergara, 2006). En la ecuación (2) se encuentra la fórmula utilizada para este método.

Operario = (Demanda de un periodo + Faltante del periodo anterior – Inventario del periodo anterior) / (Días laborarles del periodo * Horas de trabajo en el día * capacidad de trabajo del Operario en horas) ……. (2)

Ahora se debe identificar si existirán despidos o contrataciones; esto aplica para ambos métodos. Si el número de operarios necesarios es mayor al número de operarios disponibles entonces se realizará la contratación de los operarios faltantes, en caso contrario se realizará el despido de los operarios excedentes; se calculan los costos correspondientes. En la Fig. 2 se encuentran los códigos utilizados para cada caso.

3. Desarrollo.

D. Programación de métodos específicos.

Como se mencionó anteriormente, para la planeación agregada se toman en cuenta diferentes factores que han de combinarse o separarse según las necesidades particulares del usuario.

Los factores determinísticos identificados para el programa desarrollado fueron: inventario, faltante, subcontratación, tiempo extra y pedidos pendientes.

Con base en esto, se establecieron los métodos específicos siguientes:

- Persecución con inventario.
- Nivelación sin faltantes recurriendo a tiempo extra.
- Nivelación sin faltantes recurriendo a subcontratación.

A partir de la programación "Método de persecución" se dio inicio al método especifico "Persecución con inventario". Se agregó el cálculo de la producción normal. Para ello basta medir cuánto tiempo se gasta para producir determinado ítem y multiplicar por la disponibilidad en un día entero. Considerando también el cálculo de costo de producción normal, CT(4), obtenido de la multiplicación de la producción normal por el costo por el material.

Posteriormente, se agregó el cálculo del inventario sumando la producción normal al inventario anterior menos la demanda pronosticada para el periodo actual menos el faltante del periodo anterior. Para obtener el costo de inventario, CT(5), se multiplica el resultado del inventario por el costo por mantener inventario. Véase la Fig. 3.

```
II(i) = ProdNormal + II(i - 1) - Demanda(i) - Faltante(i - 1)
CT(5) = II(i) * CInv
Cells(Fila + 15, Colu) = II(i)
Cells(Fila + 16, Colu) = CT(5)
```

Figura 3. Programación de inventarios.

Después de esto se calcula el costo del trabajador en tiempo normal, CT(8). El cálculo es resultado del producto del costo de la producción normal por el número de operarios por las horas trabajadas al día por los días trabajados.

Se realiza la suma de todos los costos para generar el costo total por el periodo de producción. Finalmente, se calcula la suma de todos los periodos, generando el costo final de producción.

A partir de la programación "Método de nivelación" se dio inicio al método especifico "Nivelación sin faltantes recurriendo a tiempo extra". En este método se utilizan dos tipos de producciones (en tiempo normal y en tiempo extra) y tres costos de materiales (en tiempo normal, en tiempo extra y material total). Se obtiene el cálculo de la producción normal y el cálculo de costo de producción normal, CT(10), obtenido de la multiplicación de la producción normal por el costo por el material en tiempo normal.

Posteriormente, se procedió a calcular el faltante 1. Si el resultado es mayor a cero, se imprime el resultado; también se agrega el cálculo de los operarios en tiempo extra. En la Fig. 4 se observa la programación de esta actividad.

Si los operarios en tiempo extra son mayores a los operarios en tiempo normal, se imprimen los mismos operarios en tiempo normal; si son menores, se imprimen los operarios en tiempo extra.

Se agrega el cálculo del costo por trabajador en tiempo extra, CT(3), la producción en tiempo extra y se imprimen estos cálculos.

Para calcular si aún existe faltante, posterior al denominado faltante 1, se procede a calcular el faltante final y su costo, CT(7).

Después, se agregó el cálculo del inventario. Para obtener el costo de inventario se multiplica el resultado del inventario por el costo por mantener inventario. Para finalizar este método, se calculan todos los costos de producción en tiempo extra.

A partir de la programación "Método de nivelación" se dio inicio al método especifico "Nivelación sin faltantes recurriendo a subcontratación". Se obtiene el cálculo de la producción normal y el cálculo de costo de producción normal, CT(10), utilizando los mismos códigos del método de nivelación sin faltantes recurriendo a tiempo extra.

En este caso, al no utilizar tiempo extra, se recurre a la subcontratación y se calcula el costo, CT(6), en donde si el faltante 1 es mayor a la máxima subcontratación, se imprime la misma máxima subcontratación; si es menor, se imprime el faltante 1.

Se imprimen los costos por subcontratar en caso de realizar esta acción. De lo contrario, se imprime cero en subcontrataciones y en costo por subcontratar, CT(6).

```
Faltante1(i) = Demanda(i) + Faltante(i - 1) - ProdNormalv5(i) - II(i - 1)
If Faltante1(i) > 0 Then
  Cells(Fila + 10, Colu) = Faltante1(i)
  If Faltante1(i) > 0 Then
    OperaTExt(i) = Faltante1(i) / (HDia / HTrab)
```

Figura 4. Programación de operarios en tiempo extra.

```
Option Explicit
Private Sub cmdProcesar_Click()
    Dim i%, Opera(100) As Integer, Demanda(100) As Integer, Periodos%, OperaTExt(100) As Integer 'Se coloca las variables
    Dim Dias(100) As Integer, CMaterial#, CInv#, CVenta#
    Dim CSub#, CCap#, CDes#, HTrab%, HExtras%, HDia%, CTNor#, CTExtra#, CHOciosa#
    Dim MaxSub%, II(100) As Integer, TrabCont%, TrabDesp%
    Dim CT(11) As Double, ProdNormalv5(100) As Integer, CostoTotal#, SumaTotal#, j%, ProdTExtra(100) As Integer, ProdNormal%
    Dim Colu%, SumaDemanda&, SumaDias%, Paso#, Faltante(100) As Integer, Faltante1(100) As Integer, Faltante2(100) As Integer
    Dim Fila%, CapProd%, ProdNoEfectuada%, HOciosas%, Subcontratar(100) As Integer
```

Figura 5. Modificación de variables.

E. Depuración del código del programa.

Para confirmar que el software funciona correctamente, se hizo una revisión de todos los códigos realizados, considerando posibles modificaciones, mejoras o eliminaciones,

Entre las correcciones que se realizaron se encuentran cambios de variables, intercambio o agregación de filas en la matriz de resultados, y, por lo tanto, modificaciones en los códigos que referencian la matriz.

La variable "Meses" se modificó por "Periodos" debido a que el usuario no necesariamente usará meses como datos de entrada; pueden ser días, semanas o incluso años. Debido al cambio anterior, se modificaron todas las variables declaradas como arreglos, cambiando el número 12, que representaba los meses de un año, por 100, eligiéndolo como un número grande para cubrir los periodos que desee el usuario; este cambio de observa en la Fig. 5.

Al llegar al método de nivelación sin faltantes recurriendo a tiempo extra, el equipo se percató de que habría que modificar la matriz de resultados a causa de los costos de material. En el inicio del desarrollo del programa, se colocó únicamente el costo total del material; en el método de nivelación sin faltantes recurriendo a tiempo extra, se menciona

que en este método se utilizan dos tipos de producciones (en tiempo normal y en tiempo extra) y tres costos de materiales (en tiempo normal, en tiempo extra y material total), por lo que se agregaron estos a la matriz de resultados.

F. Diseño visual.

En este punto, posterior a las correcciones, se considera que el software ya es funcional y realiza los cálculos esperados de la forma y en el momento adecuado. Sin embargo, aún no se tiene una presencia visual ideal, lo que podría ocasionar que el usuario no entienda la forma en que se debe de usar el programa para que este realice los cálculos para cada caso en particular.

Por lo anterior se procedió a, principalmente, darles orden visual a los elementos presentados en el programa. En la Fig. 6 se presenta la apariencia general final del programa.

Número de periodos	6	¿Desea utilizar otro método? / Volver a Inicio
Método actual	Persecución con inventario	

Preparar captura de datos

Capturar los datos en las celdas color verde y dar clic en Procesar. — Procesar

Concepto	Periodo 1	2	3	4	5	6
Pronóstico	1800	1500	1100	900	1100	1600
Días	22	19	21	21	22	20
Número de Trabajadores	40	50	32	27	31	50
Contrato	0	10			4	19
$ Contrato	$0	$2,000			$800	$3,800
Despido			18	5		
$ Despido			$4,500	$1,250		
Producción normal	1408	1520	1076	908	1092	1600
$ Material en tiempo normal						
Faltante después de producción en tiempo normal						
Trabajador Horas Extras						
Producción en tiempo extra						
$ Trabajador en tiempo extra						
$ Material en tiempo extra						
$ Material total	$140,800	$152,000	$107,600	$90,800	$109,200	$160,000
Faltante después de producción en tiempo extra						
Subcontratación						
$ Subcontratación						
Faltante (Pedidos por cubrir)						
$ Faltante						
Inventario	8	28	4	12	4	4
$ Inventario	$12	$42	$6	$18	$6	$6
$ Trabajador en tiempo normal	$28,160	$30,400	$21,504	$18,144	$21,824	$32,000
Producción no efectuada						
Hora ociosa						
$ Hora ociosa						
TOTAL	$168,972	$184,442	$133,610	$110,212	$131,830	$195,806

SUMA TOTAL	**$924,872**

Figura 6. Apariencia general del programa (Interface).

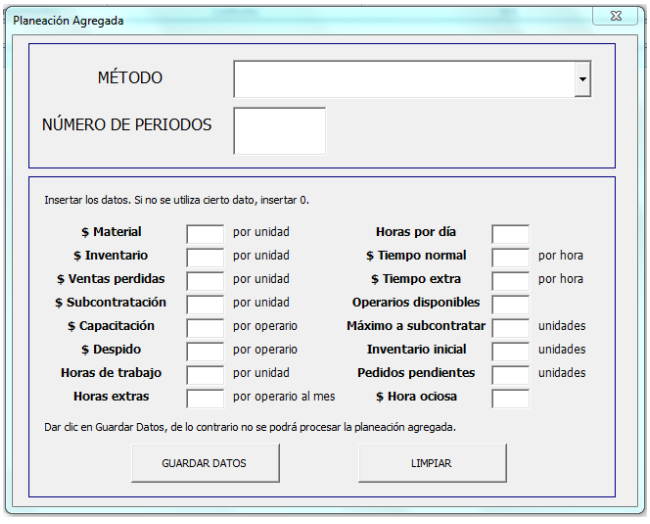


Figura 7. Formulario de inicio (Interface).

Se agregaron botones de inicio y formularios. Para crear el formulario se usó la herramienta UserForm. Esto permite agregar controles a una ventana e ir modificando sus propiedades; con estas propiedades, se coloca un nombre a cada control, permitiendo alguna futura referencia. El formulario de la Fig. 7 es el primero que ve el usuario.

G. Validación preliminar.

La validación de software es un proceso que demuestra a partir de pruebas o documentos que el programa cumple con las funciones para las cuales fue diseñado, de acuerdo con las especificaciones de los requisitos del usuario, y con la garantía de seguridad y confiabilidad de la información.

Se decidió realizar una validación preliminar, la cual tiene como objetivo verificar que el programa realice todas las funciones básicas relacionadas con la elaboración de planes agregados (y sus distintos métodos) de manera correcta.

La manera más eficiente para llevar a cabo esta validación fue comparando con una plantilla de Excel con más de cincuenta ejercicios resueltos proporcionada por el asesor de este proyecto en la materia Administración de Operaciones, mismos que son utilizados para el proceso de enseñanza – aprendizaje en el curso mencionado

H. Operación del programa.

Para interpretar y desenvolver el programa, la manera en la que la didáctica del diseño se desarrolla, alcanza una serie de pasos secuenciales metódicamente analizados.

Principalmente, al abrir el programa se debe dar clic al botón “Iniciar planeación agregada”, en donde posteriormente se va a abrir una ventana donde es necesario incluir el método a seguir, así como los datos del ejercicio; en dado caso no sea necesario utilizar algún dato en particular, se debe insertar el valor 0 en la casilla correspondiente.

Posteriormente, se debe dar clic al botón “Guardar datos”, para que de esta manera sea redirigido a la matriz de resultados. En ese momento, el programa muestra el método anteriormente seleccionado y el número de periodos, permaneciendo en espera de la preparación de captura de los últimos datos para poder desarrollar el plan agregado en su totalidad. Debe dar clic al botón “Preparar captura de datos”, en donde el programa crea la matriz a la dimensión correcta según los periodos previamente elegidos y, resalta en color verde, donde se deben agregar los valores del pronóstico y los días por cada periodo. Finalmente, para completar el proceso en el programa, se debe dar clic al botón “Procesar”, el cual se encarga de que el programa desarrolle e interprete los resultados correspondientes del plan agregado.

En dado caso, el usuario quiera corregir algún valor de los conceptos pronóstico o días, el usuario puede cambiar sus datos directamente en las casillas correspondientes de pronóstico y días; o, si el usuario quiere corregir estos valores y de igual manera eliminar y limpiar todos los datos, debe dar clic nuevamente al botón “Preparar captura de datos”, dando opción a agregar los nuevos datos deseados.

Si, por otra parte, el usuario se decide por utilizar otro método, en la misma sección debe dar clic al botón “¿Desea utilizar otro método?”, y posteriormente elegir el método deseado. Después de esto, únicamente será necesario dar clic al botón “Procesar”, para obtener los resultados del ejercicio

Conclusiones.

De esta forma, se logró desarrollar al cien por ciento un software didáctico que resuelve las funciones básicas para evaluar alternativas de planes agregados con ayuda del programador Visual Basic en Excel. Este presenta una entrada amigable, lo cual permitirá que su manejo sea sencillo y comprensible para los usuarios, buscando fomentar la mejora del proceso enseñanza-aprendizaje del tema.

El programa desarrollado para la resolución de planes agregados es una herramienta útil y funcional, ya que cumple con las expectativas de dar solución a problemas planteados en la materia Administración de las Operaciones II del tema “Planes Agregados”.

El programa es susceptible a mejoras referentes a su aplicación, programación o diseño bajo otras estrategias para hacer planes de producción o bien formular el modelo óptimo. Estas aportaciones podrán ser realizadas por alumnos y docentes de la institución; en caso de ser alumnos, deben haber cursado la materia de “Algoritmos y Lenguaje de Programación” o afín, o contar con una base de conocimientos sólida en programación con Visual Basic de Excel.

Créditos.

Los autores agradecen al Tecnológico Nacional de México campus Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez por el apoyo del proyecto a través de la convocatoria de Investigación del 2021 al 2023.

Referencias bibliográficas.

Conexión ESAN. (09 de marzo de 2016). ¿De qué hablamos cuando nos referimos al planeamiento agregado? Obtenido de www.esan.edu: https://www.esan.edu.pe/apuntes-empresariales/2016/03/de-que-hablamos-cuando-nos-referimos-al-planeamiento-agregado/.

Escobar, E., Velázquez, S., Aldape, A., & García, J. (03 de marzo de 2012). Modelo para el Desarrollo de Planes de Producción Agregada para la Industria Refresquera. Obtenido de Instituto Tecnológico de Cd. Juárez: https://www.academia.edu/8862379/Modelo_para_el_Desarrollo_de_Planes_de_Producci%C3%B3n_Agregada_para_la_Industria_Refresquera.

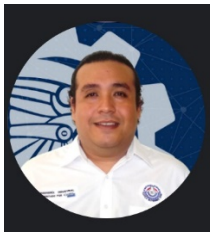
Salazar, B. (16 de junio de 2019). Planeación agregada. Obtenido de Ingeniería Industrial: https://www.ingenieriaindustrialonline.com/produccion/planeacion-agregada/.

Vergara, R. (29 de agosto de 2006). Desarrollo de los Procesos de Planeación y Programación de la Producción en el Sector Manufacturero de la PYME en Bogotá. Obtenido de Desarrollo Sostenible y Tecnología: https://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/24886/PROYECTO%20DE%20GRADO.pdf?sequence=1.

Información de los autores.

Carlos Venturino De Coss Pérez, Profesión Ingeniero Industrial en 2003 del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez y es graduado como Maestro en Ciencias en Ingeniería Industrial en 2005 por el Instituto Tecnológico de Querétaro. Actualmente Docente desde 2008 en el programa educativo de Ingeniería Industrial en el Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez y adscrito al Departamento de Ing. Industrial. Cuenta con Perfil PRODEP.

Edali Ramos Mijangos, Profesión Ingeniero Industrial en junio 2004 del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez y es graduado como Maestra en Administración pública en 2023 por el Instituto de Estudios Superiores de Chiapas. Actualmente Docente desde 2008 en el programa educativo de Ingeniería Industrial en el Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez y adscrito al Departamento de Ing. Industrial. Actualmente estudiando el Doctorado en Administración de Negocios en el Colegio de Formación Educativa TENAM, S.C.



Roberto Antonio Meza Meneses, Profesión Ingeniero Industrial en 2004 del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez. Graduado como Maestro en Ciencias en Ingeniería Industrial en 2008 por el Instituto Tecnológico de Orizaba. Graduado como Doctor en Administración en 2013 por la Universidad del Sur. Actualmente docente desde 2009 en el programa educativo de Ingeniería Industrial del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez y adscrito al Departamento de Ingeniería Industrial.

Interfaz para análisis y procesamiento de señales EMG (Electromiográficas) utilizando MATLAB.

Interface for analysis and processing of EMG (Electromyographic) signals using MATLAB.

Luis Manuel López Jiménez (1).
Estudiante de la Facultad de Sistemas Biológicos e Innovación Tecnológica / Universidad Autónoma del Estado de Oaxaca.
lslopez.alu@uabjo.mx.

Ximena Denisse Pinedo Ramírez* (2). Estudiante de la Facultad de Sistemas Biológicos e Innovación Tecnológica / Universidad Autónoma del Estado de Oaxaca. denissepinedlo21@gmail.com.

*corresponding author.

Artículo recibido en septiembre 03, 2024; aceptado en octubre 25, 2024.

Resumen.

En los últimos años, los avances en bioingeniería han permitido resolver problemas que afectan al ser humano desde hace mucho tiempo, como la detección de señales corporales como EMG, EEG y ECG. Estas señales se utilizan en diversas áreas, como el análisis de emociones y el control de prótesis robóticas. El descubrimiento y aprovechamiento de estas señales ha mejorado la calidad de vida, permitiendo entender mejor el funcionamiento del cuerpo en distintas situaciones. En el caso de las señales EMG, se encargan de enviar información sobre la actividad muscular, registrando los impulsos eléctricos que genera el cuerpo al usar un músculo. Estas señales son de gran importancia en campos como el reconocimiento de patrones, control de dispositivos, rehabilitación de extremidades y prótesis biomédicas. Además, su obtención es sencilla mediante métodos no invasivos, lo que elimina la necesidad de perforar la piel. Actualmente, existen sensores que permiten obtener estas señales tanto por métodos no invasivos como invasivos. Los sensores de electrodos son ejemplos de métodos no invasivos. Este trabajo presenta una interfaz para el análisis y procesamiento de señales electromiográficas, las cuales son obtenidas mediante un sensor no invasivo conectado a Arduino. La interfaz, desarrollada en Matlab, permite analizar los datos obtenidos utilizando diversas fórmulas, facilitando el estudio y la interpretación de las señales EMG para aplicaciones técnicas.

Palabras claves: Análisis, EMG, Matlab, sensores.

Abstract.

In recent years, advances in bioengineering have enabled the resolution of problems that have affected humans for a long time, such as the detection of bodily signals like EMG, EEG, and ECG. These signals are used in various fields, such as emotion analysis and the control of robotic prostheses. The discovery and utilization of these signals have improved the quality of life, allowing a better understanding of how the body functions. In the case of EMG signals, they are responsible for sending information about muscle activity, recording the electrical impulses that the body generates when using a muscle. These signals are of great importance in fields such as pattern recognition, device control, limb rehabilitation and biomedical prostheses. In addition, they are easily obtained using non-invasive methods, which eliminates the need to pierce the skin. Currently, there are sensors available to obtain these signals through both non-invasive and invasive methods. Electrode sensors are examples of non-invasive methods. This paper

presents an interface for analyzing and processing electromyographic signals, which are obtained using a non-invasive sensor connected to Arduino. The interface, developed in Matlab, allows for the analysis of the data using various formulas, facilitating the study and interpretation of EMG signals for technical applications.

Keywords: Analysis, EMG, Matlab, sensors.

1. Introducción.

La interacción entre el humano y las máquinas, cada vez se va mejorando, en ciencias como la medicina, la electrónica ayuda a obtener mejores resultados respondiendo en forma oportuna a situaciones donde se requiere controles críticos de forma automática (Zalva, 2018). La electromiografía es un conjunto de procedimientos en los cuales el fin es determinar enfermedades neuromusculares en personas, para lo cual es necesario tomar, almacenar y procesar medidas en la forma de señales eléctricas de la actividad muscular del individuo (Zalva, 2017).

El estudio de la electromiografía se remonta a mediados del siglo XVII, cuando el doctor y científico Francisco Redi, demostró la existencia de un musculo capaz de generar electricidad en el pez raya. Investigación a partir de la cual permitió el posterior descubrimiento de señales eléctricas en el tejido humano (Ávila, 2019). En la actualidad la electromiografía se emplea con mayor frecuencia en procesos de rehabilitación y fisioterapia debido a la información que esta otorga sobre el funcionamiento del estado fisiológico de los músculos analizados (Quizhpe, 2016).

