"Semillero de Investigadores"

ISSN: 2007-9400

"Tecnología para la sociedad"

www.revistatecnologiadigital.com

Volumen 13 Número 2

Desde 2011

Año 2023

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.
Privada el Roble 179 col. 5 plumas, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. C.P. 29020, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México.
www.tecnologiadidactica.com

Revista Tecnología Digital. Año 13, Volumen 13, Número 2 de 22 de diciembre de 2023 es una publicación anual on-line www.revistatecnologiadigital.com editada por Héctor Guerra Crespo oficinas en Privada el Roble 179 colonia 5 Plumas, Tuxtla Gutiérrez Chiapas, México C.P. 29020. 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 2023.

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.
Detección de zonas de aterrizaje seguro de drones mediante Machine Learning.	 1
Diseño de móvil omnidireccional con brazo robótico de 3 grados de libertad.	 13
Diseño del Data Warehouse para identificar la deserción e índice de reprobación escolar caso Ingeniería en Sistemas Computacionales del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez.	 27
Diseño virtual de un prototipo para ensayos a tensión de materiales polímeros en base a la norma ASTM D638-14.	 37
Diseño y construcción de un sistema automatizado de control de temperatura para el ahorro de agua en la ducha.	 55
Diseño y desarrollo de sistema de entrenamiento de control de procesos basado en Industry 4.0.	 71
Las relaciones de dependencias como una característica del estilo de escritura.	 89
Modelado 3D de plantas de fresa por medio de segmentación semántica YOLOv7.	 103
Prototipo de un sistema embebido para monitoreo en tiempo real de variables ambientales de un ecosistema forestal.	 115
Técnicas de visión artificial y su aplicación en el sector salud. Caso práctico: Conteo de huevecillos mosquito Aedes Aegypti.	 129
Sistema receptor y clasificador de botellas y latas con registro de usuarios vía wifi.	 139
Sistema SCADA con software Ignition para monitoreo y registro de parámetros críticos de un motor de inducción trifásico.	 155
Una aproximación de identificación del modus operandi de los tratantes de personas en redes sociales virtuales.	 171

Detección de zonas de aterrizaje seguro de drones mediante Machine Learning.

Detection of safe landing zones for drones using Machine Learning.

Daniel Robles González (1).
Estudiante Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez.
L19270577@tuxtla.tecnm.mx.

Néstor Antonio Morales Navarro* (2). I. T. de Tuxtla Gutiérrez, nestor.mn@tuxtla.tecnm.mx.

Cesar Morales López (3). Estudiante I. T. de Tuxtla Gutiérrez. L19270572@tuxtla.tecnm.mx.

Madaín Pérez Patricio (4). I. T. de Tuxtla Gutiérrez, madain.pp@tuxtla.tecnm.mx.

Aída Guillermina Cossío Martínez (5). I. T. de Tuxtla Gutiérrez, aida.cm@tuxtla.tecnm.mx.

*corresponding author.

Artículo recibido en noviembre 28, 2023; aceptado en diciembre 14, 2023.

Resumen.

El presente articulo describe la propuesta de un modelo de inteligencia artificial basado en Deep Learning orientado a la detección de zonas de aterrizaje. El aterrizaje de un dron debe realizarse en zonas planas y lo suficientemente grande, sin embargo, en ocasiones no siempre se da en las condiciones óptimas, por lo que a veces resulta en daños al equipo. Para lograr minimizar daños, es necesario analizar y procesar datos del entorno del dron en tiempo real, que permita identificar y seleccionar las zonas de aterrizaje más seguras y accesibles. En este proyecto, se propone un algoritmo que realiza la detección de zonas de aterrizaje por medio de YOLOv7, que nos proporciona la segmentación semántica de objetos para clasificarlos. Por lo tanto, proponemos el uso de dos clases llamadas "aterrizables" y "no-aterrizables", donde los resultados son mostrados en este trabajo.

Palabras claves: Dron, inteligencia artificial, machine learning, segmentación, YOLOv7.

Abstract.

This article describes the proposal of an artificial intelligence model based on Deep Learning aimed at detecting landing zones. Drone landings should occur in flat and sufficiently large areas; however, they don't always happen under optimal conditions, resulting at times in equipment damage. To minimize such damages, it is necessary to analyze and process real-time drone environment data to identify and select the safest and most accessible landing zones. This project proposes an algorithm that performs landing zone detection using YOLOv7, which provides semantic object segmentation for classification. Therefore, we propose the use of two classes named 'aterrizables' and 'no-aterrizables,' and the results are showcased in this work.

Keywords: Artificial intelligence, drone, machine learning, segmentation, YOLOv7.

1. Introducción.

En la última década, el uso de drones ha experimentado un notable aumento en muchas partes del mundo esto debido a que su costo disminuyó, haciéndolo más accesible para muchos usuarios (Wihbey, 2017). Por lo tanto, el uso de drones se aplica en sectores como la agricultura, logística, vigilancia y entretenimiento. Lo anterior, propicia que se coloquen aditamentos a los drones como cámaras, micrófonos, sensores o actuadores proporcionando una mayor funcionalidad (Estrada, 2018).

Sin embargo, la operación segura y eficiente de estos dispositivos aéreos autónomos plantea desafíos significativos, especialmente en lo que respecta a la identificación y selección de áreas seguras para su descenso. En ausencia de experiencia en zonas de vuelo, resulta improbable poder identificar el lugar más adecuado para llevar a cabo un aterrizaje seguro. La familiaridad con estas áreas es esencial para determinar dónde se encuentra la mejor ubicación (Shon 2018).

Aterrizar un dron de manera segura en un lugar específico puede presentar una serie de desafíos, ya que requiere una precisión considerable y la consideración de múltiples factores, que como menciona Adrián (2023) como pilotos de drones, debemos analizar el entorno y elegir el mejor sitio para despegar o aterrizar nuestra aeronave. Superficies con polvo, inclinadas, con hierba o superficies que simplemente no sean planas pondrán en peligro las hélices y motores de nuestro dron.

El Machine Learning, una rama de la inteligencia artificial que se enfoca en el desarrollo de algoritmos que permiten a las máquinas aprender patrones y tomar decisiones a partir de datos, ha emergido como una herramienta poderosa en la identificación de zonas seguras para la navegación de drones. Este enfoque innovador no solo busca mejorar la precisión y fiabilidad de las rutas de vuelo, sino también minimizar los riesgos asociados con la interacción de los drones en entornos dinámicos y variables.

El minimizar riesgos a la hora de aterrizar los drones ha significado un reto para los pilotos, por lo que han surgido diversas soluciones propuestas por diferentes autores. Gil (2016) aborda este reto con el desarrollo de un sistema de aterrizaje automático sobre una plataforma de carga para un Vehículo Aéreo no Tripulado (UAV, del inglés Unmanned Aerial Vehicle). Para lograrlo, su sistema tiene varios componentes como sensores, actuadores y un microcontrolador, que ayudan a detectar la plataforma de carga y ajustar la posición y velocidad del dron para aterrizar seguro.

Delbergue (2021) aborda este desafío desde una perspectiva un tanto diferente ya que el propone el desarrollar un algoritmo de visión por computadora, destinado a supervisar el aterrizaje automático de un dron sobre una plataforma objetivo. Teniendo sobre su plataforma una letra “H” para el control basado en visión por computadora, debido que se trata de un control de visión, cualquier detección realizada por la cámara tiene un impacto directo de la aeronave.

A diferencia de los trabajos mencionados anteriormente, nuestro proyecto tiene una mayor accesibilidad, ya que no se limita solamente a un objetivo fijo, sino que debido al entrenamiento se realizó este puede reconocer una mayor variedad de áreas para el aterrizaje, como calles, campos o cualquier otra zona libre de riesgos.

2. Métodos.

Herramientas.

Yolov7.

Se decidió utilizar una herramienta que nos permitió detectar objetos en tiempo real que lleva por nombre YOLO (You Only Look Once) que utiliza técnicas de aprendizaje automático (Machine Learning), específicamente aprendizaje profundo (Deep Learning). En el contexto del Deep Learning, nos referimos a algoritmos que poseen la capacidad de emular las acciones del cerebro humano a través de redes neuronales artificiales. Estas redes, como describe DataScientest (2021), se componen de docenas o incluso cientos de "capas" de neuronas, cada una de las cuales recibe e interpreta información de la capa anterior (figura 1).

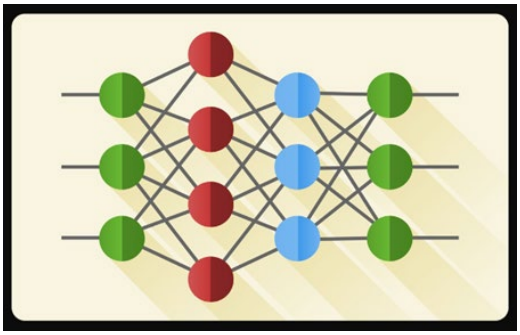


Figura 1. Redes neuronales en Deep Learning

Partiendo de que la evolución del machine learning es el Deep learning en el que se utilizan redes neuronales convolucionales. La elección de la arquitectura de una red neuronal convolucional (CNN) se refiere a decidir qué diseño específico de capas y conexiones se utilizará para construir el modelo. La elección de la arquitectura de una CNN es crucial, porque diferentes arquitecturas están diseñadas para abordar diferentes tipos de tareas y desafíos en el procesamiento de imágenes. La implementación más conocida de YOLO, como YOLOv3 y versiones posteriores, se basa en Redes Neuronales Convolucionales (CNN) para realizar la tarea de detección de objetos en imágenes y videos.

Las CNN designan una subcategoría de redes neuronales y hoy en día son uno de los modelos de clasificación de imágenes considerados como más eficaces (DataScientest, 2022). Bagnato (2018) destaca que las CNN son un tipo de Red Neuronal Artificial que se asemeja al córtex visual del ojo humano al procesar sus capas. Esto les permite identificar diversas características en las entradas, lo que a su vez les permite reconocer objetos.

El modelo YOLO es entrenado utilizando conjuntos de datos etiquetados que contienen imágenes con objetos de interés y sus correspondientes etiquetas que indican la clase y la ubicación de los objetos. Durante el entrenamiento, la red neuronal ajusta sus pesos y parámetros internos para minimizar la diferencia entre las predicciones del modelo y las etiquetas reales del conjunto de datos.

Su principal característica es que realiza la detección de objetos en una sola pasada a través de la red neuronal, en lugar de dividir la imagen en regiones y realizar múltiples predicciones como en algunos métodos anteriores.

Roboflow.

Roboflow es una aplicación web que ayuda a los usuarios a crear modelos de visión por computadora de manera más eficiente. Ofrece una variedad de funcionalidades, que incluyen la creación de proyectos, la carga de conjuntos de datos, la gestión del flujo de trabajo de etiquetado, la exportación de conjuntos de datos, así como el entrenamiento, las pruebas y la implementación de modelos.

Para este proyecto se eligió específicamente para la parte de etiquetado de las imágenes debido a que cuenta con características como:

- Utilizar modelos previamente entrenados para aplicar etiquetas automáticamente.
- Acelerar los flujos de trabajo de anotaciones manuales con etiquetado asistido por IA.
- API de anotación automática. Etiqueta automáticamente grandes lotes de datos mediante programación.
- Ver un historial de todos los cambios realizados en una imagen.Enfoque Segmentación semántica

Una red neuronal convolucional puede aplicarse a clasificación, detección o segmentación de objetos, dependiendo del uso que se le quiera dar. Para el proyecto se decidió utilizar segmentación de objetos que se refiere al proceso de dividir una imagen en una cuadrícula y asignar predicciones a cada celda de esa cuadrícula.