Se ha dado gran importancia al desarrollo de dispositivos controlados mediante señales EMG, diseñados especialmente para la ayuda a personas con alguna discapacidad física, entrenamiento muscular o para la ejecución de tareas sin contacto directo por parte del usuario[Caluguillin, 2019], la señal electromiográfica del músculo activo es una de las señales más eficaces para el control de las prótesis de las extremidades superiores con alimentación externa (García, 2014), las posibilidades de aplicación y el rendimiento de la electromiografía han evolucionado paralelamente al conocimiento de las propiedades de la energía eléctrica y al desarrollo de la tecnología eléctrica y electrónica (Gila, 2009), Actualmente la tecnología ha permitido el desarrollo de dispositivos y equipos inteligentes, mejorando en cierta forma el modelo de control, pasando por sistemas de control manual y electrónico, a implementar sistemas inteligentes mediante un controlador inmerso en las personas (Figueroa, 2016).

En el presente trabajo, se muestra un sistema para el adquisición, análisis y procesamiento de señales EMG, para identificar lo diferentes movimientos realizados por el brazo humano, como lo son flexión, extensión o relajación, realizado por medio de la aplicación MATLAB, para la configuración del programa encargado de realizar las ecuaciones necesarias para dicho análisis. El sistema lee las señales bioeléctricas del musculo del antebrazo con el fin de analizar los diferentes estados de este y posteriormente mostrarlos por medio de una gráfica en la interfaz, realizada con herramientas de MATLAB.

El presente trabajo se enfoca en la programación de la interfaz de Matlab, de las distintas fórmulas las cuales permiten el análisis y procesamiento de las señales electromiografícas obtenidas, esto con el fin de presentar una alternativa más intuitiva al observar por medio de graficas el comportamiento de los músculos al realizar distintas acciones, buscando una mayor facilidad para su aprovechamiento en aplicaciones que así lo requieran.

2. Métodos.

El análisis de señales electromiografícas ayuda a los investigadores a observar de qué manera se comporta el músculo en el cuerpo de una persona de una manera constante y no invasiva, al mismo tiempo que de acuerdo con el método de procesamiento dichas señales pueden ser aprovechadas para su uso en diversas aplicaciones.

La interfaz presentada realiza una obtención de datos eléctricos musculares, es decir, señales electromiografícas mediante electrodos conectados al sensor AD8232, los cuales detectan los impulsos eléctricos del musculo en sus distintos estados de relajación y contracción. Posteriormente las mediciones obtenidas, son enviadas al

microcontrolador Arduino UNO, el cual por medio del puerto COM6 de la computadora los envía a MATLAB, donde son analizadas, por medio de distintas ecuaciones, lo que permite observar mediante gráficas el comportamiento del músculo en el tiempo de recolección, siendo esta conexión entre las piezas el arreglo experimental utilizado, observable en la figura 1.

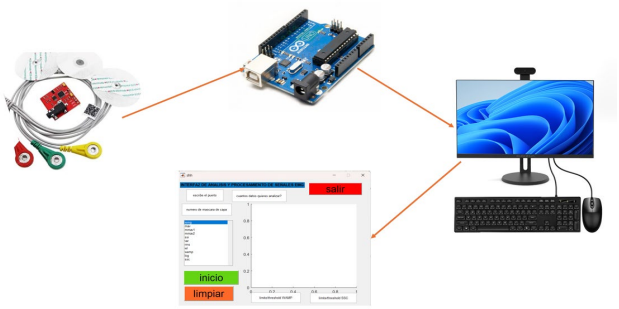


Figura 1. Arreglo experimental.

Las ecuaciones utilizadas son: Integrated EMG (IEMG) (ecuación 1), Mean Absolute Value (MAV) (ecuación 2), Modified Mean Absolute Value 1 (MMAV1) (ecuación 3), Modified Mean Absolute Value 2 (MMAV2) (ecuación 4), Simple Square Integral (SSI) (ecuación 5), Variance of EMG (VAR) (ecuación 6), Root Mean Square (RMS) (ecuación 7), Waveform Length (WL) (ecuación 8), Wilson Amplitude (WAMP) (ecuación 9) Log Detector (LOG) (ecuación 10) y Slope Sign Change (SSC) (ecuación 11).

$$\boldsymbol{IEMG} = \sum_{n=1}^{N} |\boldsymbol{x_n}| \quad \text{…….. Ecuación 1.}$$

Donde *N* denota la longitud de la señal y X representa la señal EMG en un segmento *n*.

$$\boldsymbol{MAV} = \frac{1}{N}\sum_{n=1}^{N} |\boldsymbol{x_n}| \quad \text{…….. Ecuación 2.}$$

$$\boldsymbol{MMAV1} = \frac{1}{N}\sum_{n=1}^{N} \boldsymbol{W_n}|\boldsymbol{x_n}| \quad \text{…….. Ecuación 3.}$$

Donde $\boldsymbol{W_n}$ tiene un valor de 1 si 0.25N<n<0.75N, con un valor de 0.5 en caso contrario.

$$\boldsymbol{MMAV2} = \frac{1}{N}\sum_{n=1}^{N} \boldsymbol{W_n}|\boldsymbol{x_n}| \quad \text{…….. Ecuación 4.}$$

Donde $\boldsymbol{W_n}$ tiene un valor de 1 si 0.25N<n<0.75N, un valor de $\frac{4n}{n}$ si n<0.25N y $\frac{4(n-N)}{n}$ si 0.75N<n

$$\boldsymbol{SSI} = \sum_{n=1}^{N} |\boldsymbol{x_n}|\text{^}\boldsymbol{2} \quad \text{…….. Ecuación 5.}$$

$$\boldsymbol{VAR} = \frac{1}{N-1}\sum_{n=1}^{N} \boldsymbol{x_n}\text{^}\boldsymbol{2} \quad \text{…….. Ecuación 6.}$$

$$\boldsymbol{RMS} = \sqrt{\frac{1}{N}\sum_{n=1}^{N} \boldsymbol{x_n}\text{^}\boldsymbol{2}} \quad \text{…….. Ecuación 7.}$$

$$\boldsymbol{WL} = \sum_{n=1}^{N} |\boldsymbol{x_{n+1}} - \boldsymbol{x_n}| \quad \text{…….. Ecuación 8.}$$

$$\boldsymbol{WAMP} = \sum_{n=1}^{N} \boldsymbol{f}|\boldsymbol{x_{n+1}} - \boldsymbol{x_n}| \quad \text{…….. Ecuación 9.}$$

Donde f(x)=1 si x> el límite establecido, siendo 0 de lo contrario.

$$\boldsymbol{LOG} = \boldsymbol{e}^{\frac{1}{N}\sum_{n=1}^{N} log|x_n|} \quad \text{…….. Ecuación 10.}$$

$$\boldsymbol{SSC} = \sum_{n=2}^{N} \boldsymbol{f}|(\boldsymbol{x_n} - \boldsymbol{x_{n-1}})(\boldsymbol{x_n} - \boldsymbol{x_{n+1}})| \quad \text{…….. Ecuación 9.}$$

Donde *f(x)=1* si *x>* el límite establecido, siendo 0 de lo contrario.

3. Desarrollo.

Análisis del hardware.

Para armar el receptor de señales se utilizó el microcontrolador Arduino UNO el cual es un microcontrolador basado en el ATmega328P, el cual dispone de 14 pines de entradas/salidas digitales, 6 entradas analógicas, conexión USB, conector de alimentación, así como un botón de reinicio; con facilidad para su alimentación, ya sea por medio de conexión a una computadora por medio de USB, o bien utilizando baterías.

Por parte del sensor, se utilizó el sensor AD8232 el cual esta diseñado para extraer, amplificar y filtrar pequeñas señales biopotenciales en presencia de condiciones ruidosas, como las creadas por el movimiento o la colocación remota de electrodos. Este diseño permite que un convertidor de analógico a digital (ADC) de ultra baja potencia o un microcontrolador integrado adquieran la señal de salida fácilmente, en este caso Arduino.

El sensor AD8232 fue el encargado de obtener las señales provenientes del músculo, en este caso del antebrazo, por medio de electrodos, y luego enviar estas señales a Arduino.

Como se observa en la figura 2 se utilizan 5 pines tanto del sensor, como de Arduino para la conexión entre estos; dichos pines se conectan entre si de la siguiente manera: para la alimentación, el pin de 3.3 v se conectó a la salida de 3.3v del Arduino, en segundo lugar, los GND de ambos (sensor y Arduino), el pin OUTPUT es la salida analógica del sensor por lo que se conectó a una entrada analógica de Arduino, y finalmente los pines LO- y LO+ que se conectan a dos pines digitales del Arduino Uno.

El sensor detecta las señales EMG por medio de electrodos, los cuales dependiendo de la utilidad que se le desee dar se pueden colocar en distintas partes de cuerpo, principalmente en antebrazos, piernas y pecho.

En el presente trabajo, los electrodos encargados del monitoreo de las señales EMG fueron colocados en la zona del antebrazo (figura 2), con el fin de observar la actividad muscular continuamente, para posteriormente analizar cómo cambian las señales recibidas del músculo ante un estado de reposo, movimiento o tensión.

Figura 2. Colocación de electrodos.

Análisis del software.

Para el análisis y procesamiento de las señales obtenidas, se utilizó programación en Matlab y Arduino, esto con el fin de obtener un programa diseñado desde cero, en el cual se contengan diversas fórmulas, en el caso de Arduino, el programa se cargo en el microcontrolador y su única función era la de continuamente recibir la señal enviada desde el sensor, por otra parte el programa de Matlab era la parte principal de la interfaz, pues era el encargado de recibir la señal enviada desde Arduino, preguntar la cantidad total datos se deseaban analizar y cada cuantos realizar dicho análisis, posteriormente realizar los cálculos necesarios y mostrarlos en forma de gráfica.

La interfaz visual, es decir sin funciones agregadas, fue realizada utilizando la herramienta "guide" disponible en Matlab, donde se colocaron botones, grafica, espacios de entrada, lista de métodos de análisis y texto estático con el fin de obtener un funcionamiento más intuitivo al momento de utilizar dicha interfaz para obtener y analizar los datos, una vez terminada, viéndose como en la figura 3, Matlab genera su respectivo código, sobre el cual en cada botón, entrada de texto y grafica se escribió la programación necesaria para su funcionamiento.

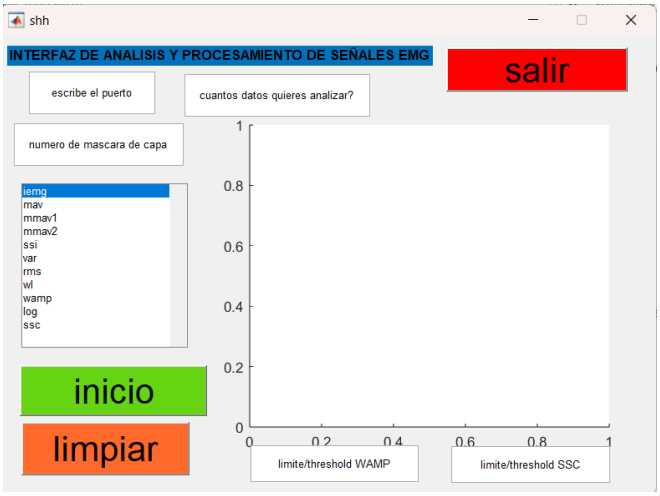


Figura 3. Interfaz realizada utilizando *guide*.

En las entradas de texto se escribe el puerto COM al cual está conectado Arduino UNO, en el siguiente el número de datos total a analizar y finalmente cuantos datos utilizara para realizar el análisis, es decir la máscara de capa, en el programa esto se realizó mediante una obtención de lo escrito mediante una variable de tipo *String*, posteriormente se transformó en una de tipo numérico. esto en el caso del número de datos, así como en la máscara de capa mediante el código 1.

Código 1. Obtención de datos escritos en la interfaz.

```
i=get (hObject, 'String');
global data
data=i;
disp(i);
```

De la misma manera, los limites WAMP y SSC, se obtuvieron utilizando el mismo código, estos fueron utilizados para el análisis de los datos, por medio de las ecuaciones con el mismo nombre/abreviatura.

Para los botones salir, inicio y limpiar se buscó una función de salir de la interfaz, iniciar la recopilación de los datos y eliminar los datos obtenidos hasta el momento para iniciar un nuevo análisis, esto se logró mediante los códigos 2, 3 y 4 respectivamente.

Código 2. Botón de salir.

```
% --- Executes on button press in salir.
function salir_Callback(hObject, eventdata, handles)

close(gcbf);
```

Código 3. Botón de inicio.

```
function inicio_Callback(hObject, eventdata, handles)
 global x
%global puert
%puerto=puert;
 global data
global masc
global dat
global nummasc
s = serial('COM6', 'BaudRate', 9600); % Establecer el puerto serial
fopen(s); % Abrir el puerto serial
% Leer y mostrar los datos de la señal EMG en la ventana de comandos
dat=str2double(data);
disp(dat);
nummasc=str2double(masc);
for i = 1:dat  % Suponiendo que quieres mostrar n muestras
    emgData = str2double(fgetl(s)); % Leer dato de la señal EMG desde Arduino
    %disp(emgData); % Mostrar el dato en la ventana de comandos
    x(i)=emgData;
end
fclose(s); % Cerrar el puerto serial
delete(s); % Eliminar el objeto del puerto serial


fprintf (' %i ', x);
ii = 1:dat
plot(handles.axes1, ii,x);
```

Código 4. Botón de limpiar.

```
% --- Executes on button press in limpiar.
function limpiar_Callback(hObject, eventdata, handles)

plot(0,0);
global x
x=0;
```

Para el análisis de las señales obtenidas, se utilizaron una serie de ecuaciones, presentes en la lista del lado izquierdo de la interfaz, las ecuaciones anteriormente presentadas, fueron integradas al programa utilizando el código 5.

Código 5. Programación de la primera ecuación.

```
function listbox1_Callback(hObject, eventdata, handles)
I=get (hObject, 'value'); %recuperar el valor seleccionado en la listbox
```

```
disp(I);%mostrar en command window
  global nummasc
 global dat
 global x
 global lwamp
 global lssc
if I==1
    n=dat;
 num=x;
%fprintf (' %i ',num);
%calcular las máscaras completas
mit=(nummasc+1)/2;
ii=0;
e=nummasc-1;
for i=mit:(n-(mit-1))
    ii=ii+1;
    e=e+1;
    sum=0;
    for g=ii:e
        sum=sum+num(g);
    end
    vab(i)= abs (sum);
end
%calcular las máscaras inferiores
fin=mit-1;
suma=0;
for y=1:mit-1
    fin=fin+1;
    for z=1:fin
    suma=suma+num(z);
    end
    vab(y)= abs(suma);
    suma=0;
end
%calcular las máscaras superiores
if nummasc==3
    fina=n-2;
else
rest=nummasc-2;
fina=n-rest;
end
sumaa=0;

for y=n-(mit-2):n
    fina=fina+1;
    for t=fina:n
    sumaa=sumaa+num(t);
    end
    vab(y)= abs(sumaa);
    sumaa=0;
end
fprintf ('\n');
fprintf (' %i ',vab);
i=1:n;
plot(handles.axes1, i,vab);
end
```

El código 5, presenta la programación necesaria para realizar la ecuación 1, el cual fue tomado como base, para que por medio de modificaciones fuera utilizado en el resto de las ecuaciones, por ejemplo, para la ecuación 2 se agrego

una multiplicación por $\frac{1}{N}$, como se puede observar en el código 6 o en la ecuación 5, donde se multiplico al cuadrado observable en el código 7.

Código 6. Programación de la segunda ecuación.

```
if I==2
   n=dat;
   num=x;
%calcular las máscaras completas
mit=(nummasc+1)/2;
ii=0;
e=nummasc-1;
for i=mit:(n-(mit-1))
    ii=ii+1;
    e=e+1;
    sum=0;
    for g=ii:e
        sum=sum+num(g);
    end
    vab(i)= abs (sum);

end

fin=mit-1;
suma=0;
for y=1:mit-1
    fin=fin+1;
    for z=1:fin
    suma=suma+num(z);
    end
    vab(y)= abs(suma);
    suma=0;
end
if nummasc==3
    fina=n-2;
else
rest=nummasc-2;
fina=n-rest;
end
sumaa=0;

for y=n-(mit-2):n
    fina=fina+1;
    for t=fina:n
    sumaa=sumaa+num(t);
    end
    vab(y)= abs(sumaa);
    sumaa=0;
end
vabb=vab/n;
fprintf ('\n');
fprintf (' %f ',vabb);
i=1:n;
plot(handles.axes1, i,vabb);
end
```

Código 5. Programación de la quinta ecuación.

```
if I==5
 n=dat;
 rec=x;
%fprintf (' %i ',num);
num=rec.^2;
%calcular las máscaras completas
mit=(nummasc+1)/2;
ii=0;
e=nummasc-1;
for i=mit:(n-(mit-1))
    ii=ii+1;
    e=e+1;
    sum=0;
    for g=ii:e
        sum=sum+num(g);
    end
    vab(i)= abs (sum);

end

%calcular las máscaras inferiores
fin=mit-1;
suma=0;
for y=1:mit-1
    fin=fin+1;
    for z=1:fin
    suma=suma+num(z);
    end
    vab(y)= abs(suma);
    suma=0;
end

%calcular las máscaras superiores
if nummasc==3
    fina=n-2;
else
rest=nummasc-2;
fina=n-rest;
end
sumaa=0;

for y=n-(mit-2):n
    fina=fina+1;
    for t=fina:n
    sumaa=sumaa+num(t);
    end
    vab(y)= abs(sumaa);
    sumaa=0;
end
fprintf ('\n');
fprintf (' %i ',vab);


i=1:n;

plot(handles.axes1, i,vab);
end
```

Resultados.

Una vez terminada la programación de las ecuaciones, así como todas las partes de la interfaz, se procedió con las pruebas en distintas personas, así como en distintas cantidades de datos, esto con el fin de observar una correcta adquisición y recepción de las señales.

Se llevaron a cabo pruebas en distintas personas, así como un distinto numero de datos, en los cuales la recepción de estos por medio del sensor, y su posterior análisis por medio del programa, fue satisfactoria en el 90% de los casos, resultados los cuales se presentan por medio de la tabla 1.

Tabla 1. Resultados obtenidos.

Número	Edad	No. De datos	Recepción
1	20	50	Satisfactoria
2	22	100	Satisfactoria
3	21	100	Aceptable
4	22	150	Satisfactoria
5	18	50	Satisfactoria
6	45	200	Satisfactoria
7	35	200	Satisfactoria
8	19	200	Satisfactoria
9	89	80	Deficiente
10	65	100	Aceptable

Se analizaron hasta 200 datos diferentes, donde fue posible observar cómo después de un tiempo realizando cierta acción, en el caso de la figura 4 tensar el musculo, se presenta un estado de fatiga, al mismo tiempo que fue posible observar el cambio de un estado de reposo, a un estado de tensión en el músculo.

Figura 4. Fatiga en el músculo.

En la gráfica se pueden observar 3 picos, momento en el cual se llevo a cabo la tensión del músculo, sin embargo, el segundo y tercer pico son significativamente mas pequeños que el primero, esto debido al tiempo que se mantuvo tenso el músculo lo que causo fatiga y por lo tanto una menor tensión al repetir el movimiento.

En la figura 5, se puede observar el análisis realizado a 200 datos mediante la ecuación 8, mientras que en la figura 6, se puede observar los mismos 200 datos, sin embargo, esta vez analizados mediante la ecuación 6. Esta diferencia presentada en ambas ecuaciones con los mismos datos nos permite utilizarlos para funciones diferentes entre sí.

Figura 5. Análisis con WL.

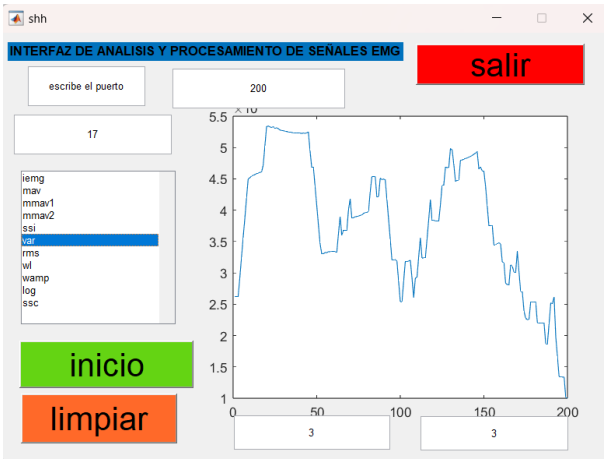


Figura 6. Análisis con VAR.

En el caso del análisis de la figura 6, por medio de los picos tan pronunciados, es posible utilizarlos para la realización de un controlador de tipo todo o nada, para una pinza, pues al colocar un limite superior e inferior, los picos y valles donde se presenta tensión y relajación permitirían abrir y cerrar dicha pinza respectivamente.

Por otro lado, el análisis de la figura 7, permitiría una aplicación en prótesis, pues al ser un movimiento más limpio, y estable, brinda una mayor variedad en los datos obtenidos, lo cual, a su vez, permite una configuración de prótesis más avanzada, dando pie a una diferencia en las tensiones aplicadas por esta mismas, permitiendo una aplicación de fuerza variable de acuerdo con la situación requerida.

Conclusiones.

Con la interfaz de análisis y procesamiento de señales EMG se permite observar el comportamiento de los músculos en sus distintos estados y limpiar la señal de acuerdo con las necesidades presentadas al momento de la obtención, facilita el análisis de estas señales para su uso en diversos dispositivos, como lo son brazos robóticos ya que muestra de una forma más interactiva y fácil de comprender las diversas fórmulas utilizadas en el análisis de este tipo de señales.

Con el trabajo presentado es posible facilitar el entendimiento de las señales recibidas, mediante la graficacion de las mismas, y de esta forma hacer mas intuitivo su uso. Los resultados obtenidos, demuestran la posibilidad de un análisis de varios datos a la vez, así como su análisis mediante las ecuaciones aquí presentadas sin la necesidad de tomar datos nuevos, permitiendo un análisis múltiple de un mismo conjunto de datos, al mismo tiempo que de ser necesario permite la obtención de un nuevo conjunto de datos sin la necesidad de reiniciar el programa.

Las pruebas realizadas en distintas personas, así como en un distinto número de datos, fue satisfactoria en el 90% de los casos, siendo la excepción de esto, en cuna persona de edad avanzada, donde el sensor no fue capaz de detectar el 100% de los datos esperados.

Se esta trabajando en el control de dirección de un robot omnidireccional por medio de las señales recibidas, lo cual permite un control a distancia, se espera la mejora de la recepción de los datos y su aplicación final como controlador.

Créditos.

Los autores agradecen a la Facultad de Sistemas Biológicos e Innovación Tecnológica de la Universidad Autónoma Benito Juárez de Oaxaca por el apoyo al momento de la adquisición de conocimientos necesarios para la realización del presente proyecto.

Referencias bibliográficas.

Ávila, J., Fajardo F. (2019). *Análisis ente señales electromiográficas en los músculos cervicales y el ángulo de inclinación de la cabeza en niños con PCI entre 5 y 10 años aplicada a terapia cervical* (Tesis de licenciatura). escuela superior politécnica de chimborazo, Ecuador.

Caluguillin, H. (2019). *análisis de características de señales electromiográficas para la determinación de movimientos de una mano*. (Tesis de Licenciatura). universidad técnica del Norte, Ecuador

Figueroa, C. (2016). *Sistema de adquisición de señales EMG para la detección de fatiga muscular, i*B Ingeniería Biomédica, vol. 37, pp. 17-27

García, J., Enrique, L. (2014). a*dquisición y procesamiento de señales emg para controlar movimiento de un brazo hidraulico*. Mundo FESC, 4(7), 49–60.

Gila, L., Malanda, A., Rodriguez, I., Rodriguez, J., & Navallas, J. (2009). *Métodos de procesamiento y análisis de señales electromiográficas*. Suplemento, Vol. 32, 27–43.

Quizhpe, C.., Ortiz, F. (2016). *Valoración del movimiento en el área cervical mediante el análisis de señales electromiografícas en pacientes con paralisis*. Índice. Revista de estadística y sociedad, 68 (9–11). ISSN: 1697-2325.*parálisis cerebral infantil*. (PCI), Cuenca.

Zalva, L. (2017). *Desarrollo de un sistema de adquisición y procesamiento de señales electromiografícas con Matlab para la identificación de los movimientos extensión, flexión, pronación y supinación de un brazo humano*. (Tesis de maestria). escuela superior politécnica de Chimborazo, Ecuador

Zalva, L., Vera, J., Nuñes, C., & Guaño, A. (2018). *Análisis e identificación de los movimientos de un brazo humano utilizando un sistema de adquisición y procesamiento de señales electromiográficas*. Espirales revista multidisciplinaria de investigación, ISSN: 2550-6862.

Información de los autores.

Luis Manuel López Jiménez, Luis nació el 24 de noviembre del 2002 en Oaxaca de Juárez, Oaxaca, Mex.. Estudiante de octavo semestre de la licenciatura en ingeniería en innovación tecnológica por la Universidad Autónoma Benito Juárez de Oaxaca. Apasionado por la investigación y la obtención de nuevos conocimientos, especialmente en el área de usar la tecnología en conjunto con el cuerpo humano. Anteriormente ha trabajado en proyectos en el laboratorio de Robótica de la Universidad de Colima, trabajo que fue presentado en el congreso internacional del programa Delfín en Puerto Vallarta y publicado en un capítulo del libro "Kaizen y mecatrónica"; y participado en una estancia de investigación en el laboratorio de microelectrónica del Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica (CONAHCYT) donde trabajo en el uso de memristores. Le emociona compartir experiencias y habilidades que adquirió a lo largo de su carrera.

Ximena Denisse Pinelo Ramírez, Ximena nació el 21 de noviembre del 2005 en Oaxaca de Juárez, Oaxaca, Mex., Es estudiante del tercer semestre de la Licenciatura en Ingeniería e Innovación Tecnológica por la Universidad Autónoma Benito Juárez de Oaxaca. A raíz de su participación en el programa Mujeres lideres en STEAM, donde colaboró como embajadora, se dedicó a la divulgación científica, Presento ponencias acerca de la biotecnología, tras lo cual decidió formalizar su interés estudiando la licenciatura antes mencionada. Durante su época estudiando ha presentado platicas de robótica e inteligencia artificial, así como talleres de ciencia y tecnología a estudiantes de educación básica y media superior, demostrando entusiasmó por compartir lo importante que es el desarrollo tecnológico para el futuro del mundo.

Herramienta web para la obtención de datos relacionados con trastornos mentales en jóvenes universitarios.

Web tool to obtain data related to mental disorders in young university students.

Erick González Pérez (1).
Estudiante Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez.
erickgp51@gmail.com.

Rosy Ilda Basave Torres* (2). I. T. de Tuxtla Gutiérrez, rosy.bt@tuxtla.tecnm.mx.

Francisco de Jesús Suarez Ruiz (3). I. T. de Tuxtla Gutiérrez, francisco.sr@tuxtla.tecnm.mx.

Octavio Ariosto Ríos Tercero (4). I. T. de Tuxtla Gutiérrez, octavio.rt@tuxtla.tecnm.mx.

Jesús Carlos Sánchez Guzmán (5). I. T. de Tuxtla Gutiérrez, jesus.sg@tuxtla.tecnm.mx.

Imelda Valles López (6). I. T. de Tuxtla Gutiérrez, imevalles@yahoo.com.mx.

*corresponding author.

Artículo recibido en diciembre 11, 2023; aceptado en diciembre 30, 2023.

Resumen.

El proyecto consiste en el diseño e implementación de una herramienta web que integra un conjunto de cuestionarios para obtener información relevante en la identificación de trastornos mentales en estudiantes universitarios. Permite medir trastornos por consumo de alcoholismo, depresión, desorden de personalidad, consumo de drogas, desorden alimenticio, nivel de desesperanza, ansiedad, estrés y la afectación que estos conllevan en su desempeño académico. La herramienta web proporciona una API que permite entregar los datos a algoritmos de inteligencia artificial para su procesamiento y análisis. La herramienta web se encuentra disponible en el sitio https://www.tecnmtest.com/.

Palabras claves: Aprendizaje, desarrollo web, identificación de trastornos mentales.

Abstract.

This Project consist on a design and implementation of a web tool that includes a group of questions to get relevant information to identify mental issues in colleges students, this projet allows to mesure alcoholism issues, depression, personality disorder, drugs consumtion, feeding disorder, ansiety and stress that affect the academic performance. This web tool prupose an API that allows to give data and artificial inteligent algorithm and analysis. Web tool is available in website: https://www.tecnmtest.com/.

Keywords: Development web, identify of mental disorders, learning.

1. Introducción.

Los trastornos emocionales implican formas del pensamiento y comportamientos que perturban el equilibrio psicológico y el funcionamiento de una persona. Barlow et al (2016) expresaron que los trastornos emocionales (TE) se hallan entre los problemas de salud mental más frecuente, con una incidencia vital cerca del 25% y altos índices de comorbilidad. Es por ello, que estos trastornos se deben tratar adecuadamente, ya que pueden afectando de manera notable aspectos como el trabajo, la educación y la vida social, y perturbar significativamente la vida de quienes lo padecen.

En los jóvenes se manifiesta como un desorden dentro de su ambiente familiar, universitario y social, así como también se ve mermado su entorno académico. Es cierto que, en la sociedad actual se ha originado un cambio de valores, predominando el individualismo, el bienestar personal al esfuerzo y el trabajo, y como consecuencia obtenemos poca resistencia a la ansiedad y el estrés (Tamayo-Cabeza et al 2022).

Sarrazola-Moncada et al (2017) afirma que la salud mental de los estudiantes de universidad puede verse perjudicado por varios factores académicos. Por otro lado, los resultados de Pérez-Presti et al (2012) demuestra que los trastornos emocionales en estudiantes de universidades son causados principalmente por la presión ante las exigencias académicas, aunado también a los diferentes estilos de vida.

En México dentro de la ley general de la salud existe un programa de atención a la salud mental y un capítulo de salud mental. Donde manifiesta que los pacientes deben tener acceso a la atención especializada médica y los servicios sociales que les permita obtener el tratamiento que necesiten. En este contexto se han buscado posibles soluciones para identificar y tratar trastornos emocionales dentro de la comunidad estudiantil como medida de apoyo a estos programas de interés nacional.

Apoyándonos en los avances tecnológicos computacionales y la búsqueda de diferentes aportaciones que la comunidad científica ha aportado a la identificación de trastornos mentales se identificaron diferentes cuestionarios que son aplicados por la comunicada especializada en la identificación de diferentes trastornos mentales en estudiantes y que según investigaciones han demostrado efectividad.

La herramienta integra pruebas de identificación de trastornos mentales: consumo de alcohol (Audit), depresión (PHQ-9), desorden de personalidad (MDQ), consumo de alcohol y drogadicción DEP-ADO, Test EDDS, nivel de desesperanza (BHS), y el cuestionario CEAU que mide los niveles de estrés en estudiantes universitarios. Todos estos cuestionarios pueden ser contestados de 4 a 10 minutos, reconocidos y validados por diferentes investigaciones en Latinoamérica.

En ese sentido se emplearon estos cuestionarios abalados por la comunidad científica y se integraron en el desarrollo de la presente herramienta web, la cual permite identificar el grado de afectación de trastornos mentales en estudiantes universitarios.

2. Métodos.

Para el desarrollo de esta herramienta web, se aplica la metodología de desarrollo de software cascada ya que se tenían claros los requisitos y el framework Laravel con el sistema gestor de base de datos MySQL. Para alojar la aplicación web se usó un servicio de hosting y la compra de dominio.

Para identificación del nivel de abuso de o dependencia del consumo de alcohol se emplean las pruebas de AUDIT, CAGE, MALT, Cyr y Wartman. Son cuestionarios de valoración mental y de salud, tienen preguntas dirigidas a cuantificar la cantidad consumida de alcohol. La prueba AUDIT es ampliamente usada, fue propuesta por la Organización Mundial de la Salud y validada en Chile. Esta se aplica marcando un puntaje correspondiente a la respuesta que más se acerca al comportamiento del paciente. Consta de 10 preguntas y pueden ser contestadas en promedio de 4 a 10 minutos (Álvarez-Montero et al 2001).

Depression Scale y el *Patient Health Questionnaire*-9 (PHQ-9). El instrumento PHQ-9 es el que tiene mayor reconocimiento internacional esto por su capacidad en la identificación de los síntomas graves en personas con trastornos mentales, mide 9 elemento de los síntomas de depresión, siendo el más empleado en identificación de síntomas aplicado a estudiantes universitarios. Este se centra en asignar una puntuación más a la pregunta nueve, relacionada con autolesiones y la intención de poner fin a su vida. (Saldivia et al. 2019).

El instrumento Mood Disorder Questionnaire (MDQ) es aplicado para detección de riesgo en trastornos del espectro bipolar, es parte del conjunto de trastornos mentales que incapacitan con una elevada carga de mortalidad y gastos económicos importantes para la sociedad. Dentro de los síntomas más alarmantes son los intentos de suicidio. (Fonseca-Pedrero et al 2016).

El cuestionario DEP-ADO permite la detección del consumo de alcohol y drogas en adolescentes. Está comprobado clínicamente su confiabilidad y validez. Consta de 7 preguntas que se basan en identificar el patrón del consumo y las consecuencias negativas del uso de estas drogas en jóvenes. (Landry et al 2004; Molina 2009).

El EDDS ofrece un diagnóstico confiable desde una perspectiva clínica, convirtiéndolo en un cuestionario adecuado para la investigación y el desarrollo de sistemas para prevenir y tratar este tipo de trastornos. Está compuesto por 22 preguntas elaboradas para identificar los trastornos alimenticios como la bulimia y anorexia.

El BHS es un cuestionario que mide la gravedad de la desesperanza, está escala de Beck tiene 20 preguntas que permiten evaluar las expectativas negativas que tienen los estudiantes sobre su bienestar y futuro, mide un factor de riesgo alto para el suicidio y autolesiones, ha sido empleado en diferentes países de Latinoamérica y un equipo de investigación de la universidad Austral de Chile, específicamente del Instituto de Neurociencias Clínicas, llevó a cabo la validación. (Baader M et al 2014).

Los trastornos depresivos son la segunda razón por la que se experimenta incapacidad en 188 naciones. El empleo de herramientas clínicas estandarizadas ayuda a mejorar la identificación de estos trastornos. Algunos de estos instrumentos son: el Beck Depression Inventory, Center for Epidemiologic Studies Depression Scale, Geriatric Depression Scale, Hospital Anxiety and Depression Scale y Edinburgh Postnatal.

El (CEAU). Es un cuestionario que mide situaciones escolares potencialmente estresantes, validados y según Fouilloux et al (2023) cumple con criterios de confiabilidad y validez de acuerdo con el malestar psicológico.

Se aplicó la herramienta web para la obtención de datos relacionados con trastornos mentales en jóvenes universitarios a 199 estudiantes de la carrera de ingeniería en sistemas computacionales del Tecnológico Nacional de México Tuxtla Gutiérrez para medir el grado de afectación en trastornos de ansiedad, estrés y depresión.

3. Desarrollo.

La aplicación dispone de un proceso de inicio de sesión, como se muestra en la figura 1. Para acceder, es necesario proporcionar una dirección de correo electrónico y una contraseña. Antes de utilizar esta función, es esencial registrarse previamente, tal y como se detalla en la figura 2. En esta última figura, se presentan todos los datos necesarios para completar el proceso de registro. Se encuentra en el sitio https://www.tecnmtest.com/.

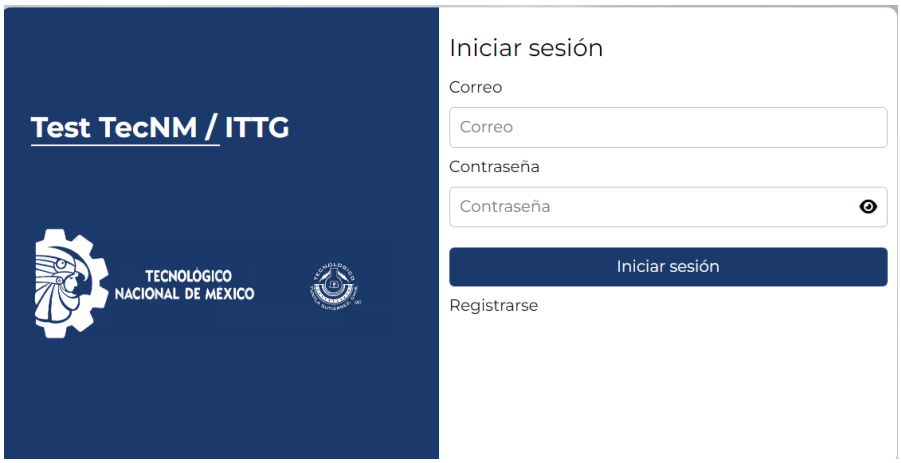


Figura 1. Pantalla de *Login* de la página.

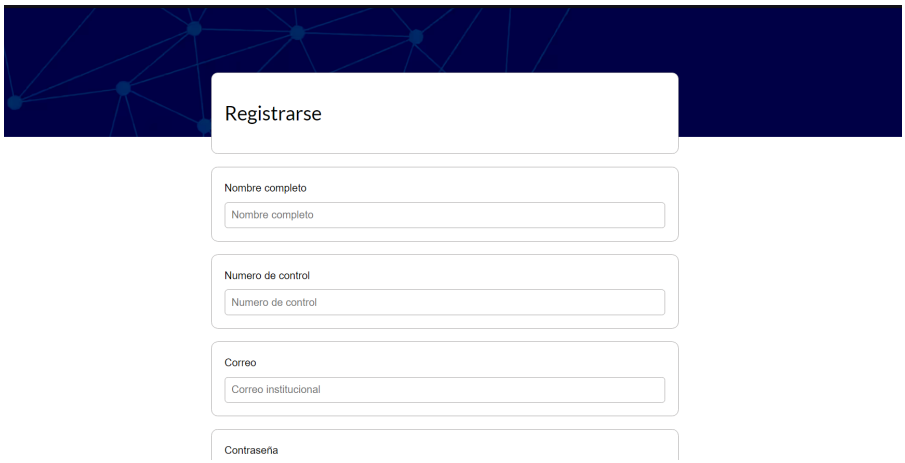


Figura 2. Pantalla de registro en el sistema.

Cuando accedemos como estudiantes, obtendremos acceso a las diferentes pruebas disponibles en el sistema. Estas pruebas se dividen en los completados y los pendientes, como se visualiza en la figura 3. Al completar una prueba, obtendremos un resultado, tal como se presenta en la figura 4.

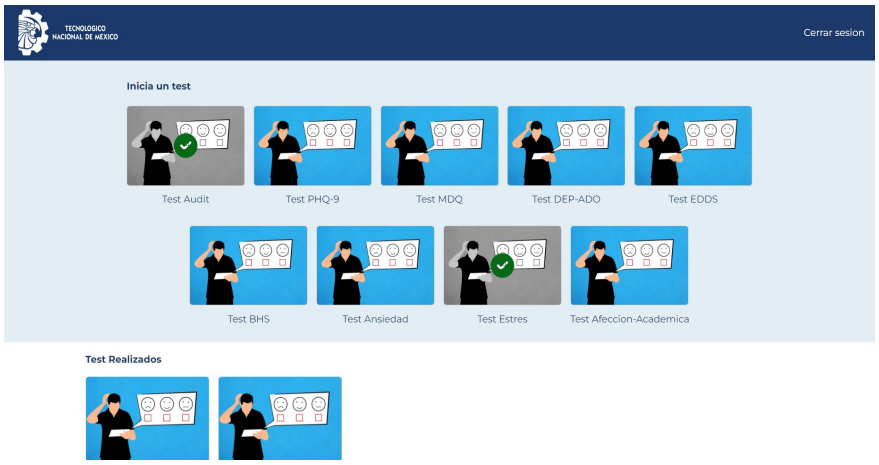


Figura 3. Pantalla principal de estudiante.

Figura 4. Pantalla de resultado.

Además, la aplicación ofrece una interfaz de administrador, como se representa en la figura 5. Desde esta vista, los administradores tienen la capacidad de visualizar, crear, actualizar y eliminar todos los datos dentro del sistema tal como se muestra en la figura 6.

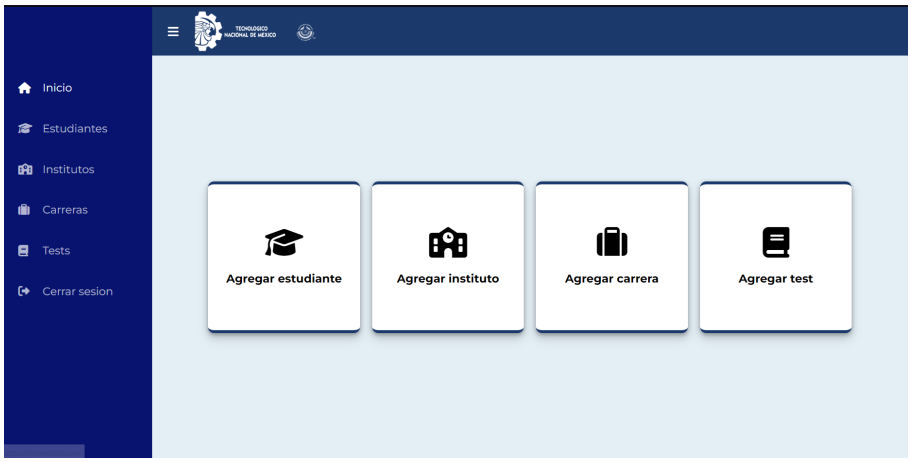


Figura 5. Pantalla principal de administrador.

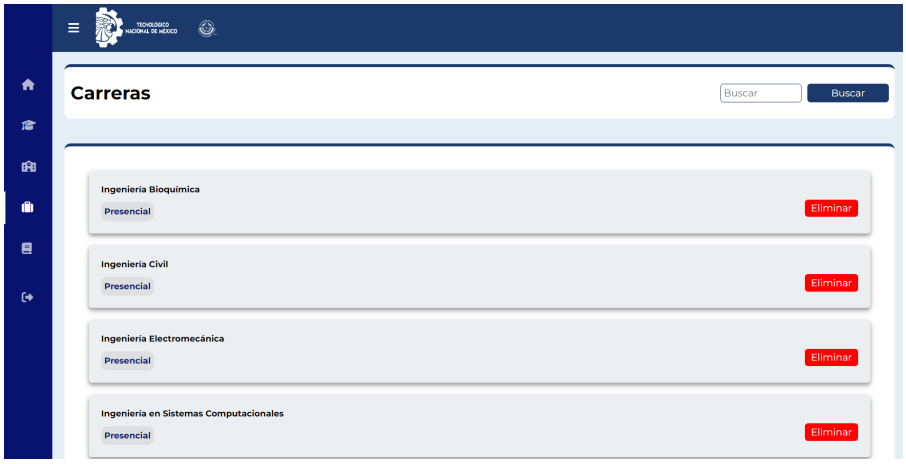


Figura 6. Pantalla de listado de carreras.