En YOLO, se usa la segmentación semántica para detectar objetos de manera eficiente y simultánea en toda la imagen, a diferencia de otros enfoques de segmentación que se centran en subdividir una imagen en regiones. YOLO asigna una etiqueta semántica a cada píxel de la imagen, clasificando así cada región según su contenido (figura 2). Por ejemplo, identifica píxeles que corresponden a clases como persona, automóvil, árbol, etc.

Figura 2. Segmentación semántica.

3. Desarrollo.

Análisis de las posibles muestras.

Se eligieron imágenes con terreno irregular, inclinado y desfavorable para el entrenamiento y pruebas de descenso de los drones. Esta elección fue estratégica, buscando identificar lugares que ofrecieran condiciones óptimas para el avance del proyecto. Se utilizó un conjunto de 200 imágenes a color y de profundidad que están disponibles en el trabajo de Schleiss et al. (2022). Estas imágenes abarcan tanto entornos urbanos como rurales; los entornos rurales exhiben campos de cultivo, árboles, ríos, lagos, y más, mientras que los entornos urbanos muestran edificios, vehículos, calles, autopistas y otros elementos característicos. Se considero este dataset porque tiene diversidad de entornos y eso nos da una visión de cómo funciona nuestra propuesta en distintos escenarios (figura 3).

Figura 3. Conjunto de muestras.

Elección del enfoque de clasificación de imágenes.

La segmentación semántica se eligió sobre la detección de objetos debido a su precisión al separar objetos en una imagen. A diferencia de los Bounding Boxes, que pueden incluir áreas no relacionadas, la segmentación permite identificar y separar objetos de manera clara como se observa e la figura 4. Esta técnica es crucial en aplicaciones que requieren precisión visual, detectando bordes y contornos de objetos. En la determinación de zonas aterrizables para drones, ayuda a identificar áreas libres de obstáculos como árboles o edificaciones, mejorando la seguridad y eficiencia operativa.

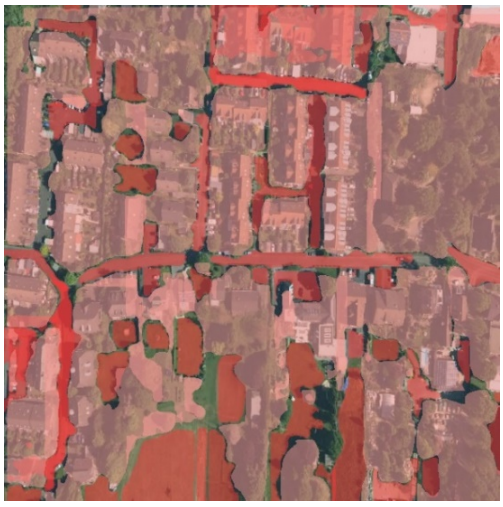


Figura 4. Ejemplo de segmentación.

Etiquetado de las muestras.

Este punto se enfoca en el proceso de etiquetado de imágenes con el propósito de entrenar la red neuronal, lo cual le permitirá reconocer patrones y características específicas. Para este trabajo se utilizó la herramienta llamada Roboflow (figura 5), debido a que facilita la administración de datos, permitiendo crear conjuntos de imágenes etiquetadas, donde el usuario puede cargar las imágenes, y etiquetarlas manualmente o utilizar herramientas automáticas para hacerlo más rápido y generar conjuntos de datos exactos.

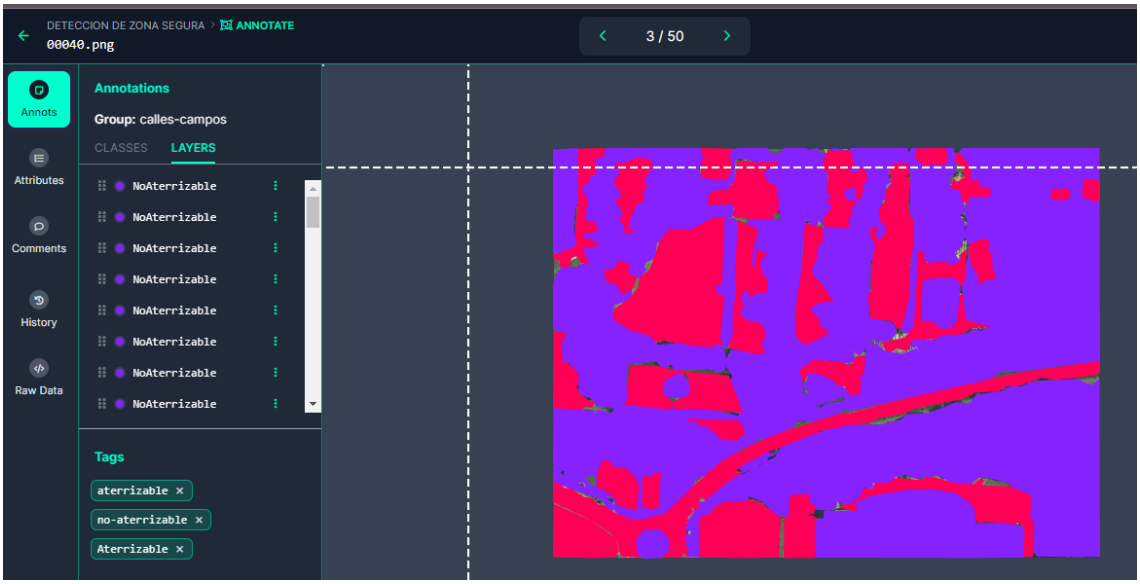


Figura 5. Herramienta Roboflow.

En el etiquetado, las imágenes deben ser analizadas a profundidad, con tiempo y detenimiento, debido a que si se quieren obtener buenos resultados para el entrenamiento se deben etiquetar con exactitud cada una de las zonas. Para el proyecto se utilizaron dos clases que fueron las zonas aterrizables (Rojo) y las zonas no aterrizables (Morado), en donde el criterio para poder establecer una etiqueta a cierto objeto dependerá de la persona que realice el etiquetado.

Elección de la arquitectura de la red neuronal.

El algoritmo que se eligió por la estructura de su CNN fue YOLOv7 que realiza la detección de objetos a través de la red neuronal, en lugar de hacer múltiples procesamientos como otros enfoques. Esto hace que Yolo sea más rápido y eficiente en términos computacionales, siendo capaz de realizar detección de objetos en tiempo real. A pesar de que YOLO se centra en detectar objetos en lugar de segmentar imágenes, otra razón para elegirlo radica en su reputación por ser simple y fácil de implementar. En comparación con enfoques más complejos para la segmentación, la simplicidad de YOLO hace que sea más accesible para aquellos que buscan realizar tareas de segmentación sin enfrentar una curva de aprendizaje lenta.

Entrenamiento de la red neuronal del algoritmo elegido.

En este apartado se llevó a cabo el entrenamiento de la red neuronal, haciendo uso del dataset etiquetado previamente, utilizando los parámetros específicos de la versión del algoritmo. Para el entrenamiento se hizo uso de la herramienta Google Colab, debido a que este permite programar y ejecutar sin necesidad de configurar un entorno de desarrollo en el equipo local.

Posteriormente, se realizó la instalación de los requerimientos para poder ejecutar los códigos del entrenamiento, después se hizo la descarga del dataset que se obtuvo de Roboflow, donde se incluían las 200 imágenes en tres

carpetas: train, test y valid, y también un archivo .yaml el cual contienen el número de clases, los nombres de estas y la ruta de cada una de las carpetas.

Teniendo todo lo anterior, se procedió al entrenamiento en el que se colocaron parámetros como la ruta del archivo que contiene los pesos por defecto del YOLOv7, el tamaño del batch en el que se colocaron 4, el número de épocas que para mejores resultados se puso en 200 y la ruta del archivo .yaml. como se muestra en la figura 6.

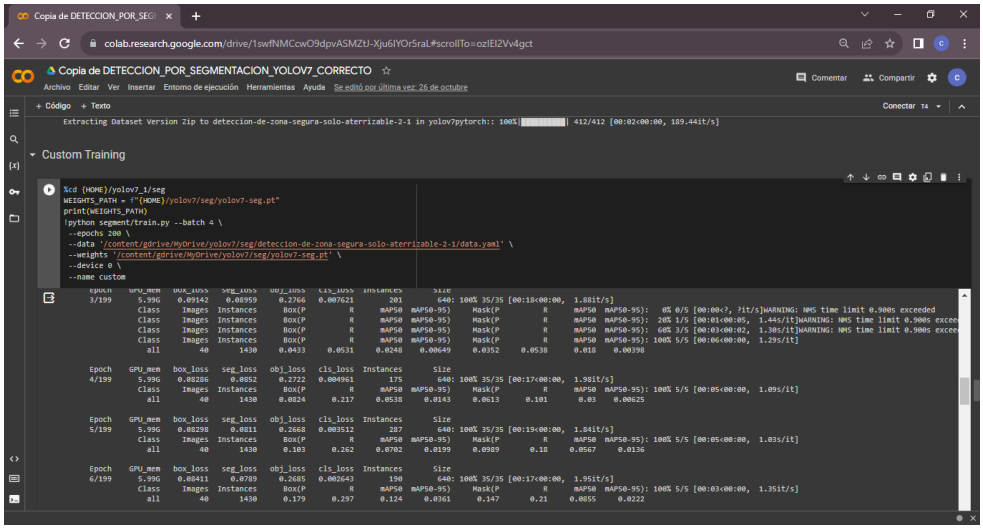


Figura 6. Proceso de entrenamiento.

Una vez finalizado el entrenamiento se creó un archivo que contiene los pesos nuevos que será el que contendrá el modelo de detección de aterrizaje de zonas seguras que necesitaremos para hacer las pruebas de que tan eficaz fue todo el proceso que se realizó.

Resultados.

El entrenamiento se llevó a cabo en dos instancias: la primera se establece la detección de dos clases, tanto las zonas aterrizables como las no aterrizables. La segunda se estableció una clase definida como zonas aterrizables. Para evaluar el desempeño del algoritmo de entrenamiento, se empleó una matriz de confusión, que proporcionó una visión detallada al comparar las predicciones del modelo con las clases reales en los datos de prueba.

En el primer entrenamiento, los resultados se observan en la figura 7 en el que la clase "Aterrizable" tuvo una precisión del 59 por ciento, se presenta un 3 por ciento en el que fue erróneamente identificado como aterrizable en objetos que no son aterrizables, y un 38 por ciento fue detectado en zonas que no pertenecen a ninguna clase. En cuanto a la clase "No aterrizable", fueron detectados correctamente en un 55 por ciento, un 4 por ciento fue incorrectamente detectado como no aterrizable en objetos que eran aterrizables, y un 41 por ciento fue detectado en áreas que no pertenecían a ninguna clase. Respecto a los objetos que debían ser detectados con una clase específica, pero fueron identificados como si no pertenecieran a ninguna, el 46 por ciento eran no aterrizables y el 54 por ciento eran aterrizables.

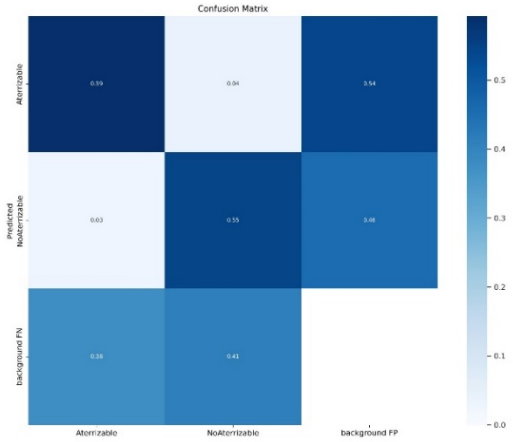


Figura 7. Matriz de confusión zonas aterrizables y no aterrizables.

Para el segundo entrenamiento, en el cual solo se detectaron las zonas aterrizables un 65 por ciento fue correctamente identificado como aterrizable. El 35 por ciento restante se detectó en regiones de la imagen que no pertenecían a ninguna clase. Además, el 100 por ciento de los objetos que no fueron detectados con una clase específica que debían ser etiquetados fueron clasificados como aterrizables, dado que en este modelo solo se consideraba una clase, como se ilustra en la figura 8.

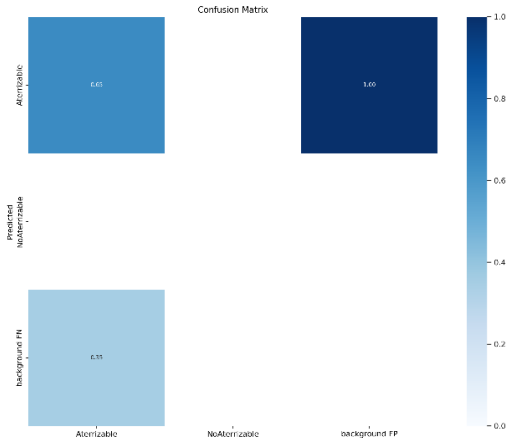


Figura 8. Matriz de confusión zonas aterrizables.

En la figura 9 se muestran los resultados de detección del primer modelo, donde la identificación de áreas es interpretada como pertenecientes a ambas categorías. Estas áreas son marcadas en color rojo para las zonas consideradas aterrizables y en color rosado para las no aterrizables. Además, se observa que en algunas calles que deben ser consideradas como aterrizables, no se detectan. Asimismo, se aprecia que áreas que deberían ser consideradas como no aterrizables, principalmente árboles y vehículos, no son detectadas.

Figura 9. Resultados del primer modelo.

Respecto al segundo modelo, se decidió entrenarlo con una sola clase (figura 10) con el propósito de mejorar la precisión en la identificación de las zonas aptas para el aterrizaje. El resultado obtenido reveló la detección de áreas consideradas aterrizables, pero estas incluían objetos de tamaño reducido que el modelo interpretó erróneamente como un área aterrizable, como fue el caso de algunos árboles y vehículos. Por consiguiente, esta interpretación no es precisa. Asimismo, se identificaron zonas con detecciones duplicadas, señaladas por un tono rojo más intenso.

Figura 10. Resultados del segundo moldeo.

Conclusiones.

En este artículo, hemos explorado el uso del aprendizaje automático en la identificación de zonas seguras para el aterrizaje de drones. Específicamente, nos enfocamos en YOLOv7, un avanzado algoritmo de detección de objetos que ha demostrado su eficacia en esta tarea, aunque su desempeño en segmentación no sea igual de destacado.

A pesar de su principal enfoque en la detección de objetos, optamos por emplear YOLOv7 para segmentar zonas aterrizables y no aterrizables. Realizamos dos entrenamientos, y el segundo modelo, que identificaba exclusivamente zonas aterrizables, arrojó los mejores resultados teniendo como resultado una precisión del 65 por ciento.

El modelo obtenido podría ser utilizado por drones automáticos en situaciones de emergencia, como pérdida de batería, señal o daños en el dron, facilitando la detección automática de áreas de aterrizaje y asegurando un descenso seguro.

No obstante, reconocemos los desafíos pendientes, como la necesidad de recopilar y procesar grandes volúmenes de datos, así como mejorar aún más la precisión del algoritmo. El conjunto de datos utilizado para entrenar nuestro algoritmo fue limitado en tamaño. Creemos que la precisión del algoritmo podría aumentar significativamente si se empleara un conjunto de datos más robusto, aunque es esencial considerar el riesgo de sobreajuste durante el proceso de aprendizaje.

A pesar de estos desafíos, estamos convencidos del enorme potencial del aprendizaje automático para mejorar la seguridad en este contexto.

Referencias bibliográficas.

Adrian (2023). 12 errores de los pilotos de drones y las soluciones. https://www.droneguru.es/errores-pilotos-de-drones/

DataScientest (2021, 16 de diciembre). Convolutional Neural Network: definición y funcionamiento. https://datascientest.com/es/convolutional-neural-network-es

DataScientest (2022, 19 de abril). Deep Learning o Aprendizaje profundo: ¿qué es? https://datascientest.com/es/deep-learning-definicion

Estrada (2018). Uso de drones: retos y oportunidades. https://foroconsultivo.org.mx/INCyTU/documentos/Completa/INCYTU_18-016.pdf

Ignacio Bagnato. (2018, noviembre 29). ¿Cómo funcionan las Convolutional Neural Networks? Visión por Ordenador. Aprende Machine Learning. https://www.aprendemachinelearning.com/como-funcionan-las-convolutional-neural-networks-vision-por-ordenador/

John Wihbey (2017). Los geodatos generados mediante UAV mejoran las políticas de suelo desde América Latina hasta China. Lincoln Institute. https://www.lincolninst.edu/es/publications/articles/la-revolucion-los-drones

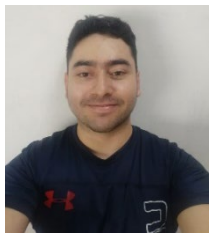
Luis Alfonso Delbergue Chico (2021). Aterrizaje de un dron de forma autónoma con perturbaciones mediante algoritmo de visión. Proyecto Fin de Carrera / Trabajo Fin de Grado, E.T.S.I. Industriales (UPM).

Marcos Enrique Gil Fernández (2016). Desarrollo de un sistema de aterrizaje autónomo sobre una plataforma de carga para un UAV tipo Parrot AR.Drone 2. [Proyecto Fin de Carrera / Trabajo Fin de Grado, Universidad Politecnica de Madrid]. Archivo Digital UPM. https://oa.upm.es/43909/1/TFG_MARCOS_ENRIQUE_GIL_FERNANDEZ.pdf

Schleiss Michael, Rouatbi Fahmi & Cremer Daniel (2022). VPAIR-Aerial Visual Place Recognition and Localization in Large-scale Outdoor Environments. arXiv preprint arXiv:2205.11567.

Shon (2022). ¿Necesito una plataforma de aterrizaje para mi dron?. https://drones-camera.com/es/do-i-need-a-landing-pad-for-my-drone/#google_vignette

Información de los autores.



Daniel Robles González, estudiante del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez, pasante de la carrera Ingeniería en Sistemas Computacionales.

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.

César Morales López, estudiante del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez, pasante de la carrera Ingeniería en Sistemas Computacionales.

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.

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, actualmente es perfil deseable y trabaja en la línea de investigación Tecnología de Información y Base de Datos.

Diseño de móvil omnidireccional con brazo robótico de 3 grados de libertad.

Design of omnidirectional mobile with a 3 degrees of freedom robotic arm.

Álvaro Hernández Sol (1).
Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez.
alvaro.hs@tuxtla.tecnm.mx.

Leobardo Antonio Utrilla Hernández* (2). Estudiante I. T. de Tuxtla Gutiérrez, L19270659@tuxtla.tecnm.mx.

Jesús Alberto Santeliz Alvarado (3). Estudiante I. T. de Tuxtla Gutiérrez, L19270689@tuxtla.tecnm.mx.

Raúl Moreno Rincón (4). I. T. de Tuxtla Gutiérrez, raul.mr@tuxtla.tecnm.mx.

Osbaldo Ysaac García Ramos (5). I. T. de Tuxtla Gutiérrez, osbaldo.gr@tuxtla.tecnm.mx.

Rubén Herrera Galicia (6). I. T. de Tuxtla Gutiérrez, ruben.hg@tuxtla.tecnm.mx.

*corresponding author.

Artículo recibido en noviembre 30, 2023; aceptado en diciembre 14, 2023.

Resumen.

Este artículo presenta el proceso de desarrollo, diseño y construcción de un móvil omnidireccional utilizando ruedas mecanum, además de un brazo robótico de 3 grados de libertad montado en la parte superior, todo controlado por medio inalámbrico (Bluetooth). Se programo en Arduino usando un microcontrolador Arduino Mega 2560. El prototipo desarrollado presenta como ventaja principal una estructura mecánica sólida y eficiente para las pruebas básicas de control, Se desarrollo con la finalidad de transportar objetos de un lugar a otro, además de instrumentar un móvil que alumnos de la licenciatura en electrónica puedan utilizar en la aplicación de métodos de navegación y control robustos.

Palabras claves: Grados de libertad, modelo 3D, omnidireccional, ruedas mecanum.

Abstract.

This article presents the development, design and construction process of an omnidirectional mobile using mecanum wheels, in addition to a 3 degrees of freedom robotic arm mounted on the top, all controlled by wireless means (Bluetooth). It was programmed in Arduino using an Arduino Mega 2560 microcontroller. The developed prototype presents as its main advantage a solid and efficient mechanical structure for basic control tests. It was developed with the purpose of transporting objects from one place to another, in addition to instrumenting a mobile that students of the degree in electronics can use in the application of robust navigation and control methods.

Keywords: 3D model, degrees of freedom, mecanum wheels, omnidirectional.

1. Introducción.

La Robótica siempre ha ofrecido al sector industrial un excelente compromiso entre productividad y flexibilidad, una calidad uniforme de los productos, una sistematización de los procesos y la posibilidad de supervisar y/o controlar las plantas según diferentes parámetros y criterios (Santiago, 2009). Se pueden destacar cuatro ventajas principales de los sistemas robotizados: aumento de la productividad, alta flexibilidad, excelente calidad y mejora de la seguridad. Como resultado, la robotización permite mejorar la calidad y las condiciones de trabajo, sustituyendo tareas penosas por otras que se efectúan en condiciones mucho más ventajosas. Pero, además, la irrupción de la automatización en los servicios y el ocio permite mejorar la calidad de vida de los ciudadanos (Bambino, 2008).

En la publicación de revista de robot (2023) se menciona que un robot móvil es un sistema con tecnología robótica destinado a transportar múltiples materiales o cargas de manera totalmente autónoma, además son empleados en los procesos logísticos, ya sea en un almacén automatizado o perfectamente integrados en las líneas de producción de una fábrica. La eficiencia y capacidad de adaptación a las necesidades del cliente ha permitido a los robots móviles expandirse fuera del sector industrial y adentrarse con total naturalidad en el sector servicios, en donde ahora podemos verlos en hospitales, oficinas o restaurantes.

Así mismo, la adquisición de equipos robóticos móviles didácticos es difícil debido a sus precios elevados. Uno de los robots móviles para educación e investigación más reconocido es desarrollado por la empresa KUKA® en el 2010, con el robot manipulador industrial de 5 grados de libertad más una pinza mecánica, el robot está montado sobre una plataforma móvil omnidireccional; el sistema completo es conocido como youBot®. Rivero en el 2021 presenta un trabajo de fin de carrera donde muestra cómo realizar la simulación de un robot KUKA® sobre un youbot®.

La robótica móvil involucra varias disciplinas: el diseño mecánico, el diseño electrónico y la teoría de control entre otras. (Barrientos, 2007). En dichas disciplinas se deben tener conocimientos de los diferentes elementos tecnológicos usados en el diseño y construcción de los robots, tales como materiales, sensores, actuadores, microcontroladores y métodos de control.

Los robots móviles más representativa de acuerdo con su sistema de locomoción son: con ruedas/cintas de desplazamiento (diferencial, síncrona, triciclo, ackerman, omnidireccionales y orugas) y con patas (bípedos, cuadrúpedos, hexápodos, etc.) (Barrientos, 2007, Ollero, 2001).