Se aplicó la herramienta a 199 estudiantes de la carrera de ingeniería en sistemas computacionales del Tecnológico Nacional de México Tuxtla Gutiérrez para medir el grado de afectación en trastornos de ansiedad, estrés y depresión. Donde 109 estudiantes son de los primeros semestres y 90 de los últimos semestres.

Los resultados mostraron en análisis de ansiedad, el 6.42% con ansiedad severa en los primeros semestres y el 5.56% en los últimos semestres. Los estudiantes con ansiedad severa en los primeros semestres sólo el 72% llegan a los últimos semestres, el 60.87 % con ansiedad moderada y el 89.95% los clasificados sin ansiedad. Teniendo un posible índice de deserción del 24.6% del total de los estudiantes con algún tipo de ansiedad moderada o severa. Ver tabla 1.

Tabla 1. Estudiantes que presentan algún tipo de ansiedad.

Tipo de ansiedad	**Primeros semestres**		**Últimos semestres**		**Total de la muestra**	
	Casos	Porcentaje	Casos	Porcentaje	Casos	Porcentaje
Sin ansiedad	79	72.48%	71	78.89%	150	75.38%
Ansiedad moderada	23	21.10%	14	15.56%	37	18.59%
Ansiedad severa	7	6.42%	5	5.56%	12	6.03%
Total	109	100.00%	90	100.00%	199	100.00%

En análisis de estrés, en los primeros semestres el 77.06% con estrés severo, el 21.10% con estrés moderado y sólo el 1.8% sin estrés. En los últimos semestres el 76.15% con estrés severo, el 22.02% con estrés moderado y el 1.8% sin estrés. Estos resultados muestran que en la carrera de ingeniería en sistemas computacionales los estudiantes presentan un estrés constante que permanece desde el inicio hasta el final de su preparación profesional. Ver tabla 2.

Tabla 2. Estudiantes que presentan algún tipo de estrés.

Tipo de estrés	Primeros semestres		Últimos semestres		Total de la muestra	
	Casos	Porcentaje	Casos	Porcentaje	Casos	Porcentaje
Sin estrés	2	1.83%	2	1.83%	2	1.01%
Estrés moderado	23	21.10%	24	22.02%	27	13.57%
Estrés severo	84	77.06%	83	76.15%	170	85.43%
Total	109	100.00%	109	100.00%	199	100.00%

En análisis de depresión, en los primeros semestres el 1.8% con depresión grave, el 0.9% con depresión moderada, el 11.01% con depresión leve y el 86.24% sin depresión. En los últimos semestres no se observan estudiantes con depresión severa, solo el 1.11% con depresión moderado y el 4.44% con depresión leve y el 94.44% sin depresión. Estos resultados muestran que en la carrera de ingeniería en sistemas computacionales el 89.95% de los estudiantes se encuentran sin depresión, sin embargo, un número importante del 10.05% del total presentan algún tipo de depresión leve, moderada o grave. Ver la tabla 3.

Tabla 3. Estudiantes que presentan algún tipo de depresión.

Tipo de depresión	Primeros semestres		Últimos semestres		Total de la muestra	
	Casos	Porcentaje	Casos	Porcentaje	Casos	Porcentaje
Sin depresión	94	86.24%	85	94.44%	179	89.95%
Depresión leve	12	11.01%	4	4.44%	16	8.04%
Depresión moderada	1	0.92%	1	1.11%	2	1.01%
Depresión grave	2	1.83%	0	0.00%	2	1.01%
Total	109	100.00%	90	100.00%	199	100.00%

La herramienta además de facilitar la recolección y el análisis de los datos para la toma de decisiones presenta un módulo que facilita la administración del sistema de tal manera que proporciona un reconocimiento con un certificado digital a los estudiantes por contestar el conjunto de cuestionarios diagnóstico, esto con el fin de llevar un buen control y motivar a el uso de la herramienta, también opciones para que el administrador pueda agregar o modificar algún test, un módulo para la obtención de información proveniente de la base de datos descargable para posterior análisis, proporciona un API que puede ser integrada en el desarrollo de software de inteligencia artificial o de propósito general o especifico.

Conclusiones.

Al llevar a cabo el “Diseño y construcción de la herramienta web permite obtener información necesaria que alimenta de manera automatizada una base de datos que almacena información de cada uno de los cuestionarios presentados. Estos datos que se utilizarán para análisis de comportamientos y en la generación de un modelo matemático para predecir de trastornos mentales. La herramienta proporciona información de tendencias a un trastorno emocional, brindando una detección temprana que permite tomar medidas preventivas por parte las instituciones educativas, estudiantes y familiares.

Créditos.

Los autores agradecen al Tecnológico Nacional de México por el financiamiento otorgado al proyecto con clave 17571.23-P de la convocatoria "Proyectos de Investigación Científica, Desarrollo Tecnológico e innovación" aprobado en 2023, también al Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez por su colaboración.

Referencias bibliográficas.

Álvarez-Montero, S., Gallego-Casado, P., Latorre-Cruz, C., & Bermejo-Fernández, F. (2001). *Papel del test AUDIT (Alcohol Use Disorders Identification Test) para la detección de consumo excesivo de alcohol. Medifam*, *11*(9), 83-87. http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1131-57682001000900006&lng=es&tlng=es.

Baader M, Tomas, Rojas C, Carmen, Molina F, José Luis, Gotelli V, Marcelo, Alamo P, Catalina, Fierro F, Carlos, Venezian B, Silvia, & Dittus B, Paula. (2014) *Diagnóstico de la prevalencia de trastornos de la salud mental en estudiantes universitarios y los factores de riesgo emocionales asociados. Revista chilena de neuro-psiquiatría*, *52*(3), 167-176. https://dx.doi.org/10.4067/S0717-92272014000300004.

Barlow, David H., Farchione, Todd J., Fairholme, Christopher P., Ellard, Kristen K., Boisseau, Christina L., Allen, Laura B., & Ehrenreich May, Jill. (2016). *Protocolo unificado para el tratamiento transdiagnóstico de los trastornos emocionales, Manual del terapeuta y Manual del paciente*. Boston. Ma, Alianza.

Fonseca-Pedrero, Eduardo., Ortuño-Sierra, Javier., Paino, Mercedes., & Muñiz, José (2016). *Detección del riesgo para los trastornos del espectro bipolar: evidencias de validez del Mood Disorder Questionnaire en adolescentes y adultos jóvenes.* Revista de Psiquiatría y Salud Mental, publicado por Elsevier España. 9(1):4-12. http://dx.doi.org/10.1016/j.rpsm.2015.04.003.

Fouilloux, Claudia; Amscheridam-Herrera, Schajrit E; Tafoya, Silvia A; Fouilloux-Morales, Mariana; Barragán-Pérez, Virginia. (2023). Propiedades psicométricas del cuestionario de estrés académico en la Universidad (CEAU) en una muestra de estudiantes de Medicina mexicanos, Revista de la Fundación Educación Médica. Vol. 24 no. 6 Barcelona. https://dx.doi.org/10.33588/fem.246.1152.

Landry, M., Tremblay, J., Guyon, L., Bergeron, J., & Brunelle, N. (2004). *La Grille de dépistage de la consommation problématique d'alcool et de drogues chez les adolescents et les adolescentes (DEP-ADO):développement et qualités psychométriques*. Drogues, santé et société, 3(1), 20–37. https://doi.org/10.7202/010517ar.

Molina, J. L. (2009). *Caracterización psicométrica de las escalas DEP-ADO y AUDIT, para evaluar grado de adicción a drogas en adolescentes en conflicto con la justicia (Tesis para optar al grado de Magíster en Psicología Jurídica y Forense).* Universidad de la Frontera, Temuco.

Pérez-Presti, Ario., & Pérez-Molina, Gerardo Alberto. (2012). Estilos de vida y trastornos emocionales en estudiantes universitarios de educación, mención matemática. *Universidad de los Andes Venezuela*, 18-28. ISSN 13164910. http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=35626140017.

Saldivia, Sandra., Aslan, Joseph., Cova, Félix., Vicente, Benjamín., Inostroza, Carolina, & Rincón, Paulina. (2019). *Propiedades psicométricas del PHQ-9 (Patient Health Questionnaire) en centros de atención primaria de Chile. Revista médica de Chile*, *147*(1), 53-60. https://dx.doi.org/10.4067/S0034-98872019000100053.

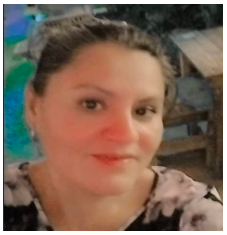
Sarrazola-Moncada, A. M., Soto-Fadul, J. D., Carmona, L., García, M., Rojas, G., Tabares, V., & Vásquez, M.

(2017). *Trastornos emocionales y rendimiento académico en estudiantes de odontología. Estomatología*, *25*(2). https://link.gale.com/apps/doc/A569202754/IFME?u=anon~aeebae&sid=googleScholar&xid=c4fe4d96.

Tamayo-Cabeza, Guillermo., Hernandez-Torres, Arleth & Diaz-Cardenas, Shyrley. (2022). *Funcionalidad familiar, soporte de amigos y rendimiento académico en estudiantes de odontología*. *Univ. Salud* [online]., 24, (1), 18-28. ISSN 0124-7107. https://doi.org/10.22267/rus.222401.263.

Información de los autores.

Erick González Pérez, Estudiante de la carrera de ingeniería en sistemas computacionales del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez, realizó su residencia profesional con el proyecto denominado "Implementación de algoritmo de inteligencia artificial KNN aplicado a la identificación de trastornos emocionales en estudiantes", es autor de la obra de registro 03-2023-110811310000-01 en la rama programas de computación.

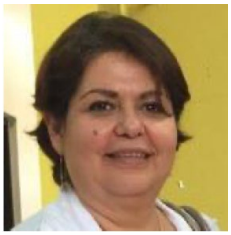


Rosy Ilda Basave Torres. Desde el 2009 profesora del área de ingeniería en sistemas computacionales del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez. Imparte cátedra en áreas de redes de computadoras, teoría matemática, diseño de compiladores y desarrollo de software. Es miembro del cuerpo académico en consolidación ITTUXG-CA-7, colabora en la línea de investigación ITFTGTZ-LIE-2018-0163, tiene el reconocimiento al perfil deseable y es miembro del Sistema Estatal de Investigadores del Estado de Chiapas. Ingeniera en sistemas computacionales por el Instituto Tecnológico de Zacatepec. Maestra en Ciencias en Ciencias de la computación por el CENIDET. Estudiante de doctorado en Tecnologías de la Transformación Digital por la Universidad de Aguascalientes.

Francisco de Jesús Suárez Ruiz es profesor en el área de Ingeniería en Sistemas Computacionales, es Maestro en Ciencias en Ciencias Computacionales egresado de la Universidad Pablo Guardado Chávez. Su experiencia en docencia es en el área de programación, matemáticas discretas, redes de computadoras y teoría de compiladores. También es profesor en el Colegio de Educación Profesional Técnica en el área de Redes de Computadoras, Sistemas Operativos y Matemáticas Discretas.

Octavio Ariosto Ríos Tercero. Maestro en Ciencias en Ciencias Computacionales egresado del Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico CENIDET. Su experiencia en docencia es en el área de ingeniería de software. Profesor de tiempo completo y Actual Jefe de Proyectos de Investigación en el Depto. de Sistemas y Computación del Tecnológico Nacional de México campus Tuxtla Gutiérrez.

Jesús Carlos Sánchez Guzmán. Profesor de tiempo completo de la carrera del Tecnológico Nacional de México campus Tuxtla en la carrera de Ingeniería En Sistemas Computacionales Tecnológico de Tuxtla desde 1995. Doctor en Sistemas Computacionales por la Universidad del Sur. Maestro en Comercio Electrónico por el Instituto Tecnológico de Monterrey, Campus Chiapas. Licenciado En Sistemas de Computación Administrativa por el Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey Campus Morelos. Su área de especialidad es en Redes de Computadoras y Base de datos. Contacto principal de academia Cisco del Instituto Tecnológico de Tuxtla. Contacto principal de academia de Oracle del Tecnológico de Tuxtla.



Imelda Valles López, es desde 1991, profesora del área de Ingeniería en Sistemas Computacionales del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez. Maestra en Administración por el I.T.T.G., en 2001 e Ingeniero en Sistemas Electrónicos por el ITESM en 1990. Docente de las materias de Redes, Teoría Matemática de la Computación y Compiladores. Profesora de tiempo completo con perfil deseable desde 2012. Miembro del Sistema Estatal de Investigadores desde 2012.

Propuesta de prescripción y transcripción de medicamentos controlados utilizando reconocimiento de voz con PLN.

Approach of prescription and transcription of controlled medication using speech recognition with NLP.

Ángel Axel Méndez Meneses (1).
Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Puebla México.
angel.mendezmen@alumno.buap.mx.

Luis Enrique Colmenares Guillén* (2). Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Puebla México.
enrique.colmenares@correo.buap.mx.

Edwin Aragón Vázquez (3). Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Puebla México,
edwin.aragon@alumno.buap.mx.

María Concepción Pérez de Celis Herrero (4). Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Puebla México,
maria.perezdecelis@correo.buap.mx.

*corresponding author.

Artículo recibido en noviembre 26, 2024; aceptado en diciembre 09, 2024.

Resumen.

La gestión de prescripciones y transcripciones médicas en entornos hospitalarios presenta desafíos en eficiencia y precisión. Este articulo propone modelar y diseñar tecnologías de procesamiento de lenguaje natural y reconocimiento de voz para solucionar dificultades con la entrega de medicamentos. Se desarrollarán modelos de inteligencia artificial para mejorar la gestión de medicamentos controlados, siguiendo estándares hospitalarios y regulaciones de salud. La investigación evaluará la eficacia de esta solución en un entorno clínico, midiendo la precisión del reconocimiento de voz y la reducción de errores de medicación. Se espera que esta propuesta mejore la calidad de la atención médica y optimice la carga de trabajo del personal sanitario.

Palabras claves: Inteligencia artificial, procesamiento de datos (lenguaje natural), reconocimiento de caracteres (voz), tecnología farmacéutica (médica).

Abstract.

Prescription and transcription management in hospital environments presents challenges in efficiency and accuracy. This paper proposes to model and design natural language processing and speech recognition technologies to solve medication delivery difficulties. Artificial intelligence models will be developed to improve the management of controlled medications, following hospital standards and health regulations. The research will evaluate the effectiveness of this solution in a clinical environment, measuring speech recognition accuracy and medication error reduction. This proposal is expected to improve the quality of medical care and optimize the workload of healthcare personnel.

Keywords: Artificial Intelligence, character recognition (voice), data processing (natural language), pharmaceutical (medical) technology.

1. Introducción.

El problema de investigación en la gestión de prescripciones y transcripciones médicas en entornos hospitalarios se presentan en múltiples desafíos, principalmente relacionados con la eficiencia y precisión en el manejo de medicamentos controlados. En un hospital, la correcta administración y registro de estos medicamentos son cruciales no solo para garantizar un tratamiento adecuado a los pacientes, sino también para cumplir con las normativas de salud (CSG, 2023) y evitar errores médicos que pueden tener graves consecuencias. Este proyecto surge con la intención de abordar y mejorar estos procesos mediante el modelado de tecnologías avanzadas de procesamiento de lenguaje natural (PLN) y reconocimiento de voz.

La preocupación por la eficiencia y precisión en la gestión de medicamentos controlados se ha documentado en diversas investigaciones. Los errores de medicación afectan a millones de pacientes en todo el mundo cada año, según un estudio de la Organización Mundial de la Salud (WHO, 2019), lo que causa daños considerables y aumenta los costos de atención médica. Además, la administración de medicamentos controlados está sujeta a estrictas regulaciones para garantizar la seguridad del paciente. Sin embargo, la adherencia a estos protocolos puede ser compleja y consumir tiempo significativo de los profesionales de la salud. La implementación de sistemas automatizados en hospitales podría reducir los errores de medicación hasta en un 50%, mejorando tanto la seguridad del paciente como la eficiencia operativa (Bates, 1998).

El procesamiento de lenguaje natural (PLN) y el reconocimiento de voz son áreas cruciales de la inteligencia artificial que han mostrado gran potencial en aplicaciones médicas. El PLN se refiere a la capacidad de las máquinas para comprender y procesar el lenguaje humano de manera efectiva. Esta tecnología permite extraer información relevante de grandes volúmenes de texto, lo cual es esencial para la gestión de prescripciones médicas. El PLN se basa en algoritmos y modelos que pueden analizar, interpretar y generar lenguaje humano de manera automática (Jurafsky y Martin, 2009).

El reconocimiento de voz implica la conversión del habla en texto mediante algoritmos avanzados que analizan las características acústicas del habla humana. Este proceso facilita la documentación médica y la transcripción de prescripciones de manera rápida y precisa. Las redes neuronales profundas han mejorado significativamente la precisión de los sistemas de reconocimiento de voz, lo que permite su aplicación efectiva en entornos clínicos (Hinton, 2012).

Por otro lado, la tecnología de reconocimiento de voz ha demostrado ser una herramienta eficaz en la reducción del tiempo de documentación y mejora de la precisión en la transcripción médica. Los sistemas de reconocimiento de voz implementados en entornos clínicos han mostrado una mejora significativa en el flujo de trabajo de los profesionales de la salud, permitiéndoles dedicar más tiempo a la atención directa al paciente (Pennington, 2018).

El objetivo de esta investigación es diseñar una metodología que facilite la prescripción, transcripción y gestión de medicamentos controlados mediante algoritmos de procesamiento de lenguaje natural (PLN) combinados con reconocimiento de voz, y así, lograr investigar y analizar diferentes modelos de reconocimiento de voz más eficientes para recuperar, procesar y manejar las peticiones dictadas por los profesionales de la salud. Además, se evaluarán las características y capacidades particulares, que existen en el contexto específico de la prescripción médica. Finalmente, se evaluarán modelos de procesamiento de lenguaje natural capaces de identificar palabras clave críticas. Este paso es fundamental para asegurar que la información extraída sea precisa y completa.

2. Métodos.

Para esto, las evidencias presentadas subrayan la necesidad de desarrollar soluciones tecnológicas avanzadas que puedan integrar el procesamiento de lenguaje natural y el reconocimiento de voz para optimizar la gestión de prescripciones y transcripciones médicas. Al abordar estos problemas, el presente proyecto no solo busca mejorar la eficiencia y precisión en los procesos hospitalarios, sino también contribuir a una atención médica más segura y de alta calidad.

Esta investigación se clasifica como un estudio analítico con un diseño observacional, ya que su objetivo principal es modelar un sistema de prescripción y transcripción de medicamentos controlados basado en procesamiento de lenguaje natural (PLN) y reconocimiento de voz en un entorno hospitalario.

El enfoque de este estudio permite una evaluación clara del impacto de la implementación tecnológica. Al comparar los resultados esperados con el nuevo sistema frente a los métodos tradicionales, se podría determinar la mejora en la precisión y eficiencia del proceso de prescripción de medicamentos.

La población del estudio estará compuesta por profesionales de la salud, específicamente médicos que trabajan en un hospital de tercer nivel. Se utilizará un muestreo no probabilístico por conveniencia, seleccionando a aquellos profesionales que estén dispuestos a colaborar y que trabajan en áreas donde se manejan medicamentos controlados. Esta selección permitirá obtener datos relevantes sobre la efectividad que podría tener el sistema de prescripción y transcripción de medicamentos controlados basado en procesamiento de lenguaje natural y reconocimiento de voz.

El procedimiento de recolección y análisis de datos seguirá etapas delineadas para asegurar la integridad y validez de la información recolectada. En la fase inicial de preparación, se procederá a la instalación y configuración del *software* de procesamiento de lenguaje natural (PLN) y reconocimiento de voz en el entorno hospitalario seleccionado.

Para el desarrollo y operación del sistema de prescripción y transcripción basado en PLN y reconocimiento de voz, es esencial disponer del software adecuado. La siguiente tabla 1 detalla los tipos de *software* necesarios, sus ejemplos y funciones principales, asegurando una configuración óptima del sistema.

Tabla 1. Tipos de *software (Torres, 2017)*.

Categoría principal.	**Subcategoría.**	**Ejemplos.**	**Funciones principales.**
Software de sistemas.	Sistemas Operativos.	Microsoft Windows.	Administrar recursos del sistema y servir de plataforma para el *software* de reconocimiento de voz y PLN.
Software de aplicación.	Procesadores de Texto.	Microsoft Word.	Documentar procedimientos y resultados.
	Navegadores Web.	Google Chrome.	Acceder a recursos en línea, bibliotecas de PLN y herramientas de desarrollo en la WEB.
Software de Programación.	Sistemas de control de versiones.	GitHub.	Colaborar en el desarrollo del código del sistema, gestión de versiones y almacenamiento de proyectos.
	Entornos de Desarrollo Integrado (IDE).	Visual Studio Code.	Escribir y depurar el código del sistema de reconocimiento de voz y PLN.

Este paso es crucial para garantizar que la tecnología esté completamente operativa y lista para su uso por los profesionales de la salud.

A la vez, se realizará la recolección de datos. Durante esta fase, se registrarán todos los errores de medicación y se medirá la eficiencia operativa del hospital. Con ayuda de un *software* se capturarán datos precisos sobre la tasa de errores de transcripción y el tiempo promedio de prescripción. Al final del período de estudio, se evaluarán los valores obtenidos por el *software* como base de justificación de la investigación, así como de motivación.

El manejo ético de la información es una prioridad en este estudio. Todos los datos recolectados serán anonimizados para proteger la privacidad de los pacientes y los profesionales de la salud. Además, se garantizará que la información recolectada se utilice exclusivamente para los fines de esta investigación.

3. Desarrollo.

En esta etapa, la investigación sobre la recolección y análisis de datos evaluará y precisará el impacto de un sistema automatizado basado en PLN y reconocimiento de voz en la prescripción y transcripción de medicamentos controlados en un entorno hospitalario.

En entornos controlados, los sistemas de reconocimiento de voz alcanzan una precisión del 95% (Zick, 2001). Sin embargo, esta precisión disminuye en entornos ruidosos, situándose entre el 85% y el 90% (Le Prell, 2017). Antes de la implementación de sistemas automatizados, la tasa de errores de medicación en hospitales era del 5% (Bates et al., 1995). La adopción de sistemas informatizados de órdenes médicas ha reducido estos errores en un 55% (Bates et al., 1998).

Para ilustrar la propuesta en la prescripción, transcripción y gestión de medicamentos controlados, se presenta la figura 1. Esta visualiza la integración de algoritmos de procesamiento de lenguaje natural (PLN) junto con reconocimiento de voz para mejorar la eficiencia y precisión en el proceso, así como la especificación de los datos a recuperar, y el ajuste de la base de datos.

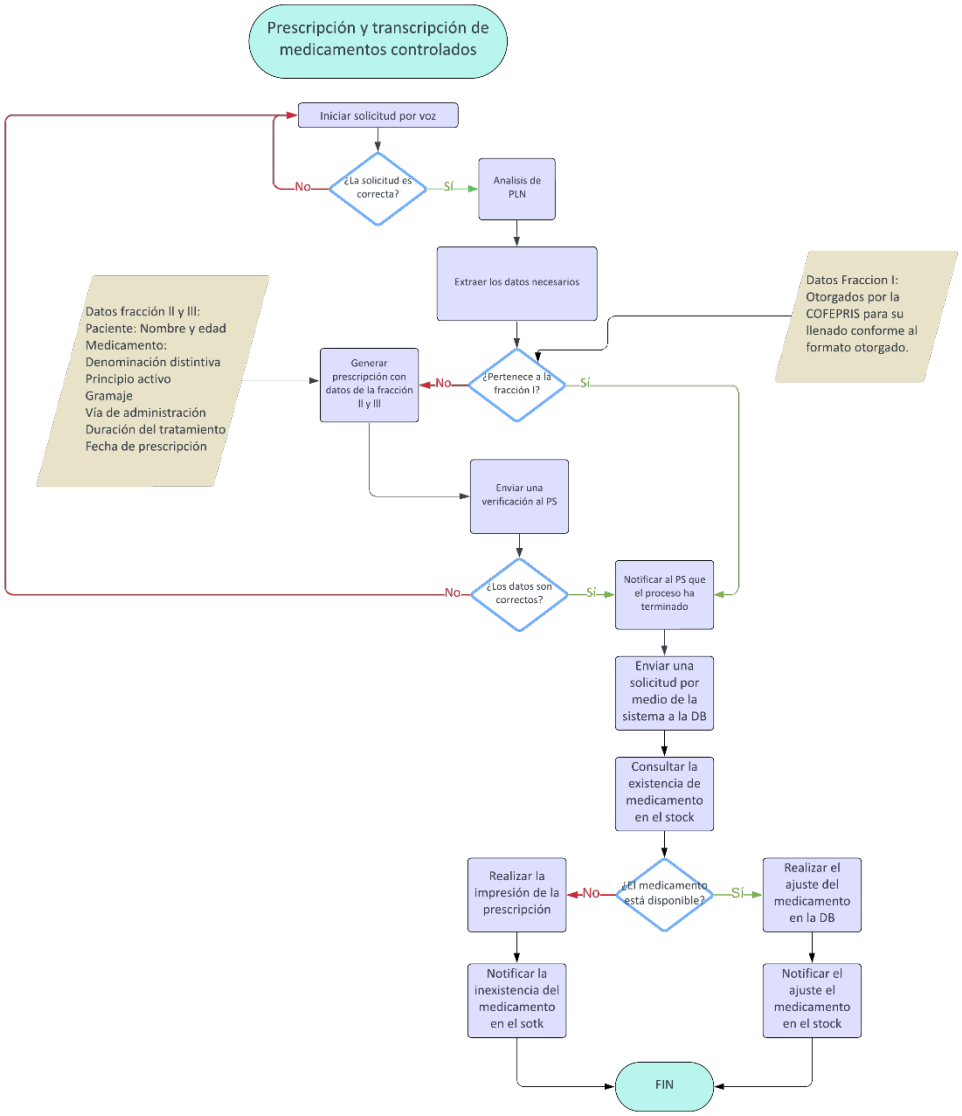


Figura 1. Diagrama de propuesta en la prescripción, transcripción y gestión de medicamentos controlados.

La investigación demostrará que el sistema de prescripción y transcripción basado en procesamiento de lenguaje natural (PLN) y reconocimiento de voz será pertinente y efectivo. Este sistema reducirá significativamente la tasa de errores de medicación y mejorará la eficiencia operativa, aumentando las prescripciones procesadas por hora y mejorando la carga de trabajo y la satisfacción laboral de los profesionales de la salud.

A pesar de las limitaciones, como la realización del estudio en un solo hospital y la duración del proceso, los resultados indicarán un gran potencial para la implementación más amplia del sistema. Se recomendarán estudios adicionales en múltiples hospitales y mejoras en la robustez del sistema en entornos ruidosos.

Conclusiones.

El sistema de PLN y reconocimiento de voz mejorarán la precisión de las prescripciones médicas, reducirá los errores de medicación y aumentará la eficiencia operativa, con un impacto positivo significativo en la práctica médica diaria, para mejorar la calidad de la consulta al paciente y reducir la cantidad de fallos en las prescripciones.

Créditos.

Los autores agradecen a la Vicerrectoría de Investigación y Estudios de Posgrado (VIEP) por el apoyo otorgado en la realización de este trabajo.

Referencias bibliográficas.

Bates, D. W., Cullen, D. J., Laird, N., Petersen, L. A., Small, S. D., Servi, D., Laffel, G., Sweitzer, B. J., Shea, B. F., & Hallisey, R. (1995). *Incidence of adverse drug events and potential adverse drug events. Implications for prevention. ADE Prevention Study Group*. JAMA: the journal of the American Medical Association, 274(1). https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/7791255/.

Bates, D. W., Cullen, D. J., Laird, N., Petersen, L. A. & Shea, B. . (1998). *Effect of Computerized Physician Order Entry and a Team Intervention on Prevention of Serious Medication Errors.* JAMA, 280(15), 1311. https://doi.org/10.1001/jama.280.15.131

CSG Consejo de Salubridad General. (2023). *Modelo Único de Evaluación de la Calidad (MUEC)*. Gob.mx. Recuperado el 15 de mayo de 2024, de https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/920140/Anexo_B._Criterios_y_Est_ndares_Hospitales._V.20-07-2023.pdf .

Hinton, G., Deng, L., Yu, D., Dahl, G., Mohamed, A.-R., Jaitly, N., Senior, A., Vanhoucke, V., Nguyen, P., Sainath, T., & Kingsbury, B. (2012). *Deep neural networks for acoustic modeling in speech recognition: The shared views of four research groups*. IEEE signal processing magazine, 29(6), 82–97. https://doi.org/10.1109/msp.2012.2205597.

Jurafsky, D., & Martin, J. H. (2009). *Speech and language processing: International edition. Pearson.* https://web.stanford.edu/~jurafsky/slp3/.

Le Prell, C. G., & Clavier, O. H. (2017). *Effects of noise on speech recognition: Challenges for communication by service members*. Hearing Research, 349, 76–89. https://doi.org/10.1016/j.heares.2016.10.004.

Pennington, J., Wook Ok, M., & Rao K. (2018). *Beyond the Keyboard: A Review of Speech Recognition Technology for Supporting Writing in Schools.* International Journal for Educational Media and Technology. https://jaems.jp/contents/icomej/vol12-2/07_Pennington.pdf.

Torres, D. (2023, agosto 30). *Tipos de software: clasificación, cómo funcionan y ejemplos.* Hubspot.es. https://blog.hubspot.es/sales/tipos-de-software.

World Health Organization. WHO (2019). *Medication safety in high-risk situations*. WHO Global Patient Safety Challenge: Medication Without Harm. Retrieved May 15th 2024 from https://www.who.int.

Zick, R. G., & Olsen, J. (2001). *Voice recognition software versus a traditional transcription service for physician charting in the ED.* The American Journal of Emergency Medicine, 19(4), 295–298. https://doi.org/10.1053/ajem.2001.24487.

Información de los autores.

Ángel Axel Méndez Meneses. Graduado de Licenciatura en Ingeniería en Ciencias de la Computación de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, becado por la Vicerrectoría de Investigación y Estudios de Posgrado (VIEP) en el proyecto de investigación, Análisis y desarrollo de tecnología para la salud, automatizando la prestación de servicios médicos y monitoreando la atención del paciente. Así como en desarrollo de una tesis con título: Diseño de una metodología para la prescripción de medicamentos controlados utilizando PLN con voz.

Luis Enrique Colmenares-Guillén. Docente-investigador de la Facultad de Ciencias de la Computación de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Ha trabajado en algoritmos de aprendizaje Automático y de procesamiento de lenguaje natural para definir nuevas alternativas para solucionar: delitos cibernéticos detectados en redes sociales virtuales y en algoritmos en tecnología para la salud. Pertenece al Padrón de Investigadores y de consultores de la BUAP. Además, pertenecer al Sistema de Información Humanística, Científica, Tecnológica y de Innovación del Estado de Puebla y al Sistema Nacional de Investigadores.

Edwin Aragón Vázquez. Graduado de Licenciatura en Ingeniería en Ciencias de la Computación de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, becado por la Vicerrectoría de Investigación y Estudios de Posgrado (VIEP) en el proyecto de Análisis y desarrollo de tecnología para la salud, automatizando la prestación de servicios médicos y monitoreando la atención del paciente. Así como en el desarrollo de la tesis con título: Desarrollo e Integración de un Sistema de Gestión de Medicamentos Controlados.

María Concepción Pérez de Celis Herrero. Docente-investigador de la Facultad de Ciencias de la Computación. Doctora en Informática, por la Universidad Pierre et Marie Curie (París VI). Maestría en Salud Pública por la UPAEP. Actualmente coordina el Laboratorio de Tecnologías para la Salud-FCC-BUAP sus temas de trabajo diseño e implementación de herramientas que hacen uso de TIC's para la prevención de ENT, Envejecimiento Exitoso y Educación en salud.

Prototipo mecánico de máquina cortadora de cubre polvos de tipo CVJ.

Mechanical prototype of CVJ type dust cover cutting machine.

Julián Alberto Oramas Nava (1).
Estudiante Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez.
l19270102@tuxtla.tecnm.mx.

Juan Carlos Niños Torres* (2). Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez.
juan.nt@tuxtla.tecnm.mx.

Fernando Alfonso May Arrioja (3). Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez.
fernando.ma@tuxtla.tecnm.mx.

Ignacio Arrioja Cárdenas (4). Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez.
ignacio.ac@tuxtla.tecnm.mx.

Roberto Carlos García Gómez (5). Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez.
roberto.gg@tuxtla.tecnm.mx.

María Guadalupe Monjarás Velasco (6). Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez.
maria.mv@tuxtla.tecnm.mx.

*corresponding author.

Artículo recibido en octubre 14, 2024; aceptado en noviembre 12, 2024.

Resumen.

El proyecto consiste en realizar el diseño, modelado y análisis de un prototipo de una cortadora de elementos mecánicos llamada cubre polvos que permita optimizar los tiempos del proceso de corte y mejorar la eficiencia y calidad en el proceso que se realiza para obtener los cubre polvos tipo CVJ (constant velocity joint). Actualmente este proceso se realiza de manera manual y el prototipo busca ser una alternativa para mejorarlo con la implementación de máquinas como la que se plantea.

Palabras claves: Diseño mecánico, elemento finito, solidworks.

Abstract.

The project consists of carrying out the design, modeling and analysis of a prototype of a mechanical element cutter called a dust cover that allows optimizing the times of the cutting process and improving the efficiency and quality in the process carried out to obtain dust covers CVJ (constant velocity joint). Currently this process is carried out manually and the prototype seeks to be an alternative to improve it with the implementation of machines such as the one proposed.

Keywords: Finite element, mechanical design, solidworks.

1. Introducción.

Dentro de todas las partes mecánicas de un vehículo, hay algunas que son más de conocimiento general y otras más específicas de las que muchos conductores pueden incluso no haber oído hablar. Sin embargo, ese desconocimiento no implica que no puedan causar problemas graves, como es el caso de los cubre polvos del coche.

La función del cubre polvos de ejes de transmisión es, como su nombre indica, protegen las juntas del polvo y la suciedad exteriores. Además, hacen que se mantenga en el interior la grasa que mantiene todo el sistema lubricado para que opere de manera eficiente.

Si se rompen, no hay una avería inmediata, pero se produce un deterioro progresivo que se traduce en el escurrimiento de la grasa, además de que entrará la suciedad (polvo, agua o tierra). Esto provocará un desgaste paulatino del sistema, que ocasionará incluso que el semieje se doble y deje de funcionar correctamente.

En el diseño mecánico existen algunas variables cuyo análisis se hace indispensable para poder lanzar un producto al mercado o incluso para poder empezar su construcción. Esto se refiere al estudio de esfuerzos y deformaciones que se presentan en una pieza o ensamblaje sujeto a cargas y restricciones La obtención de estos resultados dará la información necesaria para saber si el material que utilizamos es el adecuado, para verificar la seguridad de nuestro diseño o para considerar reducir la cantidad de material y seguir trabajando con un buen factor de seguridad, además de predecir las características del sistema bajo condiciones de servicio (Shigley, 2008).

La ingeniería mecánica, plenamente consolidada en fundamentos físicos y matemáticos, ofrece métodos para resolver estas variables en un análisis estático y dinámico del modelo que es objeto de estudio, sin embargo, la resolución de problemas a “lápiz y papel” demandan demasiado tiempo, y posiblemente limitación en exactitud y optimización de resultados (Mirlisenna, 2016).

Figura 1. Cubre polvos de referencia (imagen propia).

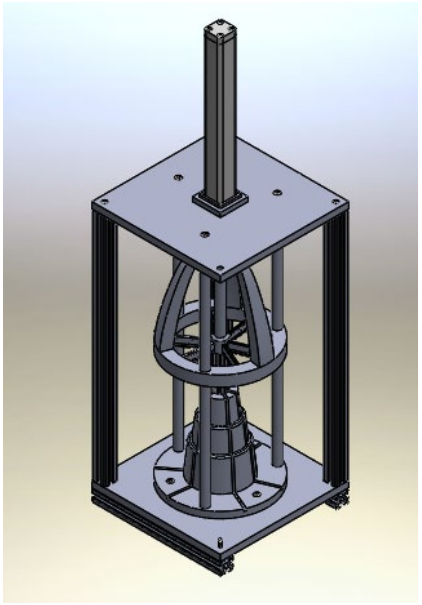


Figura 2. Prototipo de máquina cortadora de cubre polvos (imagen propia).

2. Métodos.

Cálculos de tiempo de corte unitario.

En relación con la problemática planteada en este proyecto fue necesario realizar primeramente un estudio y monitoreo del tiempo total invertido en el proceso de corte manual que se hace en los cubre polvos de tipo CVJ (*constant velocity joint*) comparando con los tiempos usados en la misma actividad con los cubre polvos de tipo R&P (*rack & pinion*), para este método planteado se tomaron muestras de 40 piezas de cubre polvos con distintas características en geometría y peso, así también de forma aleatoria la actividad fue realizada por distintos operadores para tener una mayor certeza de los resultados.

Tabla 1. Muestreo de tiempos de corte manual.

Operador	Familia de pieza	Tiempo de corte (segundos)		No. Parte
Operador #1	R & P	Muestra – 1	40 seg	K0716
		Muestra – 2	38 seg	
	R & P	Muestra – 1	37 seg	K1118
		Muestra – 2	41 seg	
	CVJ	Muestra – 1	29 seg	K0668
		Muestra – 2	23 seg	
	CVJ	Muestra – 1	50 seg	K1535
		Muestra – 2	44 seg	
	R & P	Muestra – 1	40 seg	K1993
		Muestra – 2	35 seg	
	R & P	Muestra – 1	41 seg	K1634
		Muestra – 2	38 seg	

Operador #2	CVJ	Muestra – 1	44 seg	K1535
		Muestra – 2	45 seg	
	CVJ	Muestra – 1	50 seg	K0668
		Muestra – 2	44 seg	
Operador #3	R & P	Muestra – 1	43 seg	K1993
		Muestra – 2	51 seg	
	CVJ	Muestra – 1	34 seg	K0668
		Muestra – 2	31 seg	
	CVJ	Muestra – 1	41 seg	K0942
		Muestra – 2	35 seg	
	CVJ	Muestra – 1	30 seg	K1105
		Muestra – 2	33 seg	
Operador #4	R & P	Muestra – 1	47 seg	K1993
		Muestra – 2	44 seg	
	R & P	Muestra – 1	39 seg	K0668
		Muestra – 2	45 seg	
	CVJ	Muestra – 1	26 seg	K0942
		Muestra – 2	30 seg	
	CVJ	Muestra – 1	28 seg	K1105
		Muestra – 2	33 seg	
Operador #5	R & P	Muestra – 1	48 seg	K1993
		Muestra – 2	45 seg	
	CVJ	Muestra – 1	44 seg	K0668
		Muestra – 2	42 seg	
	CVJ	Muestra – 1	30 seg	K0942
		Muestra – 2	31 seg	
	CVJ	Muestra – 1	33 seg	K1105
		Muestra – 2	35 seg	

Con la cantidad de muestras que fueron evaluadas se plantea que puede obtenerse un promedio del tiempo que se requiere por parte de un operador el realizar el corte de una sola pieza, el valor se obtiene por la siguiente ecuación:

$$\frac{\text{Sumatoria de todos los tiempos de corte}}{\text{Número de muestras medidas}} = \text{Promedio Tiempo de corte} \quad \text{..... Ecuación 1}$$

Por lo tanto:

$$\textbf{Promedio tiempo de corte} = \frac{\textbf{1520 seg}}{\textbf{40}} = \textbf{38 segundos}$$

Cantidad de piezas diarias cortadas.

Para obtener el número de piezas que se cortan en el área de control dimensional del departamento de calidad se obtuvo información histórica del proceso de producción y de control dimensional, considerando como un periodo de muestra de dos meses en los cuales se identificó una mayor cantidad en la producción, en resumen, se tiene el dato de 2,013 cortes de piezas de cubre polvos del tipo CVJ, para obtener el número de piezas cortadas diariamente utilizamos la siguiente ecuación:

$$\frac{\textbf{No.de piezas cortadas en el periodo}}{\textbf{No.de días totales del periodo}} = \textbf{No. Piezas cortadas diariamente} \text{ ……. Ecuación 2}$$

Con los datos y la ecuación obtenemos:

$$\boldsymbol{Piezas\ cortadas\ diariamente} = \frac{\textbf{2,013 Piezas}}{\textbf{60 dias}} = \textbf{33 Piezas}$$

Diseño del prototipo mecánico de máquina cortadora de cubre polvos.

Para establecer el diseño de los diversos elementos mecánicos de la máquina se proponen los siguientes requisitos de uso:

- Operación: la forma de operar la máquina debe ser fácil y clara para el usuario.
- Seguridad: se requiere una implementación de sistema de seguridad para los operadores de la máquina.
- Reparación/Mantenimiento: El mantenimiento debe realizarse fácilmente sin herramientas especiales.
- Gestión: las dimensiones de la máquina (alto, ancho) deben ser adecuadas a las necesidades ergonómicas del usuario.

En cuanto a los requisitos funcionales, se proponen los siguientes:

- Condición: Debe ser operado y/o alimentado por una fuente, ya sea manual o eléctrica.
- Cortador: El cortador debe funcionar rápidamente para obtener tiras/secciones cortadas de buena calidad y el cuidado es importante para evitar mal corte en las piezas y pueda interferir en el control dimensional.
- Durabilidad: la construcción, componentes, métodos y materiales deben ser adecuados para evitar accidentes en las condiciones que pueden surgir por un mal uso de la máquina.

Y como últimos requisitos se proponen los estructurales, que serán:

- Número de piezas: Se reduce el número de piezas a 1 por corte para que solo se utilicen las necesarias para el trabajo.
- Unidad: Componentes como protectores y dispositivos mecánicos se pueden ensamblar sin herramientas especiales.

Con los requisitos identificados y analizados se procede a realizar la propuesta de diseño de los diversos componentes de la máquina, estos fueron creados con el software de diseño mecánico SolidWorks.

Primera propuesta de diseño.

Como primera propuesta la máquina cuenta con un mecanismo de piñón-cremallera como sistema de transmisión de potencia el cual está conformado además por dos engranes rectos, el engrane conductor para transmitir mayor fuerza al sistema y el engrane conducido para mejorar el desplazamiento de la cremallera y el sistema de corte baje una mayor distancia, cada uno de los engranes esta acoplado a un eje el cual está fijo a la parte superior del sistema de corte y de costado a la estructura de la cortadora para un mayor soporte, en la base de la cortadora tenemos una mesa de trabajo que es donde se colocará anclada la máquina cortadora para agregar seguridad y estabilidad a la máquina al momento del corte.