La decisión de qué tipo de locomoción utilizar depende de varios factores como lo son: la maniobrabilidad (facilidad en el manejo del robot), controlabilidad (relacionada con las posibles trayectorias que el robot pueda seguir), tracción (tipo de suelo), capacidad de subir pendientes, estabilidad (estabilidad estática y dinámica), eficiencia (tracción vs consumo), mantenimiento y alimentación (batería, gasolina, etc.) e impacto ambiental (motores eléctricos, motores de gasolina, etc.).

En la construcción del robot didáctico con brazo se construyó una estructura robusta basada en perfiles de aluminio, además del diseño de piezas para el brazo robótico en PLA. Se diseño la tarjeta de control usando un ATMEGA 2560, además del uso del giroscopio MPU5060.

2. Métodos.

En el caso de un manipulador de 3 grados de libertad como en la figura 1, se puede ver que las variables $q_1, q_2 \; y \; q_3$ se refieren a la posición de cada articulación del brazo robótico (Kelly, 2003). Esta posición de la articulación demuestra la posición (angular o lineal), dependiendo de la definición del marco de referencias seleccionado.

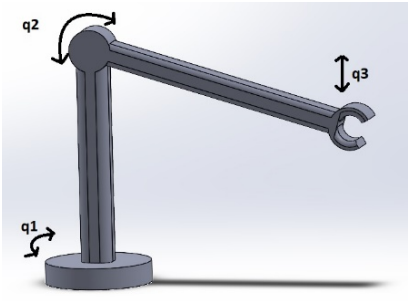


Figura 1. Grados de libertad.

Para el cálculo analítico a realizar se pueden agrupar de forma vectorial de la posición articular $\boldsymbol{q}$.

$$\boldsymbol{q} = \begin{bmatrix} q_1 \\ q_2 \\ q_3 \end{bmatrix}$$

La posición de la articulación $\boldsymbol{q}$ y la velocidad $\dot{\boldsymbol{q}} = \frac{d}{dt}\boldsymbol{q}$ (derivada temporal), se miden usando sensores convencionales colocados en cada una de las articulaciones del brazo.

En cada articulación el brazo debe contar con un actuador, electromecánico, neumático o hidráulico. Que generan las fuerzas que se transforman en movimiento de cada articulación, y como consecuencia se da el movimiento del manipulador para alcanzar una posición buscada. Entonces se pueden agrupar las fuerzas y ares generado por los actuadores del brazo en una vector $\boldsymbol{\tau}$.

$$\boldsymbol{\tau} = \begin{bmatrix} \tau_1 \\ \tau_2 \\ \tau_3 \end{bmatrix}$$

El proceso para lograr el diseño y construcción de este móvil omnidireccional se llevó a cabo mediante fases de desarrollo establecidas claramente para el cumplimiento de cada elemento fundamental del prototipo, las cuales fueron:

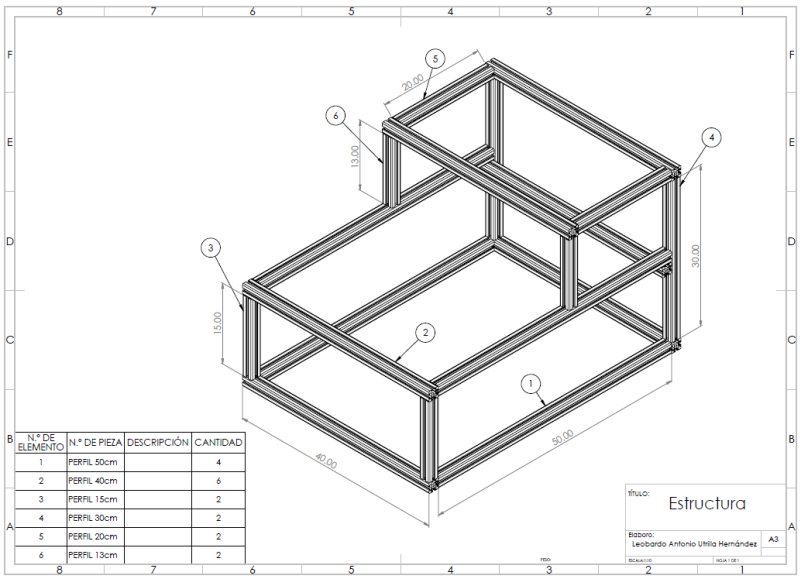
- Móvil omnidireccional con llantas mecanum.
- Brazo robótico de 3 grados de libertad.
- Programación.

Diseño mecánico.

El diseño y modelado de la base estructural del móvil omnidireccional se realizó con procedimientos similares, pero adaptando las medidas correspondientes para los elementos estructurales y electrónicos.

Móvil Omnidireccional con llantas mecanum.

Para la estructura de la base se optó por perfil de aluminio estructural 20x20 con V-Slot con las medidas correspondientes mostradas en la figura 2.



N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	PERFIL 50cm		4
2	PERFIL 40cm		6
3	PERFIL 15cm		2
4	PERFIL 30cm		2
5	PERFIL 20cm		2
6	PERFIL 13cm		2

Figura 2. Dibujo técnico de la estructura del móvil omnidireccional.

Se diseñaron soportes impresos en 3D con filamento PLA para cada motorreductor Model NFP-5840-31ZY 12V_40 rpm en donde se montaron las llantas mecanum de 6" (figura 3).

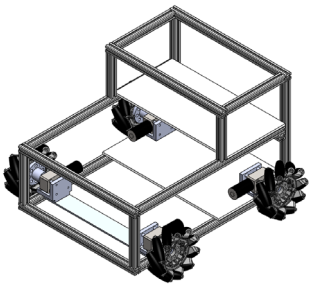


Figura 3. Componentes mecánicos y motores en la estructura del móvil omnidireccional.

En la figura 4 se presenta la ubicación de todos los elementos para la comunicación, control y adquisición de datos: Microcontrolador ATMega 2560, batería litio 12v 10MAh, módulos puente h L298N, modulo bluetooth HC-05, Driver Motor A Pasos Tb6600 y elementos eléctricos de protección.

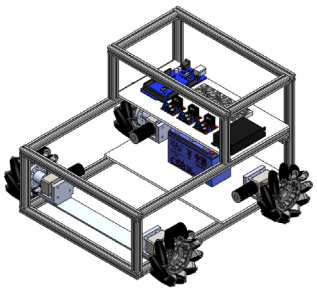


Figura 4. Diseño y ensamble de componentes de comunicación, control y adquisición.

Brazo robótico 3 grados de libertad.

Tomando como base el diseño de un brazo robótico de 2 grados de libertad desarrollado por la compañía VEX ROBOTICS se procedió a montarlo sobre una base giratoria (tercer grado de libertad), se tomó de referencia para realizar el diseño de base en 3D.

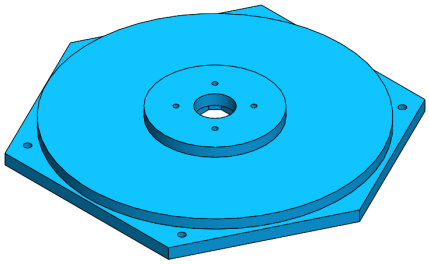


Figura 5. Caja de engranes planetarios rectos para soporte del brazo robótico.

En la figura 5 se muestra el diseño de una caja de engranes planetarios rectos que se montó sobre el eje de un motor Nema 17, se utilizaron 6 ruedas locas metálicas y una base circular de acrílico de Ø30 cm y 6mm de grosor, los cuales fueron acoplados con tornillos de M4x1.5” (figura 6).

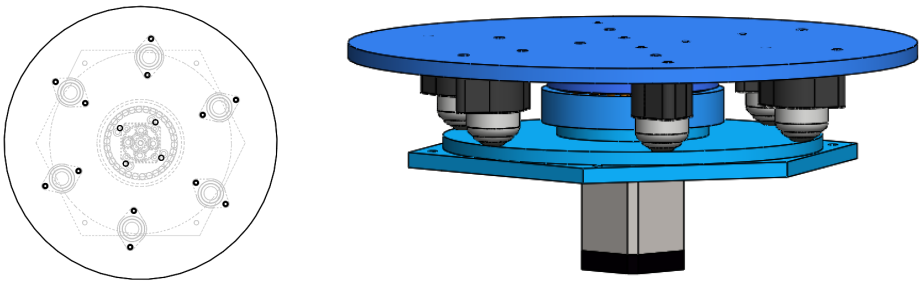


Figura 6. Diseño de la base del brazo robótico de 3 grados de libertad.

Una vez diseñada la base se inició el proceso de diseño del brazo robótico, figura 7, usando perfiles de aluminio tipo C de 1x1x25, tipo C 1x1x35, tipo barra 1x25, motores VEX de dos hilos 393, cadena porta cables y un juego de engranes para obtener un torque adecuado al subir y bajar el brazo robótico, además de la garra sujeta al final del brazo robótico.

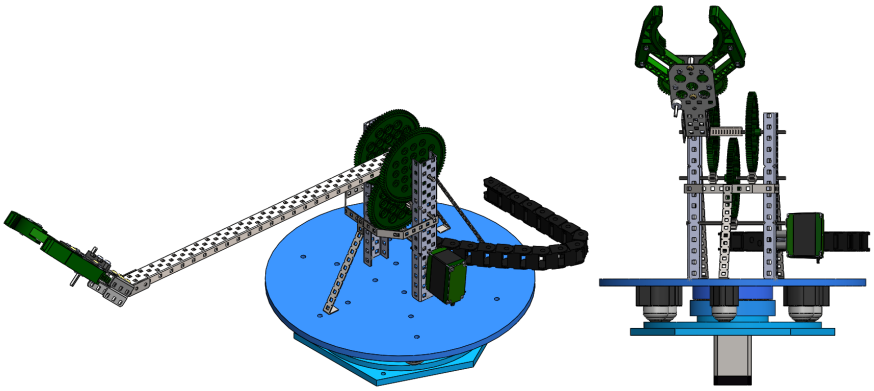


Figura 7. Elementos mecánicos y eléctricos del brazo robótico de 3 grados de libertad.

Con el diseño del brazo de 3 grados de libertad completo se procede a montarlo en la parte superior delantera del móvil omnidireccional, quedando como se muestra en la figura 8.

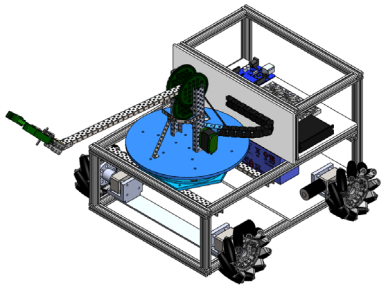


Figura 8. Ensamble del brazo robótico de 3 grados de libertad al móvil omnidireccional.

El robot debe estar cubierto por panel de aluminio, de 6mm de grosor, en cada una de las superficies, por lo que se procedió a diseñar dichas cubiertas, quedando como se muestra en la figura 9.

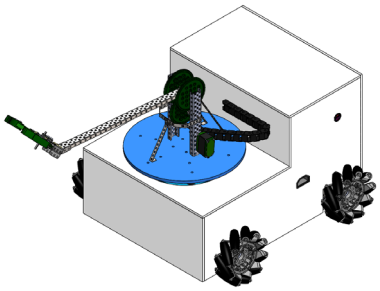


Figura 9. Ensamble con el recubrimiento del móvil omnidireccional.

Para finalizar el diseño del robot omnidireccional con brazo robótico de 3 grados de libertad, se implementó el ensamble del prototipo completo y el interruptor on/off y centro de carga. La renderización del prototipo se presenta en la figura 10.

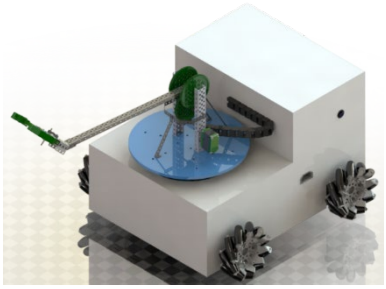


Figura 10. Diseño renderizado del móvil omnidireccional con brazo robótico de 3 grados de libertad.

3. Desarrollo.

Una vez establecido el diseño mecánico, se procedió a la construcción del prototipo, empezando con la construcción de la estructura del móvil omnidireccional, con herramientas de corte para la adaptación de tamaños de los perfiles de aluminio y su posterior fijación para conformar las estructuras donde se colocarán los elementos restantes, figura 11.

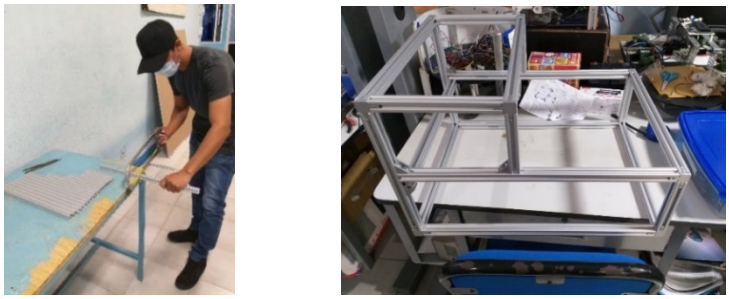


Figura 11. Proceso de construcción de la estructura del móvil omnidireccional.

Para continuar con la construcción de la caja de engranes y el ensamble del brazo robótico de 3 grado de libertad, figura 12.

Figura 12. Proceso de construcción del brazo robótico de 3 grados de libertad.

Continuación del proceso, en la figura 13 se observa el proceso de implementación de los elementos mecánicos, eléctricos y de monitoreo/control.

Figura 13. Implementación de los elementos mecánicos, eléctricos y de monitoreo/control.

Una vez implementado los elementos mencionados anteriormente, se procede a recubrir el móvil omnidireccional con panel de aluminio con sus medidas correspondientes, además de realizar el conexionado (figura 14-15) adecuado de cada elemento eléctrico/mecánico y montaje del brazo robótico de 3 grados de libertad.

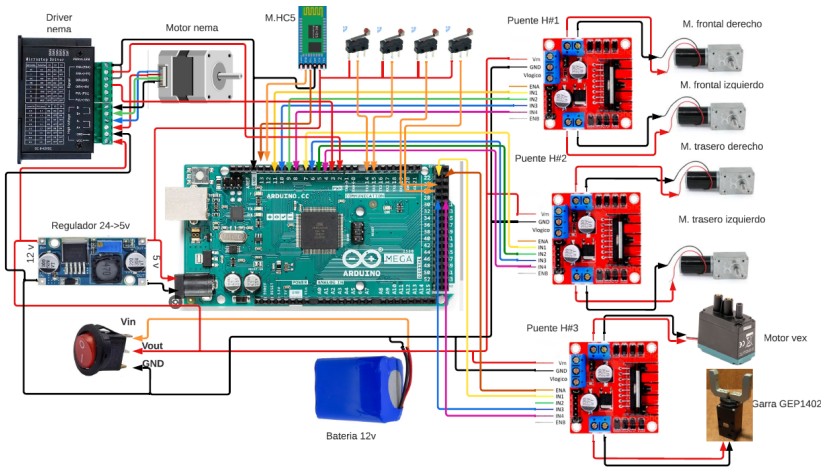


Figura 14. Diagrama de conexiones eléctricas realizado en Lucid Chart versión online.

Figura 15. Conexiones eléctricas de los elementos de comunicación y control.

Figura 16. Proceso final del recubrimiento y montaje del brazo robótico de 3 grados de libertad.

En la figura 17 se puede ver el robot móvil omnidireccional, con llantas mecanum y brazo de 3 grados de libertad terminado, listo para empezar a programarlo.

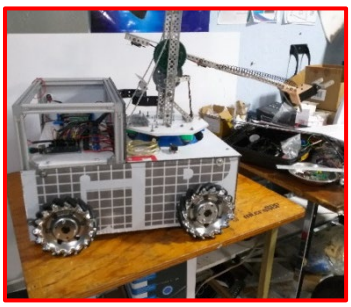


Figura 17. Móvil omnidireccional con los elementos implementados.

Programación.

Como parte del proyecto se desarrolló el programa de control de movimientos básicos, tanto movimientos básicos del robot omnidireccional (adelante, atrás, giro derecho, giro izquierdo, lateral derecha, lateral izquierda) como movimientos básicos del brazo robótico de 3 grados de libertad (abrir-cerrar garra), subir -bajar brazo y giro sentido-giro sentido contrario de manecillas del reloj. La programación se elaboró en el IDE de Arduino, configurando un dispositivo inalámbrico bluetooth instalado en el móvil omnidireccional, figura 18.

Figura 18. Programación para el control de los tres grados de libertad del brazo robótico de 3 grados de libertad y movimientos del móvil omnidireccional.

Para realizar las pruebas de funcionamiento de todas las funciones que puede realizar el robot se utilizó una app denominada APK ANDROID-BLUETOOTH CONTROLLER.

Como primer paso para usar esta app se configura el bluetooth que usara la aplicación como medio de comunicación para controlar el móvil omnidireccional (figura 19).

Figura 19. Selección del nombre bluetooth.

En la figura 20 se observa la pantalla final de la aplicación, que incluye todos los botones necesarios para controlar los movimientos programados en el móvil.

Figura 20. Interfaz final de la apk.

Resultados.

Como parte del diseño del robot se obtuvo el dibujo técnico final de todo el móvil omnidireccional con un brazo robótico de 3 grados de libertad usando la herramienta Drawings de SolidWorks, y se tomaron a consideración las modificaciones y correcciones finales en la colocación de elementos, con un margen de error de ±1% en las dimensiones.

Todas las medidas fueron establecidas con el estándar CGS (centímetro, gramo, segundo), obteniendo una dimensión final del montaje de Ø30 cm, 18.73 cm x 56.08 cm para la base y brazo robótico y de 55.2 cm x 54.66 cm del móvil omnidireccional, datos que se incluyen de manera general en las figuras 21-22.

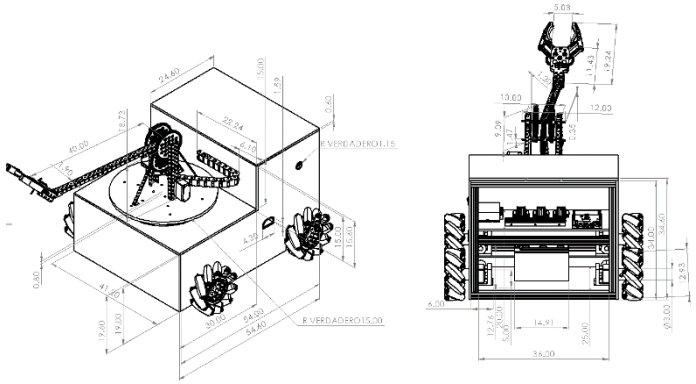


Figura 21. Vistas de dibujo técnico (dimensiones) del móvil omnidireccional con un brazo robótico de 3 grados de libertad.

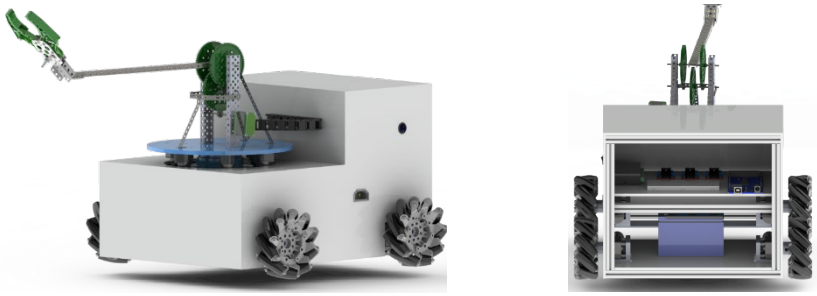


Figura 22. Diseño 3D renderizado del móvil omnidireccional con brazo robótico de 3 grados de libertad.

También se construyó un móvil robusto y versátil que al realizar la pruebas se encontró que cumplía con todas las características propuestas en el proyecto (figura 23).

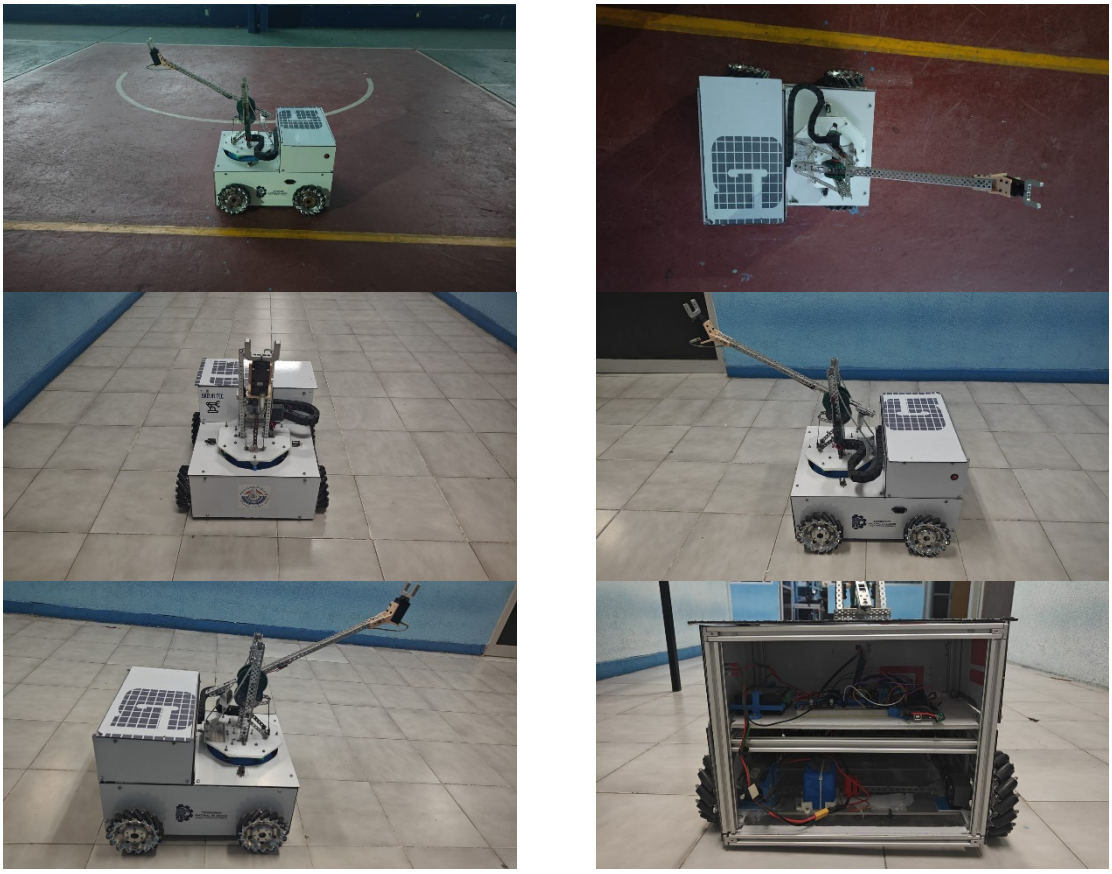


Figura 23. Vistas de robot construido.

Conclusiones.