Así también como una opción, en la base de la cortadora se tiene un diseño de un cono de sujeción el cual está considerado para sujetar distintos tipos de cubre polvos del tipo CVJ de 3 secciones, por su forma y tamaño.

Para el sistema de corte, este cuenta con un soporte superior con muescas para las guías y así dotar de mayor estabilidad durante el corte, en la parte inferior se encuentran los soportes y un pivote central que tiene la función de sostener las cuchillas del sistema, en el apartado de las cuchillas se utiliza un sistema de 3 elementos dobles las cuales están colocadas estratégicamente a 120 grados una de otra, con una separación lineal entre una y otra de aproximadamente 22 mm la cual es una medida proporcionada para las secciones de los cubre polvos tipo CVJ de 3 secciones.

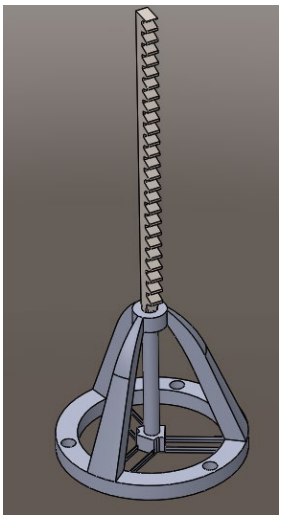


Figura 3. Primer prototipo de sistema de corte (imagen propia).

Segunda propuesta de diseño.

De acuerdo con una revisión en los diversos elementos de la máquina, se realizaron algunos cambios, como opción al sistema de movimiento se adicionó un mecanismo neumático con la finalidad de automatizar el proceso de corte con el uso de una alimentación de aire comprimido de alrededor de 10 Bares de presión, con esto se definió el uso de un actuador neumático con una fuerza de compresión aproximada entre 1,000 y 1,500 Newtons con 300 mm de carrera y una velocidad de 20 mm/s.

El cambio más relevante en este segundo diseño fue en el modelo de cuchilla de corte y de la porta navaja, para la sujeción de las navajas se realizó un soporte que brindara resistencia a las cuchillas además de proporcionar una guía de recorrido de corte de estas, lo anterior fue realizado con la finalidad de enlazar el elemento pivote con el tornillo fijador de las cuchillas.

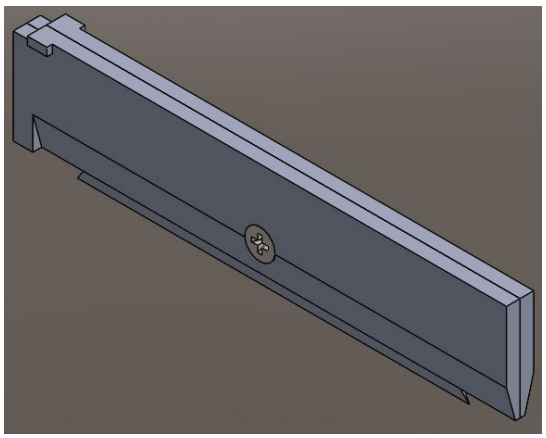


Figura 4. Sistema de corte: porta navaja y cuchilla (imagen propia).

Con las diferentes propuestas de cambio en los elementos relevante del prototipo se propone el siguiente modelo:

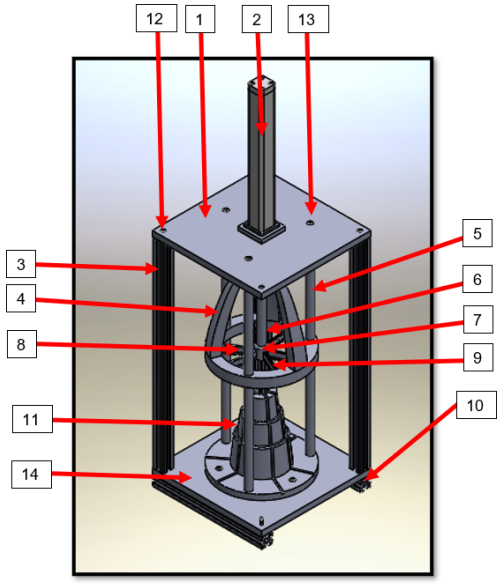


Figura 5. Ensamble final y partes del prototipo (imagen propia).

Las características y cantidades de cada elemento se describen en la siguiente tabla.

Tabla 2. Elementos del prototipo mecánico.

No. Del elemento	**Nombre del elemento**	**Cantidad**
1	Tapa superior	1
2	Actuador neumático	1
3	Perfil de aluminio de 30x30mm	4
4	Soporte superior	1
5	Guías del sistema de corte	3
6	Bastidor de sistema de corte	1
7	Pivote	1
8	Porta navajas	6
9	Cuchillas	6
10	Perfil de aluminio 30x30mm corto	2
11	Cono de sujeción	1
12	Tornillo M6 L25	8
13	Tornillo M8 L30	9
14	Base del cortador	1

3. Desarrollo.

Una vez obtenido el prototipo virtual de la máquina cortadora, se procedió a realizar la validación utilizando el método de elementos finitos a través del software Solidworks en el módulo Simulation para análisis y simulación, para ello se obtuvieron los resultados de los esfuerzos de Von Mises, desplazamientos y factores de seguridad de los elementos que se consideraron de mayor prioridad para asegurarnos un diseño eficiente y que cumpla con los requerimientos de diseño planteados al inicio del desarrollo del prototipo (3D CAD Portal, 2013).

Análisis de cuchillas.

Debido a que estos elementos estarán en contacto directo con los cubre polvos, fue de vital importancia comprobar que el material y el modelo diseñado cumplen con los valores óptimos de acuerdo con los valores propuestos, en este caso las cuchillas son de acero al carbono, resultando que aproximadamente podrán resistir un esfuerzo máximo de Von Mises de 96.94 MPa ver figura 6.

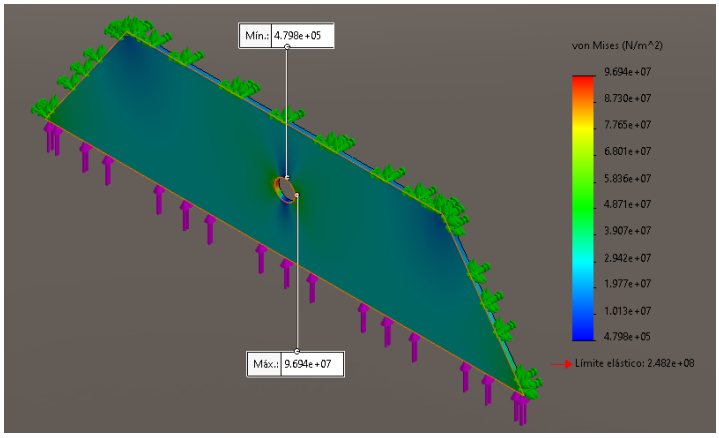


Figura 6. Distribución de esfuerzos de Von Mises para la cuchilla (imagen propia).

Con respecto al desplazamiento en el eje Y que es en la dirección en la cual se hará el movimiento de corte, se obtuvo que habrá un desplazamiento de 0.003 mm, ver figura 7, lo que es significativamente bajo de acuerdo con la resistencia del material del que está propuesta la cuchilla.

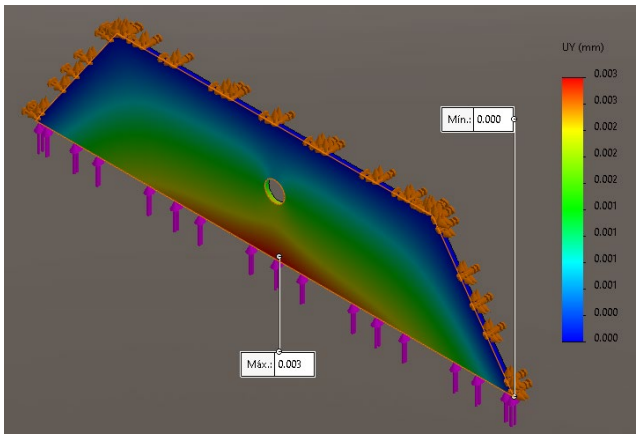


Figura 7. Distribución de desplazamientos en dirección Y de la cuchilla (imagen propia).

Para realizar el cálculo del factor de seguridad necesitamos la siguiente ecuación:

$$Factor\ de\ seguridad\ = \frac{Limite\ elastico\ del\ material}{Esfuerzo\ maximo\ de\ Von\ Mises} \quad \text{…….. Ecuación 3}$$

Reemplazando los valores obtenidos en Solidworks del módulo Simulation para los elementos diversos del prototipo obtenemos el siguiente resumen del análisis de piezas mecánico, ver tabla 3.

Tabla 3. Factores de seguridad del análisis de las principales piezas del prototipo.

Pieza	Factor de seguridad
Pivote	5.59
Cuchillas	2.56
Soporte superior	12.49
Porta navajas	1.29
Bastidor	2.03

De lo anterior observamos que al tener un valor mayor a 1, los componentes diseñados y analizados serán capaces de soportar las cargas reales sin presentar una falla estática, y se garantiza la resistencia de cade de estos componentes en funcionamiento real.

Conclusiones.

El desarrollo del prototipo mecánico de la máquina cortadora de cubrepolvos ha demostrado ser una herramienta versátil para la optimización del proceso de corte de estos elementos mecánicos denominados CVJ. Con este prototipo se demuestra la capacidad de aplicar la teoría y tecnología avanzada para la solución de problemas del mundo real y sentar las bases para futuras innovaciones en ingeniería en este tipo de desarrollo tecnológico aplicado.

Como se ha observado a lo largo de este trabajo, el diseño de un prototipo de la máquina cortadora es un proceso complejo que involucra una combinación de conocimientos técnicos, creatividad y habilidades de resolución de problemas.

Concluimos que este análisis y desarrollo del prototipo de diseño mediante un software de CAD juega un papel muy importante en el concepto de Industria 4.0, es así como con el uso de prototipos virtuales se realiza una mejor predicción sobre la viabilidad de un diseño en un tiempo más corto.

Referencias bibliográficas.

3D CAD Portal. (2013). *3D CAD Portal*. Obtenido de CAD Portal: http://www.3dcadportal.com/solid-works.html.

Mirlisenna, G. (2016). *Método de elementos finitos: ¿qué es?*. Recuperado el 22 de febrero de 2024, de: https://www.esss.co/es/blog/metodo-de-los-elementos-finitos-que-es/.

Shigley. En J. K. Richard G. Budynas. (2008). *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley*. Mexico: McGraw-Hill Educación. Recuperado en abril 2024.

Información de los autores.

Julián Alberto Oramas Nava, es estudiante de la carrera de Ingeniería Mecánica del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez. Se encuentra realizando la residencia profesional, titulada "Diseño y simulación de máquina cortadora de cubrepolvos". Cuenta con la certificación CSWA Solidworks en diseño mecánico.

Juan Carlos Niños Torres, es Ingeniero Mecánico egresado del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez, cuenta con la Maestría en Ciencias en Ingeniería Mecánica del Instituto Tecnológico de Celaya, así también con el Doctorado en Ingeniería Aplicada de la Universidad TENAM. Actualmente es Profesor Investigador del Departamento de Metal Mecánica del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez y Jefe de la División de Estudios Profesionales del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez del 2017-2023. Cuenta con el perfil PRODEP 2022-2025 como miembro del Cuerpo Académico Ingeniería Mecánica en la línea de investigación de Diseño Mecánico. Es miembro del comité de evaluadores del Consejo de Acreditación de la Enseñanza de la Ingeniería (CACEI A.C.) avalado por CIEES desde 2016.

Fernando Alfonso May Arrioja, Licenciado en Ingeniería Mecánica por el Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez, Maestro en Energías Renovables por la Universidad Politécnica de Chiapas y Doctor en Ingeniería Aplicada en el Colegio de Formación Educativa Tenam. Profesor de Carrera Enseñanza Superior en el Departamento de Metal-Mecánica del TecNM/Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez. Perfil Deseable desde 2016.

Ignacio Arrioja Cárdenas, es profesor de tiempo completo y jefe de proyectos de docencia en el departamento de Metal-Mecánica del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez/Tecnológico Nacional de México. Doctor en Ingeniería aplicada por el Colegio de Formación Educativa Tenam, Maestro en Ciencias en Ingeniería Mecánica por el Instituto Tecnológico de Veracruz, Maestro en Ciencias Físicas por Centro Mesoamericano de Física Teórica-Universidad Autónoma de Chiapas e Ingeniero Mecánico por el Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez.

Roberto Carlos García Gómez, Licenciatura en Ingeniería Mecánica, con tres posgrados: Especialidad en Mecatrónica, Maestría en Ciencias en Ingeniería Mecánica, Doctorado en Procesos de Manufactura. Egresado del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez, Jefe de Proyectos de Vinculación del Departamento de Metal-Mecánica, Docente del Departamento de Metal-Mecánica del TecNM/Instituto tecnológico de Tuxtla Gutiérrez.

María Guadalupe Monjarás Velasco, Obtuvo el grado de Doctor en Sistemas Computacionales en 2012, el grado de Maestra en Ciencias de la Computación con especialidad en Sistemas de Información y Bases de Datos en 2009, terminó la carrera de Ingeniería en sistemas Computacionales en el año 2006, actualmente es Jefa del Departamento de Sistemas y Computación del I. T. de Tuxtla Gutiérrez desde 2016, asesora proyectos en concursos académicos. Miembro del comité Académico del ITTG.

Sistema de molido y embolsado de café a baja escala.

Low scale coffee grinding and bagging system.

Raúl Moreno Rincón* (1).
Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez.
raull.mr@tuxtla.tecnm.mx.

Aldo Esteban Aguilar Castillejos (2). Tecnológico Nacional de México//Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez, aldo.ac@tuxtla.tecnm.mx.

Álvaro Hernández Sol (3). Tecnológico Nacional de México//Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez, alvaro.hs@tuxtla.tecnm.mx.

Josué de Jesús Díaz Pérez: (4). Estudiante, Tecnológico Nacional de México//Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez, L19270633@tuxtla.tecnm.mx.

María Guadalupe Monjarás Velasco (5). Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez, maria.mv@tuxtla.tecnm.mx.

*corresponding author.

Artículo recibido en diciembre 04, 2024; aceptado en diciembre 20, 2024.

Resumen.

Considerando que se sabe que en 2021/22, se consumieron a nivel mundial aproximadamente 170,5 millones de sacos de 60 kilogramos de café. Esta cantidad supuso un incremento de casi 5,5 millones con respecto al consumo global de esta bebida caliente registrado durante la temporada anterior, sabemos también que, en México, el consumo anual de café es de 1.7kg. por persona, y que el 84% de los hogares mexicanos consume café soluble. Aunque, en los últimos años ganó protagonismo el café tostado y molido, que creció 20.8% con la entrada de la cuarentena. Los puntos de venta que están ganando relevancia para el consumo de café en México son las Cafeterías y Restaurantes. Sin embargo, en seis de cada 10 hogares mexicanos se acostumbra a beber café, lo que ha mantenido a esta bebida caliente en buenas posiciones de ventas durante el segundo trimestre de 2023, en comparación con el mismo periodo del año pasado. Se sabe también que los estados que más consumen café son: Colima, Chiapas, Guerrero, Hidalgo, Jalisco, Nayarit, Oaxaca, Puebla, Querétaro, San Luis Potosí, Tabasco y Veracruz, (SADR, 2024). Debido a lo anterior una propuesta de un prototipo capaz de moler y embolsar café previamente tostado vendría a ser una herramienta para los expendios y distribuidores de café de baja escala que son proveedores de pequeños hoteles, cafeterías, restaurantes y público en general para cubrir sus necesidades. Es en este marco de solicitudes planteadas por las organizaciones de caficultores, distribuidores y exportadores de café en donde el TECNM campus Tuxtla Gutiérrez, tiene la oportunidad de responderles con desarrollo tecnológico e innovación

Palabras claves: Baja escala, expendios, proveedores, sacos de 60 Kg.

Abstract.

Considering that it is known that in 2021/22, approximately 170.5 million 60-kilogram bags of coffee were consumed worldwide. This amount represented an increase of almost 5.5 million with respect to the global consumption of this hot beverage recorded during the previous season, we also know that, in Mexico, the annual consumption of coffee is 1.7kg. per person, and that 84% of Mexican households consume soluble coffee. However, in recent years roasted and ground coffee has gained prominence, growing 20.8% with the entry of the quarantine. The points of sale that are gaining relevance for coffee consumption in Mexico are Coffee Shops and Restaurants. However, six out of every 10 Mexican households are accustomed to drinking coffee, which has kept this hot beverage in good sales positions during the second quarter of 2023, compared to the same period last year. It is also known that the states that consume the most coffee are: Colima, Chiapas, Guerrero, Hidalgo, Jalisco, Nayarit, Oaxaca, Puebla, Querétaro, San Luis Potosí, Tabasco and Veracruz, (SADR, 2024). Due to the above, a proposal for a prototype capable of grinding and bagging previously roasted coffee would be a tool for small-scale coffee shops and distributors that are suppliers of small hotels, cafes, restaurants and the general public to meet their needs. It is within this framework of requests made by coffee growers' organizations, coffee distributors and exporters where TECNM campus Tuxtla Gutiérrez has the opportunity to respond with technological development and innovation.

Keywords: 60 Kg bags, low scale, vending, suppliers.

1. Introducción.

En México, la caficultura se considera como una actividad estratégica fundamental, debido a que permite la integración de cadenas productivas, la generación de divisas y empleos, el modo de subsistencia de muchos pequeños productores y alrededor de 30 grupos indígenas. México es el país con la quinta mayor extensión de tierras cultivadas de café en el mundo. Anualmente, se exportan 100 mil toneladas del grano a 47 naciones, entre las cuales, Estados Unidos es el principal destino con poco más de la mitad de dichas exportaciones. Por lo que en México se considera, el café como un cultivo estratégico; su producción emplea a más de 500 mil productores de 15 entidades federativas y 480 municipios. Un 9,8% de los mexicanos son verdaderos consumidores de esta bebida, es por lo que al año gastan MXN 2.260 (USD120) en café y lo consumen por lo menos 38.7 veces. Los principales motivos de su consumo son; el café es rico en antioxidantes y otros compuestos y minerales como el magnesio, que tienen beneficios comprobados para la salud. Es de sobra conocido que contiene cafeína, que ayuda a mantener la energía y la concentración, además de aportar muchos más beneficios. El café es muy consumido en la sociedad, por su sabor, por sus efectos positivos y como forma de socialización y presenta un efecto estimulante.

En la actualidad, la industria del café enfrenta desafíos significativos relacionados con la eficiencia en el proceso de producción y la calidad del producto final. En este contexto, la automatización y la integración de tecnologías avanzadas se presentan como soluciones clave para mejorar estos procesos. El reto importante es responder con un sistema capaz de moler y embolsar el café, que ocupe un espacio relativamente pequeño y que no requiera de instalaciones especiales de energía, con la intensión de que sea atractivo y accesible a los expendios y distribuidores de café para cafeterías, restaurantes y público en general, con la intensión de sostener el crecimiento del consumo de esta bebida entre las personas de la comunidad y visitantes y con ello apoyar a los caficultores y a la economía nacional, (SADR 2022).

2. Métodos.

Diseño, construcción e implementación de hardware del sistema.

Tras una investigación exhaustiva, se decidió diseñar el sistema en tres etapas; etapa de molido, etapa de empaquetado y etapa de comunicación, además de un panel en donde se ubica toda la circuitería del sistema para un mejor mantenimiento y actualización. Así también el diseño y construcción de una estructura de aluminio tubular que pueda

albergar a todas estas etapas y que presente un tamaño cómodo y de poco peso que permita un trasladarlo fácil, ver figura 1. Nuestro proceso inicia en la etapa de molido, (Moreno, et al 1999).

Etapa de molido.

Durante la investigación se determinó que un motor de licuadora con su sistema de aspas, proporcionan una solución eficaz para el molido del café, junto con una pieza de colador diseñada para instalarse dentro del sistema del molido nos permite establecer el tamaño de los granos del café, respetando el tamaño pequeño del sistema y la eficiencia del molido en comparación con otras opciones probadas anteriormente incluyendo el molido manual comúnmente utilizado, nuestra propuesta cuenta con un silo alimentador de café que proporciona la materia prima a la moledora y un depósito que recibe el café ya molido ver figura 2, que nos permitirá continuar a la siguiente etapa.

Figura 1. Construcción de la estructura general.

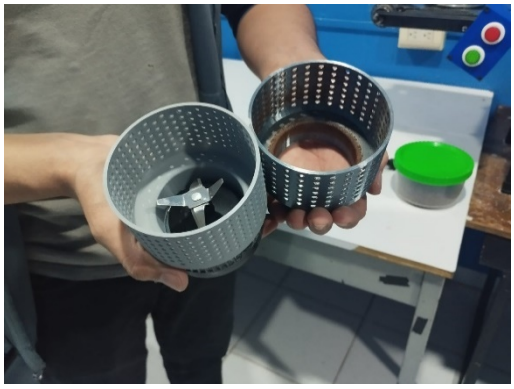


Figura 2. Sistema de molido de café.

Etapa de empaquetado.