Se diseñó y construyó un robot móvil omnidireccional con llantas mecanum, el cual cuanta con un brazo robótico de 3 grados de libertad, que puede realizar su traslación en cualquier dirección, cambiando su dirección o moviéndose de forma lateral o en diagonal, esto como resultado de usar llantas mecacum de 6 pulgadas. Mientras que el brazo robótico, puede girar ±90° a partir de la posición frontal del móvil, además de elevar su brazo principal de -45° hasta los +90° a partir de la horizontal y que cuenta con un manipulador tipo garra de dos dedos que permite sujetar objetos de hasta 15 cm de diámetro.

Se realizaron múltiples pruebas de los diferentes movimientos programados por medio de una app instalada en un celular. Comprobando que el robot realiza dichos movimientos con una buena repetitividad, aunque se encontró que los soportes diseñados para las llantas tuvieron unos detalles al momento de estas pruebas, y se tuvieron que modificar para evitar que las llantas se inclinaran.

El sistema a pesar de tener un excelente desempeño en la ejecución de los movimientos tiene cierto porcentaje de incertidumbre generado por el error que produce las piezas diseñas como soportes de las ruedas y del sistema de engranaje rotatorio del brazo. Estos errores se han venido corrigiendo durante este 2023, concluyendo que dichos soportes lo mejor es mandarlos a construir de material metálico para incrementar su rigidez y mejorar el soporte de los motores y de la caja de engrandes.

Créditos.

Los autores agradecen al Tecnológico Nacional de México por el financiamiento del proyecto 14403.22-P, de la convocatoria de apoyo a proyectos de desarrollo tecnológico e innovación 2022 y las facilidades del Tecnológico Nacional de México campus Tuxtla Gutiérrez para la realización de este trabajo.

Referencias bibliográficas.

Bambino, I. (2008). Una introducción a los robots móviles. Recuperado en https://xdoc.mx/preview/una-introduccion-a-los-robots-moviles-5eefc27f42a78

Barrientos, A. Peñin, L.F. (2007). Fundamentos de robótica. Madrid, España: McGraw Hill.

Kelly, R. y Santibañez, V. (2003). Control de movimiento de robots manipuladores. Madrid, España: Pearson Educación, S.A.

Ollero, A. (2001). ROBÓTICA, Manipuladores y robot móviles. Barcelona España: Editorial Marcombo.

Revista de robots. (2023). Robótica Móvil. Que es la robótica Móvil y para qué sirve?. Recuperado en https://revistaderobots.com/robots-y-robotica/robotica-movil-que-es-la-robotica-movil-y-para-que-sirve/

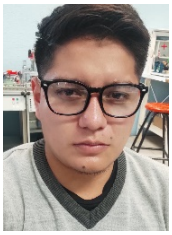
Rivero, F.J. (2021). Simulación del robot KUKA YouBot en el entorno de CoppeliaSim. Tesis no publicada. Escuela Técnica Superior de Ingeniería: Universidad de Sevilla, Sevilla, España.

Santiago M,R.S. (2009). Control y comportamiento de robots omnidireccionales. Tesis de grado. Instituto de computación, Facultad de Ingeniería. Montevideo, Uruguay.

Información de los autores.

Álvaro Hernández Sol, es Ingeniero en electrónica, egresado del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez. 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 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" y 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.

Leobardo Antonio Utrilla Hernández, estudiante del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez, pasante de la carrera ingeniería electrónica con especialidad en mecatrónica industrial, cuenta con la certificación CSW de solidworks, tiene como campos de interés: diseño, modelado y animación en 3D, programación, robótica.



Jesús Alberto Santeliz Alvarado, estudiante del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez, pasante de la carrera ingeniería electrónica con especialidad en mecatrónica industrial, cuenta con la certificación CSW de solidworks, tiene como campos de interés: Diseño, modelado en 3D, automatización, programación de PLCs.

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 "sistemas 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.

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'.

Rubén Herrera Galicia, obtuvo el título de doctor en ciencias técnicas con especialidad en electrónica por la Technical University of Warsaw, Polonia. Es profesor de tiempo completo adscripto al departamento de ingeniería eléctrica y electrónica del Tecnológico Nacional de México campus Tuxtla Gutiérrez. Es investigador desde 1985 y colabora en la línea de investigación de "Robótica" de Ingeniería electrónica. Es parte del cuerpo académico "sistemas de control inteligentes".

Diseño del Data Warehouse para identificar la deserción e índice de reprobación escolar caso Ingeniería en Sistemas Computacionales del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez.

Design of Data Warehouse to identify dropout and school failure rates, case Computer Systems Engineering at Tuxtla Gutiérrez Technological Institute.

Mónica Lucero Méndez Hernández (1).
Estudiante del Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez.
l19270604@tuxtla.tecnm.mx.

Luis Alberto Vilchis Alegría (2). Estudiante del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez,
l19270604@tuxtla.tecnm.mx.

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

Galdino Belisario Nango Solís (4), Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez, galdino.ns@tuxtla.tecnn.mx.

Néstor Antonio Morales Navarro (5), Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez, nestor.mn@tuxtla.tecnm.mx.

Germán Ríos Toledo (6), Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez, german.rt@tuxtla.tecnm.mx.

*corresponding author.

Artículo recibido en noviembre 13, 2023; aceptado en diciembre 5, 2023.

Resumen.

El proyecto se basa en el diseño de un Data Warehouse con un modelo en estrella para identificar qué factores influyen en el abandono escolar. Está enfocado en la Licenciatura en Ingeniería en Sistemas Computacionales del Instituto Tecnológico Campus Tuxtla Gutiérrez. La investigación se realiza utilizando las metodologías tanto descriptivas como cuantitativas. Para la recolección de datos se utiliza el Sistema Integral de Información (SII) a través del Área de Centro de Cómputo de la Institución, el cual almacena información histórica de los estudiantes inscritos en la carrera, que comprende datos personales, académicos y socioeconómicos. Por otro lado, se instrumenta y aplica una encuesta a desertores de la carrera en los primeros tres semestres debido a la insuficiencia de datos sobre las razones del abandono escolar.

Palabras claves: Data Warehouse, deserción escolar, metodología descriptiva y cuantitativa.

Abstract.

The project is based on the design of a Data Warehouse with a star method to identify which factors influence school dropout. It is focused on the Bachelor's Degree in Computer Systems Engineering at the Instituto Tecnológico Campus Tuxtla Gutiérrez. The research is carried out using both descriptive and quantitative methodologies. For data collection, the Integral Information System (SII) is used through the Computer Center Area of the Institution, which stores historical information of the students enrolled in the career, including personal, academic and socioeconomic

data. On the other hand, a survey is implemented and applied to dropouts in the first three semesters due to insufficient data on the reasons for dropping out of the program.

Keywords: Data Warehouse, descriptive and quantitative methodology, school dropout.

1. Introducción.

Uno de los principales instrumentos que beneficia el progreso de la comunidad, tanto en la economía como en la sociedad es la formación educativa a nivel superior. Las universidades, según la UNESCO (2022), tienen la responsabilidad de facilitar el intercambio de conocimientos, estimular la investigación y promover la innovación, ya que tienen el deber de proporcionar a los ciudadanos la formación adecuada para enfrentar el ámbito laboral. Sin embargo, la educación superior enfrenta desafíos inevitables como la deserción escolar, el cual, es un problema que afecta a millones de estudiantes en todo el mundo teniendo consecuencias negativas significativas.

Romualdo Rosario, A. (2020), define la deserción como el abandono de manera voluntaria o involuntaria de la carrera en la que se ha inscrito el estudiante, debido a factores internos o externos, que pueden ser tanto positivos como negativos. Asimismo, señala que la deserción puede ser de manera temporal o definitiva.

En contraste, en algunos estudios realizados por distintos autores, se ha obtenido una serie de clasificaciones que detallan las causas por las cuales ocurre la deserción estudiantil, con relación a esto, es necesario aclarar que este asunto abarca múltiples factores donde cada autor define y caracteriza su propia perspectiva sobre este tema, lo que, según Tinto (1989) complica enormemente el estudio de la deserción. Es probable que sea imposible describir completamente la complejidad de este fenómeno universitario.

En el caso particular de los estudiantes de la carrera de Ingeniería en Sistemas Computacionales pertenecientes al Instituto Tecnológico campus Tuxtla Gutiérrez, Chiapas se ha observado que los índices de deserción en los últimos años han ido en aumento. Sin embargo, el instituto Tecnológico no cuenta con un sistema que proporcione un panorama detallado y estadístico sobre el índice de deserción de manera específica, ya que actualmente se incorporan las estadísticas de deserción de manera porcentual y generalizada.

Según los informes proporcionados por los docentes de la carrera, se identifica que los estudiantes que abandonan sus estudios se concentran principalmente en un rango que abarca desde el primer hasta el tercer semestre. Estos informes coinciden con los resultados de la investigación realizada por Monroy, M., Ibarra, E., Hernández, Z. & Hernández, A. (2023) quienes subrayan que los índices de deserción se presentan con mayor frecuencia en los primeros años de la carrera. Asimismo, mencionan que este fenómeno se atribuye a diversas causas, como restricciones económicas, obstáculos académicos, carencia de motivación, así como a situaciones personales o familiares.

Ante esta realidad y con el objetivo de abordar de manera integral este tema, se propone realizar un estudio exhaustivo mediante la aplicación de un cuestionario que permita recopilar datos detallados sobre las causas y circunstancias que enfrentan los estudiantes, brindando una visión más detallada de las razones que pueden estar influyendo en su decisión de abandonar sus estudios profesionales. Además, se plantea el diseño de un Data Warehouse bajo el modelo en estrella, considerando una sola tabla de hechos con los datos que se evaluaran; y sus respectivas tablas dimensiones.

2. Métodos.

El trabajo se realizó mediante la metodología descriptiva y cuantitativa, que analizó el objeto de estudio de forma exhaustiva.

Según Hernández Sampieri, R., & Mendoza, C. (2020) la metodología descriptiva se utiliza para brindar una perspectiva detallada de los diferentes aspectos de un fenómeno. Este enfoque implica definir exactamente qué se va a medir y decidir quiénes participarán en la recopilación de datos. Asimismo, los autores sostienen que la metodología cuantitativa resulta apropiada para calcular las magnitudes o frecuencias de los fenómenos y poner a prueba hipótesis,

este método proporciona la capacidad de identificar con precisión la frecuencia con la que se presenta una situación y cuáles son sus causas específicas.

Sujetos.

Para efectos del presente estudio, se definieron los sujetos, los cuales, estuvieron conformados exclusivamente por los estudiantes inscritos durante el año 2021 y el primer semestre del 2023, con un total de 155 alumnos distribuidos en los turnos matutino y vespertino de la Carrera de ingeniería en sistemas computacionales del Instituto Tecnológico campus Tuxtla Gutiérrez.

Para dar seguimiento a la población de estudio, se realizó una primera selección a partir de la información proporcionada por el área de centro de cómputo. Se seleccionaron los estudiantes que estaban inscritos únicamente en el CAMPUS, excluyendo a los estudiantes inscritos en las extensiones como Carranza, Palenque y Bochil. Asimismo, el seguimiento se llevó hasta el tercer semestre de la carrera y únicamente con los estudiantes identificados con bajas temporales y definitivos, dejando fuera a los estudiantes activos.

En un segundo momento, se aplicaron cuestionarios a los estudiantes detectados como desertores. El cuestionario se diseñó específicamente para el estudio y se centró en cinco grandes rubros:

- Historia Académica Personal, el cual identifica sus antecedentes académicos de la preparatoria, tipo de baja, cuantas materias reprobó, si la cerrera fue su primera opción, así como hábitos de estudio y su relación con docentes y compañeros.
- Psicológicas, acá se relaciona su proyecto de vida, que le frustra, su personalidad y factores que le definen.
- Nivel Económico, considera su situación económica y la de los padres, además de poder determinar quién lo apoya para sus estudios y condiciones de vivienda.
- Factores Sociales, identifica la relación con sus padres, familia y excompañeros del Tecnológico, además de identificar pasatiempos y si destaca en alguna actividad.
- Factores Institucionales, mediante este apartado podemos identificar su estancia en el Tecnológico y que tan satisfactoria fue, trato recibido por docentes, administrativos claves como servicios escolares y evaluar la infraestructura que apoya el desempeño académico como laboratorios, biblioteca, Internet, áreas comunes, seguridad, entre otras.

Materiales.

- Base de Datos del Área del Centro de Computo a través de su Sistema de Información Integral (SII).
- Cuestionario para los alumnos desertores.
- Diseño de una Base de Datos para el almacenamiento de los resultados obtenidos en el cuestionario.

3. Desarrollo.

Procedimiento.

Se realizó el seguimiento escolar en los tres primeros semestres de la carrera, utilizando como indicadores principales a los estudiantes con bajas temporales y definitivas.

De esta manera, se inicia formalmente la solicitud de información al Área de Centro de Cómputo a través de su Base de Datos correspondiente al Sistema Integral de Información (SII), con el objetivo de obtener datos de los estudiantes matriculados en la carrera de ingeniería en sistemas computacionales. La información obtenida se extrae y almacena de manera tabular, bajo el formato Valores Separados por Coma (CSV por sus siglas en ingles). La Figura 1 muestra una parte del formato CSV.

Consecutivo	Número de control	Apellido paterno	Apellido materno	Nombre	CURP	Estado	Semestre	Carrera	Periodo	Materia	Clave Materia	Calificación
0	22270509	FLORES	LOPEZ	EMMANUEL DE JESUS	FOLE040819HCSLPMA9	BD1	2	INGENIERIA EN SISTEMAS COMPUTACIONALES (2019)	20223	CALCULO DIFERENCIAL	ACF0901	0
1	22270509	FLORES	LOPEZ	EMMANUEL DE JESUS	FOLE040819HCSLPMA9	BD1	2	INGENIERIA EN SISTEMAS COMPUTACIONALES (2019)	20223	FUNDAMENTOS DE PROGRAMACION	AED1285	0
2	22270509	FLORES	LOPEZ	EMMANUEL DE JESUS	FOLE040819HCSLPMA9	BD1	2	INGENIERIA EN SISTEMAS COMPUTACIONALES (2019)	20223	TALLER DE ETICA	ACA0907	0
3	22270509	FLORES	LOPEZ	EMMANUEL DE JESUS	FOLE040819HCSLPMA9	BD1	2	INGENIERIA EN SISTEMAS COMPUTACIONALES (2019)	20223	MATEMATICAS DISCRETAS	AEF1041	0
4	22270509	FLORES	LOPEZ	EMMANUEL DE JESUS	FOLE040819HCSLPMA9	BD1	2	INGENIERIA EN SISTEMAS COMPUTACIONALES (2019)	20223	TALLER DE ADMINISTRACION	SCH1024	0
5	22270509	FLORES	LOPEZ	EMMANUEL DE JESUS	FOLE040819HCSLPMA9	BD1	2	INGENIERIA EN SISTEMAS COMPUTACIONALES (2019)	20223	FUNDAMENTOS DE INVESTIGACION	ACC0906	0
6	22270876	LUNA	CRUZ	JOSE ARMANDO	LUCA040729HCSNRRA8	BT1	2	INGENIERIA EN SISTEMAS COMPUTACIONALES PALENQUE 2022	20223	TALLER DE ETICA	ACA0907	0
7	22270876	LUNA	CRUZ	JOSE ARMANDO	LUCA040729HCSNRRA8	BT1	2	INGENIERIA EN SISTEMAS COMPUTACIONALES PALENQUE 2022	20223	FUNDAMENTOS DE INVESTIGACION	ACC0906	0
8	22270876	LUNA	CRUZ	JOSE ARMANDO	LUCA040729HCSNRRA8	BT1	2	INGENIERIA EN SISTEMAS COMPUTACIONALES PALENQUE 2022	20223	CALCULO DIFERENCIAL	ACF0901	0
9	22270876	LUNA	CRUZ	JOSE ARMANDO	LUCA040729HCSNRRA8	BT1	2	INGENIERIA EN SISTEMAS COMPUTACIONALES PALENQUE 2022	20223	FUNDAMENTOS DE PROGRAMACION	AED1285	0
10	22270876	LUNA	CRUZ	JOSE ARMANDO	LUCA040729HCSNRRA8	BT1	2	INGENIERIA EN SISTEMAS COMPUTACIONALES PALENQUE 2022	20223	MATEMATICAS DISCRETAS	AEF1041	0
11	22270876	LUNA	CRUZ	JOSE ARMANDO	LUCA040729HCSNRRA8	BT1	2	INGENIERIA EN SISTEMAS COMPUTACIONALES PALENQUE 2022	20223	TALLER DE ADMINISTRACION	SCH1024	0
12	22270880	MENDEZ	ARCOS	ANDREA	MEAA040426MCSNRN06	BT1	2	INGENIERIA EN SISTEMAS COMPUTACIONALES PALENQUE 2022	20223	TALLER DE ETICA	ACA0907	0
13	22270880	MENDEZ	ARCOS	ANDREA	MEAA040426MCSNRN06	BT1	2	INGENIERIA EN SISTEMAS COMPUTACIONALES PALENQUE 2022	20223	FUNDAMENTOS DE INVESTIGACION	ACC0906	0
14	22270880	MENDEZ	ARCOS	ANDREA	MEAA040426MCSNRN06	BT1	2	INGENIERIA EN SISTEMAS COMPUTACIONALES PALENQUE 2022	20223	CALCULO DIFERENCIAL	ACF0901	0
15	22270880	MENDEZ	ARCOS	ANDREA	MEAA040426MCSNRN06	BT1	2	INGENIERIA EN SISTEMAS COMPUTACIONALES PALENQUE 2022	20223	FUNDAMENTOS DE PROGRAMACION	AED1285	0
16	22270880	MENDEZ	ARCOS	ANDREA	MEAA040426MCSNRN06	BT1	2	INGENIERIA EN SISTEMAS COMPUTACIONALES PALENQUE 2022	20223	MATEMATICAS DISCRETAS	AEF1041	0
17	22270880	MENDEZ	ARCOS	ANDREA	MEAA040426MCSNRN06	BT1	2	INGENIERIA EN SISTEMAS COMPUTACIONALES PALENQUE 2022	20223	TALLER DE ADMINISTRACION	SCH1024	0
18	22270884	GODOY	HERNANDEZ	LEONEL DAVID	GOHL040723HCSDRNA4	BT1	2	INGENIERIA EN SISTEMAS COMPUTACIONALES PALENQUE 2022	20223	TALLER DE ETICA	ACA0907	81
19	22270884	GODOY	HERNANDEZ	LEONEL DAVID	GOHL040723HCSDRNA4	BT1	2	INGENIERIA EN SISTEMAS COMPUTACIONALES PALENQUE 2022	20223	FUNDAMENTOS DE INVESTIGACION	ACC0906	0
20	22270884	GODOY	HERNANDEZ	LEONEL DAVID	GOHL040723HCSDRNA4	BT1	2	INGENIERIA EN SISTEMAS COMPUTACIONALES PALENQUE 2022	20223	CALCULO DIFERENCIAL	ACF0901	0
21	22270884	GODOY	HERNANDEZ	LEONEL DAVID	GOHL040723HCSDRNA4	BT1	2	INGENIERIA EN SISTEMAS COMPUTACIONALES PALENQUE 2022	20223	FUNDAMENTOS DE PROGRAMACION	AED1285	0
22	22270884	GODOY	HERNANDEZ	LEONEL DAVID	GOHL040723HCSDRNA4	BT1	2	INGENIERIA EN SISTEMAS COMPUTACIONALES PALENQUE 2022	20223	MATEMATICAS DISCRETAS	AEF1041	0
23	22270884	GODOY	HERNANDEZ	LEONEL DAVID	GOHL040723HCSDRNA4	BT1	2	INGENIERIA EN SISTEMAS COMPUTACIONALES PALENQUE 2022	20223	TALLER DE ADMINISTRACION	SCH1024	71
24	22270887	RODRIGUEZ	DE LA CRUZ	EDGAR OBED	ROCE010819HCSDRDB1	BD6	2	INGENIERIA EN SISTEMAS COMPUTACIONALES PALENQUE 2022	20223	TALLER DE ETICA	ACA0907	0

Figura 1. Información del área de Centro de Cómputo.

De acuerdo con el seguimiento establecido, se analiza la información obtenida para poder generar las muestras. Para ello, se lleva a cabo una cuidadosa selección de los estudiantes, enfocándonos exclusivamente en aquellos matriculados en el Campus Tuxtla Gutiérrez, posteriormente se procede a clasificar a los estudiantes según su semestre, dividiéndolos en primero, segundo y tercer semestre. Además, se selecciona a los alumnos que están en un estado de bajas temporales y definitivos.

Es importante señalar que, durante la clasificación de los estudiantes por semestre, se detecta a estudiantes que cursaron únicamente materias correspondientes al primer semestre, sin embargo, sus registros en el sistema indican que se encuentran en semestres posteriores como tercero o incluso en cuarto semestre. Esta incompatibilidad se debe a que el sistema sigue incrementando sus semestres automáticamente, aun cuando no se inscriben en cursos posteriores. Por esta razón, se procede a dividir a los estudiantes de acuerdo con su avance reticular real.

Para la elaboración del cuestionario, se diseña un formato donde se implementan preguntas directas como primer apartado se recoge información personal de cada estudiante y preguntas con selección múltiple para los demás apartados. En el historial académico se proponen 10 preguntas, en el ámbito psicológico únicamente 8 preguntas, en lo económico 12 preguntas, en factores sociales e institucionales 9 preguntas.

Una vez elaborado el diseño del cuestionario, se lleva a cabo el proceso de validación. Para ello, se entrega el cuestionario al Cuerpo Académico “Tecnologías de Información para el Desarrollo de Ventajas Competitivas” y a docentes adscritos al área de Ingeniería en Sistemas Computacionales.

Tras la validación del material, se procede a localizar a estos estudiantes vía telefónica, cabe destacar que la encuesta se realizó dando un tiempo de 15 minutos a todos y centrando la misma petición e instrucciones para todos asegurando así la veracidad de la información recabada.

Resultados.

Población.

De acuerdo con las investigaciones pertinentes, se logra identificar un total de 37 casos de deserción estudiantil, de los cuales 18 fueron temporales y 19 definitivas. La distribución de la población por semestre se observa en la tabla 1.

Tabla 1. Tamaño de la población.

Semestre	Población inscrita	Bajas temporales	Bajas definitivas
Primero	51	5	6
Segundo	70	13	12
Tercero	34	0	1
Total	155	18	19

De los 37 desertores, 34 correspondían a hombres y 3 eran mujeres.

Análisis de la información.

Antes de iniciar con el diseño de la Base de Datos, se llevó a cabo un exhaustivo análisis de los datos recopilados a través de la aplicación del cuestionario. Este análisis implicó la definición de los campos, asimismo se aseguró una alineación con los campos del SII del área de centro de cómputo, buscando así una congruencia y una familiaridad en la manipulación de los datos, evitando dificultades de identificación de estos en etapas posteriores. La Figura 2 muestran los campos pertenecientes al área de centro de cómputo, de los cuales, fueron incorporados.