El sistema de empaquetado se diseñó a partir de la aplicación de un rollo de de material termosensible en donde este viene doblado y enrollado, este material requiere de la aplicación de un sellado por calor a través de una barra térmica de sellado con presión. Para tal fin se implementó una selladora para un sellado vertical que permite dar la forma de un tubo al material de empaquetado y otra selladora para sellados horizontal que permite con una primera aplicación de sellado para formar la bolsa y con una segunda aplicación de sellado horizontal, cerrar la bolsa después de haber sido llenada, lo cual garantiza una operación eficiente y precisa.

Panel de control.

El controlador utilizado para todo el proceso fue un PLC de la marca Siemens 1200 CPU 215 de 24 VCD por su facilidad de aplicación y compatibilidad con múltiples elementos industriales que utilizamos. Lo cual es crucial para la integración del sistema de producción, monitoreo y control, facilitando la capacidad de supervisión del proceso y mantenimiento del sistema. La fuente de alimentación es de 24 V cd. ya que el PLC y la mayoría de los elementos eléctricos utilizados trabajan a esta tensión,

Consideraciones adicionales.

Independientemente del interruptor ubicado en el panel de control que inicializa y prepara el sistema. Se aplicaron 2 botones, uno de Arranque y otro de Paro del proceso junto con una torreta indicadora del estado de las etapas del proceso, los cuales deben de estar visibles y de fácil acceso. Esta disposición mejora la facilidad de operación y la seguridad durante el funcionamiento del prototipo, (Nieto, et al 2006).

3. Desarrollo.

Diseño, construcción e implementación de hardware del sistema.

Durante el desarrollo del diseño y construcción del sistema de molido y empaquetado de café se fueron presentando diferentes ajustes, necesarios para el acoplamiento de los diferentes elementos eléctricos, electroneumáticos y de comunicación y sensores requeridos para lograr el control de las etapas.

Etapa de molido.

Para controlar el molido de café y no tener el sistema de molienda funcionando al agotarse el café en el silo alimentador fue necesario colocar un sensor de presencia (LJC18A3-B-Z/BY) que permite controlar el nivel de vaciado de este, para que no se quede sin material. De igual manera en el depósito que recibe el café ya molido, se colocó un par de sensores (LJC18A3-H-Z/BX y LJC18A3-B-Z/BX) para detectar que hay café molido y que se alcanzó la cantidad establecida para una bolsa, lo cual permitirá detener su llenado de la etapa anterior y dejar caer a través de un tubo el café hacia la bolsa para su cierre, También fue necesario implementar un motor actuador en el silo para dar movimiento al café. Es importante mencionar que debido a que el motor de molido es de una licuadora normal este trabaja con V ca. Por lo que fue necesario implementar un relevador (kuep-3d35-24) para convertir la orden de encendido y apagado del PLC de 24 V cd. a 110 V ca. Además, como el motor de movimiento en el silo es de 12 V cd. se implementó un regulador de voltaje (LM 2596) de 24 a 12 a 3.5 Amperes (IFM, 2023).

Etapa de empaquetado.

En la etapa de empaquetado fue necesario instrumentar un pistón neumático (con su respectiva electroválvula) en cada barra selladora (uno para la selladora vertical y otro para la selladora horizontal) para tener la presión necesaria durante el sellado, así también se diseñó, (SolidWorks, 2023) e imprimió en impresora 3D, (Zhang, 2024) dos juegos de engranes que, por medio de un motor reductor de engranajes de turbina de 12V cd. en cada uno de ellos, estos permiten avanzar y detener el deslizamiento de las bolsas durante el empaquetado. También en este caso debido a que las selladoras trabajan con 110 V ca. se requirió de la implementación de un relevador en cada una de ellas para convertir la orden de encendido y apagado del PLC de 24 V cd. a 110 V ca. Como los motores utilizados en los juegos de engranes son de 12 V cd. Se implementaron un regulador de voltaje de 24 a 12 en cada uno de ellos, ver figura 3.

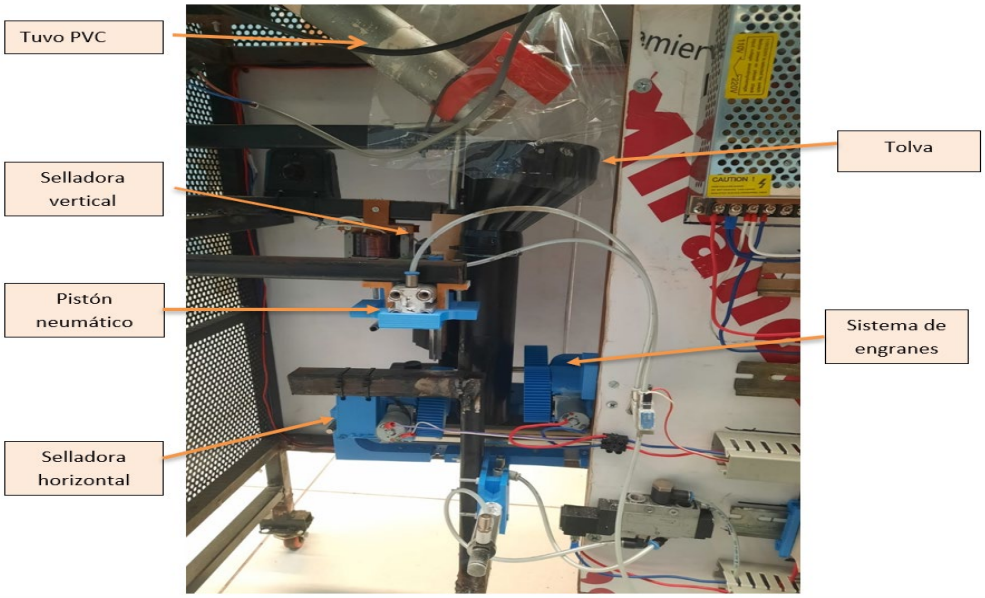


Figura 3. Sistema de empaquetado del Café.

Panel de control.

Debido a todo lo anterior, el panel de control creció para dar espacio a esta nueva circuitería; relevadores para convertir la señal del PLC de 24 V cd. a señal de línea (110 V ca.), reguladores para bajar la señal de fuente 24 V cd. A 12 V cd., así también dio espacio a las dos electroválvulas de los pistones del sistema de presión de las barras selladoras. Esto nos permite tener el sistema eléctrico en un solo panel con acceso directo y fácil para su mantenimiento. Ver figura 4.

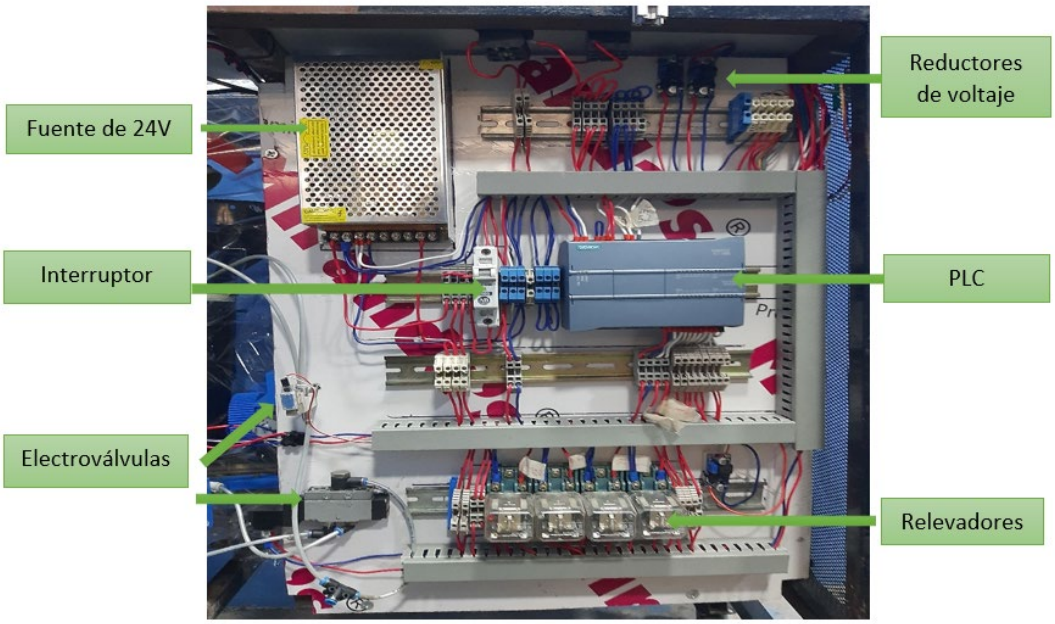


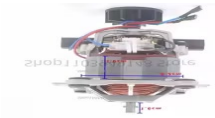
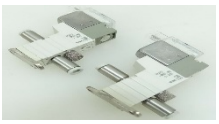
Figura 4. Panel de control.

Consideraciones adicionales.

Se decidió ubicar los botones de Arranque y Paro del proceso y su torreta en la parte superior del prototipo cumpliendo con lo establecido de fácil y rápida visualización y acceso, ver figura 5, (Nieto, et al 2006).

Figura 5. Arranque y Paro del proceso de Molido y Empaquetado.

Tabla 1. Resumen de elementos fundamentales utilizados en el sistema.

Elemento	características	
PROTOTIPO Dimensión: Material de construcción:	 1.21M X 0.91M X .97M Estructura de metal, perfil de aluminio	
FUENTE DE ALIMENTACIÓN	24 V cd. a 20 A	
CONTROLADOR Ubicación Tensión de alimentación (V): Consumo (valor nominal): Con memoria integrada: Número de entradas digitales: Número de salidas Dimensiones(mm):	PLC Siemens 1200 CPU215 cd/cd/cd Panel de Control 24 500mA, solo CPU 50 KB 14 10 90 x 130 x 62	
SENSOR: LJC18A3-B-Z/BY Ubicación Dimensiones (mm): Alcance (mm): Alimentación (V): Consumo de corriente (mA)	 Silo alimentador M18x1x60 10±10% 6-36 V cd 300 máx.	
SENSOR: LJC18A3-H-Z/BX Ubicación Dimensiones (mm): Alcance (mm): Alimentación (V): Consumo de corriente (mA)	 Deposito café molido D18mm*L70mm 5 6 - 36 V cd 20 máx.	
SENSOR: LJC18A3-B-Z/BX Ubicación Dimensiones (mm): Alcance (mm): Alimentación (V): Consumo de corriente (mA)	 Deposito café molido D18 mm cilindro 10 6 - 36 V cd 300 máx.	
MOTOR ACTUADOR Ubicación Alimentación (V): Potencia (W):	 Silo alimentador 12 V cd 25 máx.	
REDUCTOR DE ENGRANAJES DE TURBINA (2) Ubicación Dimensiones (mm): Alimentación (V): Rpm	 Juego de engranes 46x32x26 12 V cd 10	
MOTOR AC Ubicación Alimentación (V): Potencia (W):	 Moledora 110 V ac 550	
Electroválvula: SYJ312-5M-M3-F Alimentación (V): Rango de presión de funcionamiento (MPa): Frecuencia máxima de funcionamiento (HZ):	 5 0.15 a 0.7 10	
Relevador: kuep-3d35-24 (4) Voltaje de la bobina (V): Voltaje de conmutación: Corriente de la bobina (ma):	 24 150 V cc. máx. 51 máx.	
MAQUINA SELLADORA Alimentación (V): Potencia (W): Velocidad de sellado:	 110 V ca 450 8m/min	

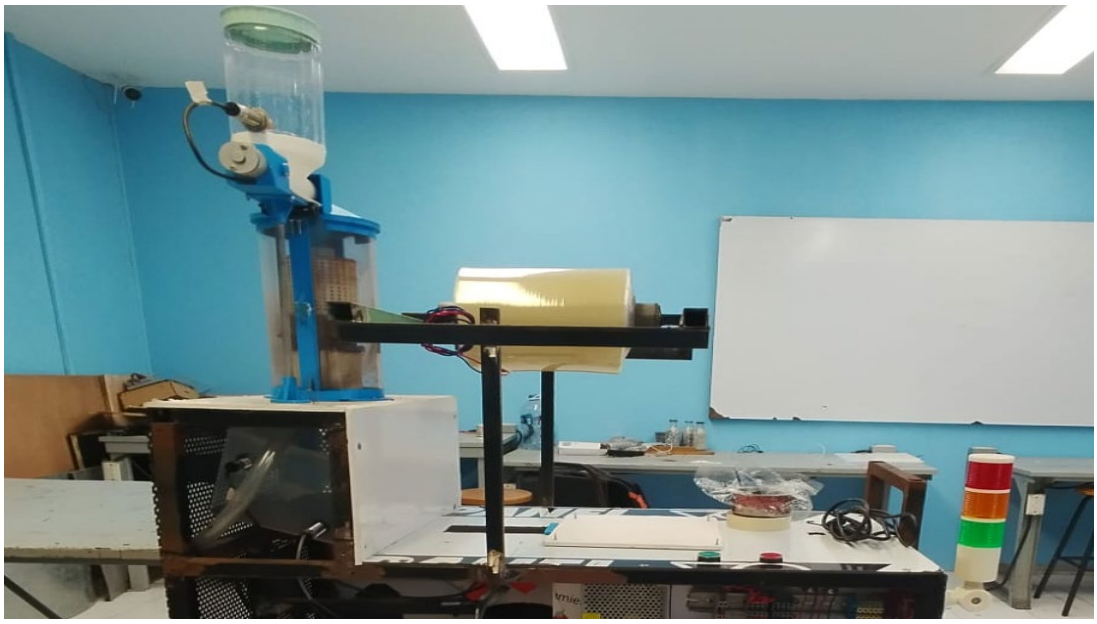


Figura 6. Prototipo del sistema de molido y empaquetado de café.

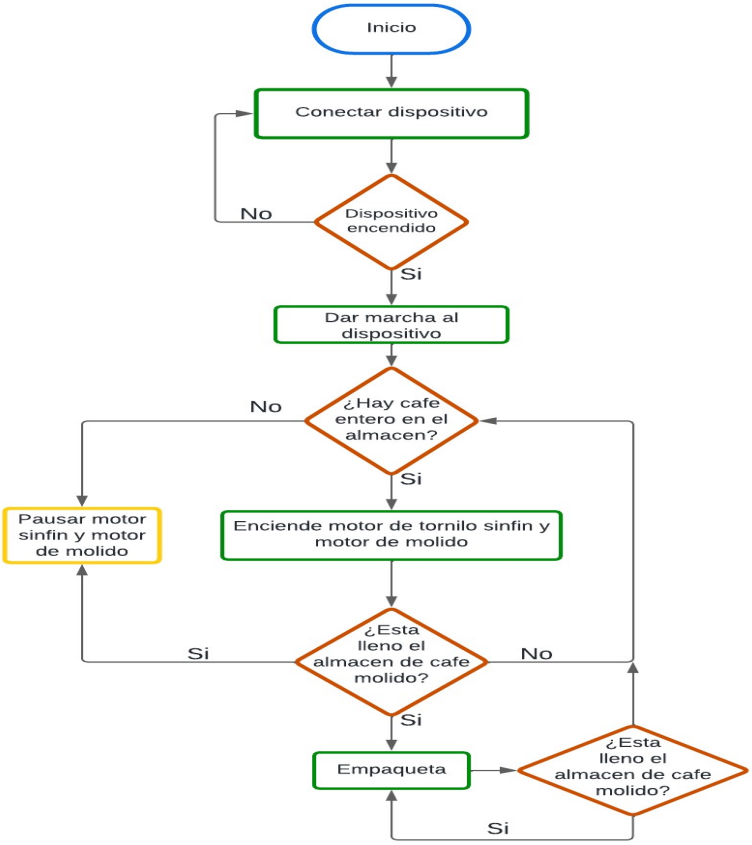


Figura 7. Diagrama de flujo del programa del PLC, (Gútiez, et al 2018).

Conclusiones.

El desarrollo del dispositivo para el molido y empaquetado de café ha demostrado ser una solución innovadora y efectiva para mejorar los procesos de producción en la industria del café. A través de este proyecto, se han alcanzado varios objetivos clave que destacan la viabilidad y los beneficios de la integración de tecnologías avanzadas en el procesamiento de café.

Eficiencia en el Proceso de Producción: El dispositivo diseñado combina de manera efectiva las etapas de molido y empaquetado, optimizando el flujo de trabajo y reduciendo el tiempo total necesario para estas operaciones. La automatización de ambos procesos no solo aumenta la velocidad de producción, sino que también garantiza una mayor consistencia en la calidad del café procesado.

Precisión y Adaptabilidad: La capacidad de ajustar la dosificación del empaquetado permite que el dispositivo se adapte a diversas especificaciones de productos, satisfaciendo las necesidades de diferentes mercados y tipos de café. Esta flexibilidad es crucial para mantener la competitividad en un sector en constante evolución.

Sostenibilidad y Robustez: El diseño del dispositivo ha sido concebido con un enfoque en la eficiencia energética y la durabilidad. La utilización de componentes de alta calidad y un diseño ergonómico aseguran un funcionamiento fiable en condiciones exigentes, lo que contribuye a una vida útil prolongada del equipo y a una menor necesidad de mantenimiento.

Créditos.

Los autores agradecen al Tecnológico Nacional de México por el financiamiento del proyecto **20909.24-P,** de la convocatoria de apoyo a proyectos de desarrollo tecnológico e innovación 2024 y las facilidades del Tecnológico Nacional de México campus Tuxtla Gutiérrez para la realización de este trabajo.

Referencias bibliográficas.

Gútiez, I. (2023). "*TIA Portal: ¿Qué es? - Programación Siemens"*. Recuperado 10 marzo de 2024 Iñigo Gútiez Chagartegui en LinkedIn: Propósitos para el 2023 - PROGRAMACIÓN SIEMENS

IFM. (2023). "*Ifm electronic*". Recuperado 10 de enero de 2023 https://www.ifm.com/mx/es.

Moreno, E. G. (1999). "*Automatización de procesos industriales*". Valencia: Universidad Politécnica de Valencia.

Nieto, C. (2006). "Manufactura y automatización". Bogotá. http://scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-56092006000300014.

SADR (2022) "*Cómo se procesa el café*." gob. mx Recuperado 15 enero de 2024. https://www.ocu.org/alimentacion/cafe/informe/procesado-del-cafe.

SADR (2024) "*Cultivo de café en México*." gob. mx. Recuperado 15 enero de 2024. https://www.gob.mx/agricultura/articulos/cultivo-de-cafe-en-mexico.

SolidWorks. (2023). "*Qué es y para qué sirve Solidworks",* Recuperado 01 de agosto de 2023, https://solid-bi.es/solidworks/.

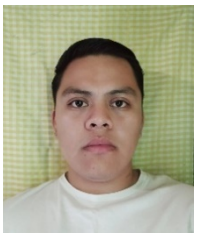
Zhang, Y. (2024). "*¿Qué es la impresión 3D*? Proceso, tipos y aplicaciones". Proleantech | Custom Parts On-Demand Manufacturing; ProLean Tech. https://proleantech.com/es/what-is-3d-printing/**.**

Información de los autores.

Raúl Moreno Rincón, Ingeniero en Comunicaciones y Electrónica, egresado de la ESIME IPN, en la ciudad de México, D.F. Maestro en Ciencias en Ingeniería Electrónica egresado del Instituto Tecnológico de Toluca. Maestro en Educación Superior por la Universidad Autónoma de Chiapas. Certificado en SolidWorks Associate. Es profesor de tiempo completo en el área de Ingeniería Electrónica del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez y jefe de Proyectos de Docencia de Ingeniería Electrónica. Es investigador desde 1999 y Colabora en la línea de investigación "Robótica" de ingeniería electrónica y es parte del cuerpo académico en formación "sistema de control inteligentes". Ha realizado proyectos como: Sistema de alarma para personas con deficiencia auditiva basado en XBEE, robot de cafetería, araña hexápoda, sistema de control de animatronic, entre otros.

Aldo Esteban Aguilar Castillejos, obtuvo el grado de Maestro en Ciencias en Ing. Mecatrónica en el Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez (ITTG) en el 2011 y el título de Ingeniero en Electrónica en el mismo Instituto, con especialidad en Instrumentación y Control. Cuenta con la certificación CSWA, CSWP, CSWP Avanzado de SolidWorks; así como un Diplomado en el motor de desarrollo de videojuegos UNREAL, Diplomado en Microsoft Teams y Diplomado en competencias para la enseñanza de las ciencias. Acreedor al premio de desempeño a la excelencia EGEL 2018 y Miembro del Colegio de Ingenieros Mecánicos y Electricistas del Estado de Chiapas. Ha participado en el desarrollo de proyectos de investigación (PEI Conacyt) para empresas privadas, desarrollo de patentes con desarrollos tecnológicos en el Estado de Chiapas y fue parte del cuerpo de investigación de la Universidad del Valle de México, campus Tuxtla Gutiérrez hasta el 2022. Actualmente es parte del cuerpo académico en formación "Sistemas de control inteligentes" del I.T.T.G. con desarrollo de proyectos financiados por CONACYT y el TecNM con campos de interés en: dispositivos opto-mecatrónicos, manufactura, sensores de fibra óptica, instrumentación y control.

Álvaro Hernández Sol, es Ingeniero en electrónica, egresado del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez ITTG, en Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. Es profesor de tiempo completo en el área de Ingeniería Electrónica del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez y es investigador desde 1997. Certificado en SolidWorks Associate. Jefe de proyectos de investigación de ingeniería electrónica desde el 2001. Fundo y asesora el "Club de robótica del ITTG", colabora en la línea de investigación de "Robótica" de Ingeniería electrónica. Dirige el área de trabajo en "Robótica" y es parte del cuerpo académico "Sistema de control inteligentes". Ha realizado investigaciones en el área de los sistemas alternativos de comunicación y en sistemas robóticos, Así como en sistemas traductores de lenguaje.



Josué de Jesús Díaz Pérez, es estudiante de octavo semestre de Ingeniería en Electrónica por el Tecnológico Nacional de México campus Tuxtla Gutiérrez. Ha realizado diversos proyectos como parte de su formación, actualmente se encuentra participando en el proyecto “Sistema de molido y embolsado de café a baja escala”, como residente. Esta Certificado en SolidWorks Associate.

María Guadalupe Monjarás Velasco, obtuvo el grado de Doctor en Sistemas Computacionales en 2012, el grado de Maestra en Ciencias de la Computación con especialidad en Sistemas de Información y Bases de Datos en 2009, terminó la carrera de Ingeniería en Sistemas Computacionales en el año 2006, actualmente es jefa del Departamento de Sistemas y Computación del I. T. de Tuxtla Gutiérrez desde 2016, asesora proyectos en concursos académicos. Miembro del comité Académico del ITTG.

Uso de herramienta computacional para el análisis de la compensación en adelanto por el Lugar Geométrico de las Raíces.

Use of computational tool for the analysis of advance compensation by the Geometric Root Locus.

Luis Tomás García Andrade* (1).
Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez.
luis.ga1@tuxtla.tecnm.mx.

Vicente León Orozco (2). Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez,
vicente.lo@tuxtla.tecnm.mx.

Jorge Díaz Hernández (3). Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez,
jorge.dh@tuxtla.tecnm.mx.

Osbaldo Ysaac García Ramos (4). Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez,
osbaldo.gr@tuxtla.tecnm.mx.

*corresponding author.

Artículo recibido en julio 30, 2024; aceptado en septiembre 06, 2024.

Resumen.

La compensación en adelanto es una técnica que se utiliza para mejorar la estabilidad y el rendimiento de los sistemas de control. Consiste en añadir un término derivativo a la función de transferencia del controlador, lo que introduce un adelanto de fase en la respuesta del sistema. El lugar geométrico de las raíces es un método gráfico que se utiliza para analizar la estabilidad de los sistemas de control, representa las raíces de la ecuación característica del sistema en el plano complejo. Las herramientas computacionales son útiles para analizar la compensación en adelanto utilizando el lugar geométrico de las raíces. Estas herramientas permiten realizar cálculos complejos y visualizar el comportamiento del sistema de control de manera gráfica.

Palabras claves: Control, estabilidad, función de transferencia.

Abstract.

Lead compensation is a technique used to improve the stability and performance of control systems. It consists of adding a derivative term to the controller transfer function, which introduces a phase advance in the system response. The root locus is a graphical method used to analyze the stability of control systems; it represents the roots of the characteristic equation of the system in the complex plane. Computational tools are useful for analyzing feedforward compensation using the root locus. These tools allow you to perform complex calculations and visualize the behavior of the control system graphically.

Keywords: Control, stability, transfer function.

1. Introducción.

En la construcción de un sistema de control, sabemos que una modificación adecuada de la dinámica de la planta puede ser una forma sencilla de cumplir las especificaciones de comportamiento. Esto sin embargo puede que no sea posible en muchas situaciones prácticas ya que la planta está fijada y no es modificable (Ogata, 2010).

En la práctica, el lugar de las raíces de un sistema puede indicar que no se puede lograr el comportamiento deseado simplemente modificando la ganancia (o algún otro parámetro ajustable). De hecho, en algunos casos, el sistema puede no ser estable para todos los valores de la ganancia (o de otro parámetro ajustable). Entonces es necesario modificar el lugar de las raíces para cumplir las especificaciones de comportamiento (Ogata, 2010).

El diseño por el método del lugar de las raíces se basa en redibujar el lugar de las raíces del sistema añadiendo polos y ceros a la función de transferencia en lazo abierto del sistema y hacer que el lugar de las raíces pase por los polos en lazo cerrado deseados en el plano *s*. La característica del diseño del lugar de las raíces es que se basa en la hipótesis de que el sistema en lazo cerrado tiene un par de polos dominantes. Esto significa que los efectos de los ceros y polos adicionales no afectan mucho a las características de la respuesta (Ogata, 2010).

El LGR indica, de manera gráfica, la evolución de un sistema en lazo cerrado para variaciones de ganancia, mientras la información suministrada en dicha gráfica muestra las características y las limitaciones propias de cada sistema, de aquí que con el conocimiento de su comportamiento es posible seleccionar un punto específico del LGR, según los requisitos a satisfacer por parte del diseñador (Hernández, 2010).

MATLAB, acrónimo de MATrix LABoratory, es hoy en día una de las principales herramientas de software existentes en el mercado para el cálculo matemático, análisis de datos, simulación y visualización de datos. Desde su aparición en los años 70, ha ido introduciéndose con fuerza en el ámbito científico y universitario. En la actualidad es algo más que una herramienta de ayuda de cálculo avanzado, es también un lenguaje de programación con una elevada potencia de cálculo matricial (Pinto, 2010).

Dentro del campo del control automático, MATLAB ha desarrollado un gran número de funciones para el análisis de los sistemas de regulación. Todas ellas se encuentran dentro de la Control System Toolbox, y se permiten el análisis en el dominio del tiempo y la frecuencia, tanto de sistemas continuos como discretos; asimismo permite la definición de los sistemas en distintos formatos y la conversión entre los mismos (Pinto, 2010).

Para diseñar un compensador en adelanto utilizando el lugar geométrico de las raíces, se siguen los siguientes pasos:

- Determinar la función de transferencia del sistema sin compensar.
- Dibujar el lugar geométrico de las raíces del sistema sin compensar.
- Determinar la ubicación deseada de las raíces del sistema compensado.
- Añadir un término derivativo a la función de transferencia del controlador para mover las raíces del lugar geométrico de las raíces hacia la ubicación deseada.
- Verificar la estabilidad del sistema compensado mediante el lugar geométrico de las raíces.

Ventajas de la Compensación en Adelanto:

- Mejora la estabilidad del sistema.
- Aumenta el margen de ganancia.
- Reduce el tiempo de respuesta.
- Mejora el rechazo a perturbaciones.

Desventajas de la Compensación en Adelanto:

- Puede aumentar el ruido en el sistema.
- Puede causar sobre impulso en la respuesta del sistema.

2. Métodos.

Utilizando el método del lugar geométrico de las raíces (bisectriz) diseñe un compensador en adelanto del sistema de control de la siguiente figura:

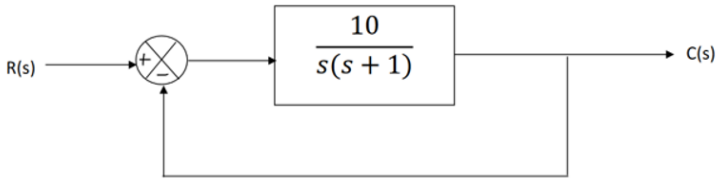


Figura 1. Sistema de control.

Se desea un compensador Gc(s) tal que los polos de lazo cerrado tengan un factor de amortiguamiento ζ = 0.5 y una frecuencia natural ωn = 3 rad/seg

Se graficó con los datos de la planta sin compensar y compensada lo siguiente:

- La respuesta al escalón.
- La respuesta a la rampa.

Con esos resultados verifique si el compensador cumple con los requerimientos de desempeño.

La herramienta computacional elegida es Matlab versión R2024a Update 5 (24.1.02661297).

La función de transferencia de lazo abierto es.

$$G(s) = \frac{10}{s(s+1)}$$

La gráfica del lugar de las raíces de lazo abierto se muestra en la siguiente figura.

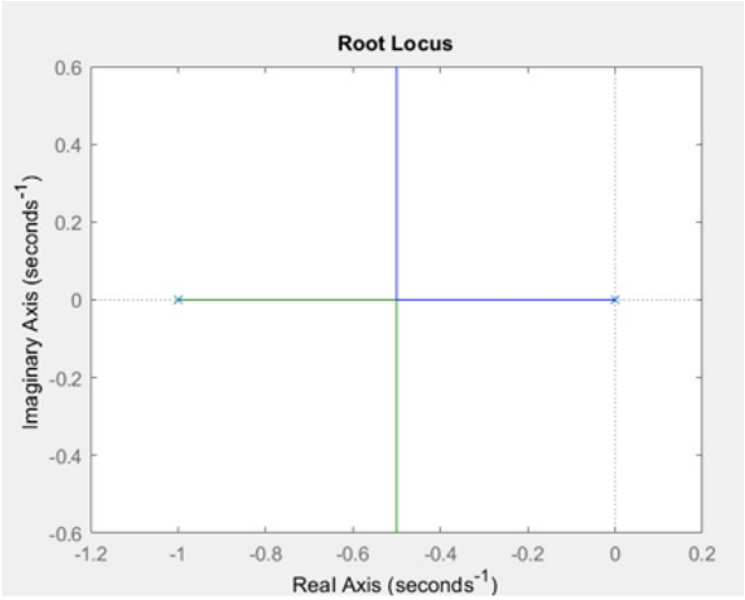


Figura 2. Lugar de las raíces de lazo abierto.

La función de transferencia de lazo cerrado de la planta es.

$$\frac{C(s)}{R(s)} = \frac{10}{s^2 + s + 10}$$

La gráfica del lugar de las raíces de lazo cerrado se muestra en la figura siguiente.

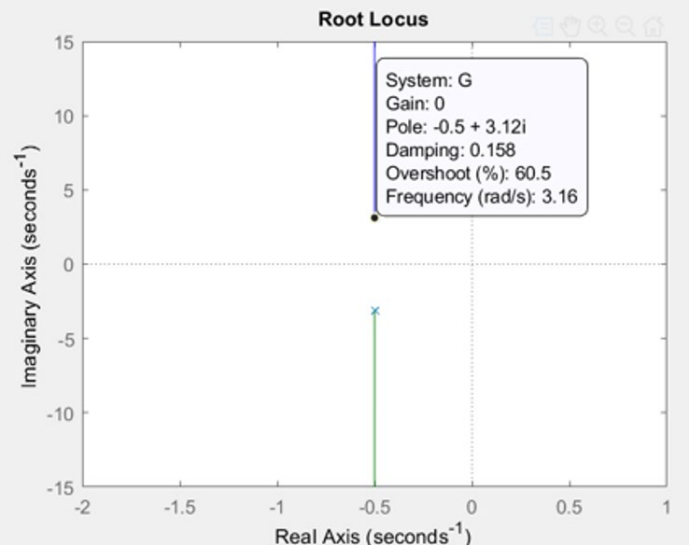


Figura 3. Lugar de las raíces de lazo cerrado.

Los polos de lazo cerrado se encuentran en.

$$s = -0.5 \pm 3.12\, i$$

El factor de amortiguamiento de los polos de lazo cerrado es.

$$\zeta = 0.158$$

La frecuencia natural de los polos de lazo cerrado es.

$$\omega_n = 3.16$$

Código 1. Obtención del lugar de las raíces para la función de transferencia de lazo abierto (Garcia, 2024)

```
s=tf('s');
G=10/(s*(s+1));
rlocus (G);
```

Código 2. Obtención de la gráfica del lugar geométrico de las raíces del polinomio deseado y de lazo abierto (Garcia, 2024)

```
Glc = feedback(G,1);
rlocus (Glc);
```

3. Desarrollo.

Construcción de la función de transferencia del polinomio deseado para la obtención de los polos deseados con los datos proporcionados.

$$s^2 + 2\zeta\omega n + \omega n^2 = s^2 + 3s + 9$$

Código 3. Obtención del lugar de las raíces para la función de transferencia de lazo cerrado (Garcia, 2024)

```
Gd=3/(s^2+3*s+9);
rlocus(Gd);
hold on
rlocus (G);
legend ('Polos deseados','Polos de lazo abierto');
title('Polos deseados y raíces de lazo abierto');
hold off
```

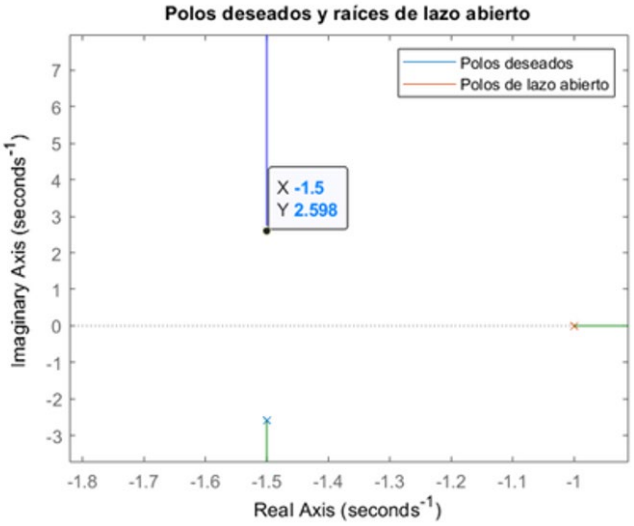


Figura 4. Lugar de las raíces de polos deseados y lazo abierto.

Obtención de la función de transferencia del compensador con el método de la bisectriz.

Estas gráficas obtenidas sirven para el cálculo de la deficiencia de ángulo, así como del cero, el polo y la ganancia del compensador en adelanto haciendo uso del método de la bisectriz.

Código 4. Función de transferencia del compensador, la ganancia y del compensador con la ganancia ajustada (García, 2024)

```
K = 1.2287;
Gc=K*((s+1.9432)/(s+4.6458));
Ga=G*Gc;
```

Respuesta al escalón y a la rampa de los sistemas sin compensar y compensado.

Por último, se obtienen las gráficas de la respuesta al escalón y a la rampa del sistema sin compensar y compensado para poder realizar el análisis y determinar si cumple con las especificaciones proporcionadas

Código 5. Gráfica de la respuesta al escalón y a la rampa del sistema sin compensar y compensado (García, 2024)

```
G=feedback(G,1);
step (G);
title('Respuesta al escalón sin compensar y compensada')
hold on
Ga=feedback(Ga,1);
step(Ga);
legend ('G(s)','Gc(s)G(s)');
hold off

t=0:0.1:30;
x=t;
lsim(G,x,t);
hold on
lsim(Ga,x,t);
legend ('G(s)','Gc(s)G(s)')
title('Respuesta a la rampa sin compensar y compensada')
hold off
```

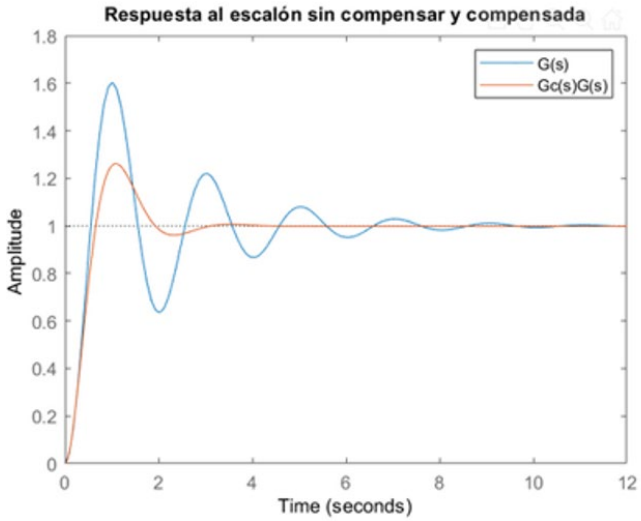


Figura 5. Gráfica de la respuesta al escalón.

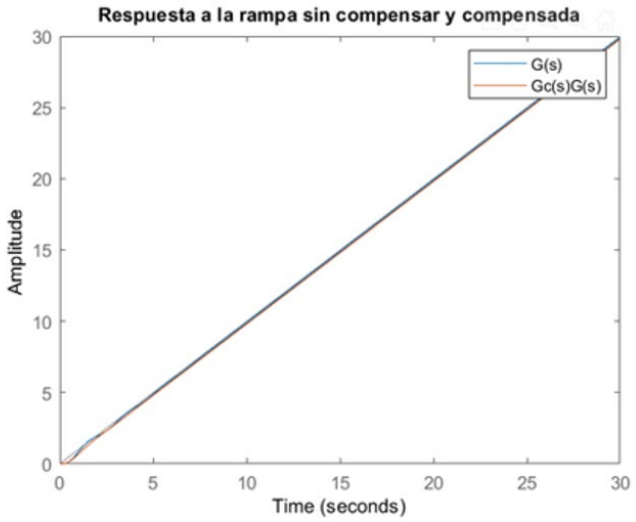


Figura 6. Gráfica de la respuesta a la rampa.

Conclusiones.

El uso de Matlab para el análisis y diseño de compensadores por el método del lugar geométrico de las raíces proporciona una alternativa en el tema de sistemas de control al facilitar y simplificar los cálculos y visualización de los resultados.

Es una herramienta para el desarrollo de recursos educativos siendo una opción en el desarrollo de actividades didácticas en cursos de educación superior.

Créditos.

Los autores agradecen a MathWorks® por conducto de María Elena Gavilán Alfonso por las facilidades proporcionadas en el Taller Virtual para Educadores Enseñando Pensamiento Computacional con Matlab.

Referencias bibliográficas.

García A., Luis. (2024). ltandrade3/Compensacion-En-Adelanto-LGR: Primera Revisión. https://zenodo.org/doi/10.5281/zenodo.13145193.

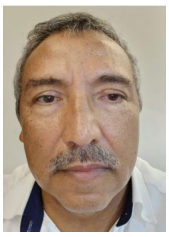
Hernández G., Ricardo (2010). Introducción a los sistemas de control: Conceptos, aplicaciones y simulación con MATLAB. Pearson Educación S.A.

Ogata, Katsuhiko. (2010). Ingeniería de Control Moderna. Pearson Educación S.A, 537–553.

Pinto B., Enrique, Matía E., Fernando (2010). Fundamentos de control con MATLAB. Pearson Educación S.A.

Información de los autores.

Luis Tomás García Andrade, Ingeniero en Electrónica por el Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez, Maestro en Administración de Redes y Telecomunicaciones por el Instituto de Estudios Superiores de Chiapas, Docente del Departamento de Eléctrica y Electrónica del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez.

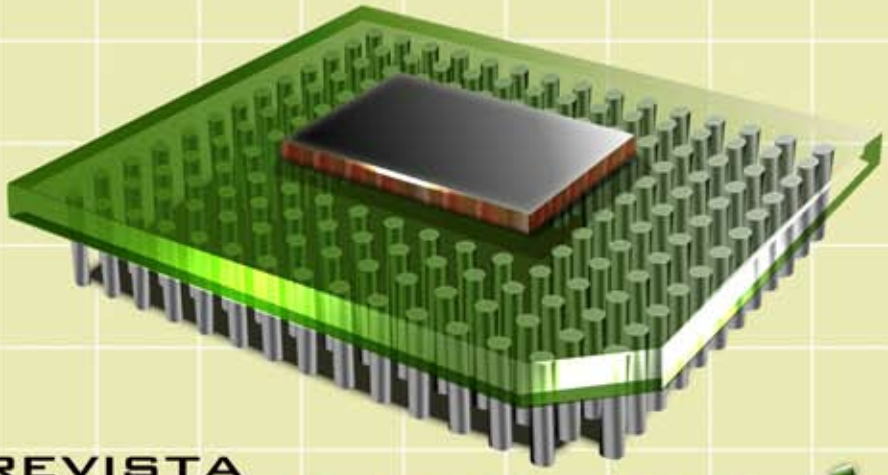


Vicente León Orozco, Ingeniero electricista, egresado del Instituto Tecnológico de Cd Madero, Tamps. Docente tiempo completo, en el Departamento de ingeniería Eléctrica y electrónica. Jefe de proyectos de vinculación de la carrera de ingeniería electrónica. Integrante del Colegio de Ingenieros mecánicos y Electricistas del estado de Chiapas. Desde el 2005, integrante de diferentes consejos directivos, como primer secretario. Diseño y ejecución de diversos diplomados de ahorro y uso eficiente de energía, en colaboración CFE-TecNM y SEMAHN. Jefe del Depto. de Ing. Eléctrica y electrónica. en la iniciativa privado, Mantenimiento de equipo electrónico

Jorge Díaz Hernández, Ingeniero Electricista por el Instituto Politécnico Nacional, Maestría en Ciencias con especialidad de Matemática Educativa por la Universidad Autónoma de Chiapas, Docente del Departamento de Eléctrica y Electrónica del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez.

Osbaldo Ysaac García Ramos, Ingeniero en Electrónica, es Maestro en Ciencias en Ingeniería Mecatrónica egresado del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez. Tiene Cursos especialización en Mecatrónica en Universidad de Esslingen Alemania, en la empresa Emco Salzburgo Austria, en la empresa Festo Estados Unidos y Festo México. Es académico de tiempo completo del Departamento de Eléctrica-Electrónica del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez. Tiene 18 años de experiencia docente. Ha desarrollado proyectos de investigación siendo responsable técnico de desarrollo de proyectos financiados por CONACyT y

empresas privadas. Cuenta con la certificación de Diseñador mecánico CSWA, CSWP, CSWP Avanzado por la empresa SolidWorks. Obtuvo premio de desempeño a la excelencia EGEL 2018 en Ingeniería Mecatrónica y es Miembro del Colegio de Ingenieros Mecánicos y Electricistas del Estado de Chiapas. Con campos de interés en: Automatización de procesos, Industry 4.0, Tecnologías CAD-CAM-CAE, Instrumentación y control.



REVISTA

TECNOLOGÍA DIGITAL

www.revistatecnologiadigital.com