Número de control	*Apellido paterno*	*Apellido materno*	*Nombre*	*Estado*	*Semestre*	*Telefono*	*Ingresos_Propios*	
De_Quien_Depende s	*Con_Quien_Vives*	*Nivel_Estudios_Padre*	*Ocupacion_Padre*	*Ingresos_Padre*	*Nivel_Estudios_Madre*	*Ocupacion_Madre*	*Ingresos_Madre*	*Tipo_Vivienda*

Figura 2. Identificación de campos.

Definición del Diccionario de Datos.

Como parte del proceso de diseño de la base de datos se llevó a cabo la realización del Diccionario de Datos. En dicho Diccionario, se asignaron nombres a las tablas, cada una correspondiente a una categoría específica del cuestionario aplicado. Además, se establecieron los campos que conformarían cada tabla, todo esto con el fin de garantizar una comprensión clara y uniforme de la estructura de la base de datos. En la Figura 3 muestra una pequeña parte del Diccionario de Datos.

Nombre de la tabla de la base de datos / hoja del conjunto de datos	Etiqueta del campo o variable (atributo)	Descripción	Tipo de dato	Rango o valores que permite el campo	Clasificación de la información	Especificaciones y/o reglas de cálculo	Codificación de valores faltantes
Centro de Cómputo	Número de control	Numero de control del estudiante	Alfanumérico	Número de 8 dígitos	Pública	Debe seguir el formato especifico de número de control	SIN VALORES FALTANTES
Centro de Cómputo	Apellido paterno	Apellido paterno del estudiante	Cadena	Texto	Pública	Contiene el Apellido paterno del estudiante	SIN VALORES FALTANTES

Figura 3. Diccionario de Datos.

Diseño del Data Warehouse.

Luego de completar la recopilación de datos y llevar a cabo las limpiezas necesarias, se procedió con el diseño del Data Warehouse. Para ello, se creó la tabla de hecho y tablas de dimensiones, orientadas a analizar y comprender los factores que inciden en la deserción estudiantil en la carrera de Ingeniería en Sistemas Computacionales.

El modelo de datos utilizado para el Data Warehouse es un modelo estrella, donde la tabla de estudiantes_desertores se convierte en nuestra tabla de hechos. Asimismo, esta tabla establece conexiones con 14 tablas dimensiones, incluyendo *historial_académico*, *hábitos_estudios*, *factor_institucional*, *nivel_económico*, *psicológico*, *profesor*, *motivación*, *estudiante*, *material_educativo*, *factores_sociales*, *plataforma*, *conocimiento_previo*, *entorno* y *material_educativo_didáctica*.

Este modelo busca evitar redundancia en los datos y facilitar el análisis de la información para identificar los patrones y tendencias que contribuyen en la deserción estudiantil. En la figura 4 se logra visualizar el diseño del Data Warehouse bajo el modelo de estrella para el análisis de la deserción estudiantil.

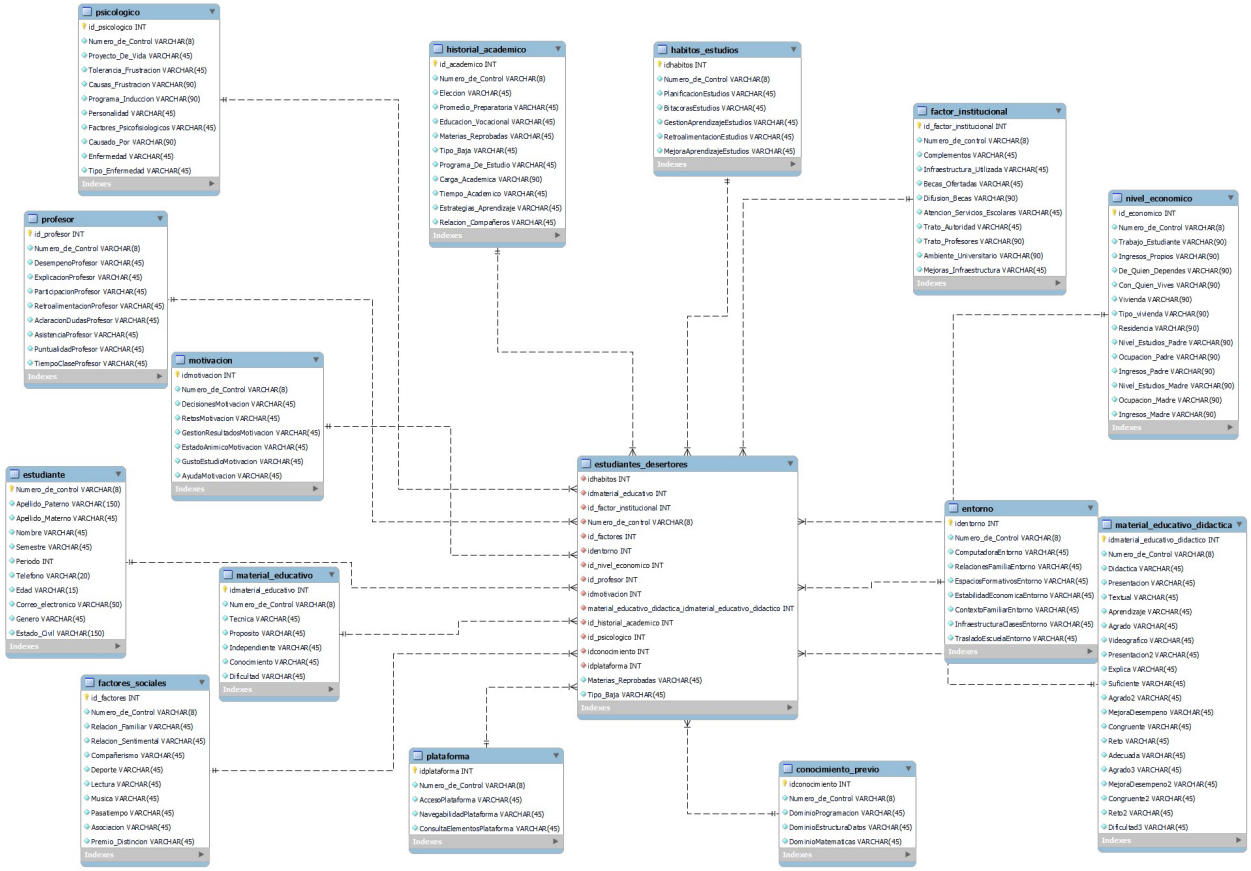


Figura 4. Diseño del Data Warehouse.

Conclusiones.

El diseño de un Data Warehouse para tratar la problemática de la deserción escolar en la carrera de Ingeniería en Sistemas Computacionales del Instituto Tecnológico permitió recopilar, administrar datos de diferentes fuentes, analizar, manejar y controlar la información. La metodología descriptiva y cuantitativa adoptada para esta investigación contribuyo a identificar detalladamente las circunstancias que influyen en la deserción escolar. Al recopilar datos a través del Sistema Integral de Información (SII) y la aplicación de encuestas a los estudiantes desertores, se logró crear un conjunto de información significativa y valiosa.

Este estudio no solo ha proporcionado una base para entender los factores detrás de la deserción estudiantil en la carrera, sino que también ha sentado las bases para futuros análisis y la toma de decisiones informadas.

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.

Hernández-Sampieri, R., & Mendoza, C. (2020). Metodología de la investigación: las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta. Mcgraw-hill.

Monroy, M. G. R., Ibarra, E. D. L., Hernández, Z. O. O., & Hernández, A. M. O. (2023). Instrumentos para el Análisis de la Deserción Escolar. CISA, 5(6), 6-13.

Romualdo Rosario, A. (2020). Factores socioeconómicos en la deserción estudiantil universitaria de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión, Pasco 2018.

Tinto, V. (1989). Definir la deserción: una cuestión de perspectiva. Revista de educación superior, 71(18), 1-9.

UNESCO (2022). Que debes saber de la educación superior. Recuperado el 12 de noviembre de 2023. Sitio Web https://www.unesco.org/es/higher-education/need-know.

Información de los autores.

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”.

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”.

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.

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.

Germán Ríos Toledo obtuvo el grado de Doctor en Ciencias de la Computación en 2019 por el Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico (CENIDET) en Cuernavaca, Morelos, México. Actualmente, es profesor de tiempo completo en el Departamento de Computación del Tecnológico Nacional de México (campus Tuxtla Gutiérrez, Chiapas) en la Ingeniería en Sistemas Computacionales y en la Maestría en Ciencias en Ingeniería Mecatrónica. Su área de especialización es el Procesamiento de Lenguaje Natural, particularmente en el uso de información sintáctica como una característica para el análisis de estilo de escritura. Otras áreas de su interés incluyen el procesamiento y análisis de imágenes, audio y video por medio de Algoritmos de Aprendizaje Automático y Aprendizaje Profundo. Miembro del Sistema Nacional de Investigadores, nivel C (2024-2021).

Diseño virtual de un prototipo para ensayos a tensión de materiales polímeros en base a la norma ASTM D638-14.

Virtual design of a prototype for tensile testing of polymer materials based on the ASTM D638-14 standard.

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

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

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

Julio Cesar Llaven Gordillo (4). Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez, julio.lg@tuxtla.tecnm.mx.

José Manuel Rasgado Bezares (5). Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez, jose.rb@tuxtla.tecnm.mx.

*corresponding author.

Artículo recibido en septiembre 20, 2023; aceptado en noviembre 06, 2023.

Resumen.

Este trabajo presenta el diseño virtual de un prototipo de ensayos para materiales Poliméricos. Analizando las diferentes alternativas para este tipo de accionamiento y de la estructura que presentan las máquinas para ensayos de tensión, se realizó el diseño del prototipo tomando en cuenta la información obtenida de fuentes técnicos-académicos y la designación de la norma ASTM D638-14. Esta norma nos establece pautas a seguir para poder realizar el diseño y del sistema de sujeción de las mordazas.

Palabras claves: CAD, probeta, simulación.

Abstract.

This work presents the virtual design of a testing prototype for Polymeric materials. Analyzing the different alternatives for this type of drive and the structure presented by the tension testing machines, the design of the prototype was carried out taking into account the information obtained from technical-academic sources and the designation of the ASTM D638-14 standard, this standard It establishes guidelines for us to follow in order to carry out the design and the clamping system of the jaws.

Keywords: CAD, simulation, test tube.

1. Introducción.

La resistencia de un material depende de su capacidad para soportar una carga excesiva sin presentar deformación o falla. Esta propiedad es inherente al propio material y debe determinarse mediante la experimentación. Una de las pruebas más importantes a este respecto es el ensayo de tensión. Aunque a partir de esta prueba se pueden establecer varias propiedades mecánicas importantes de un material, se utiliza principalmente para determinar la relación entre el esfuerzo normal promedio y la deformación normal promedio en muchos materiales de ingeniería como metales, cerámicas, polímeros y materiales compuestos (Beer F,2010).

Para realizar un ensayo de tensión, se fabrican probetas del material con forma y tamaño "estándar", en este caso, probetas de Tipo I, Tipo IV y Tipo V según las especificaciones de la norma ASTM D638-14, con material de Polímeros que comúnmente se usan en las impresoras 3D. La probeta tiene una sección transversal rectangular constante con extremos más grandes, de modo que la falla no se produzca en las empuñaduras (Serrato, K,2021).

Para lograr este objetivo, los datos de la carga y la deformación correspondiente se utilizan para calcular distintos valores del esfuerzo y las correspondientes deformaciones en la probeta. La representación gráfica de los resultados produce una curva llamada diagrama esfuerzo-deformación.

2. Métodos.

Definición de la probeta.

El presente proyecto se centró en la propiedad mecánica de resistencia a la tensión, debido a que, en la práctica, los elementos producidos con base en materiales sintéticos son sometidos a este tipo de esfuerzo.

Los ensayos de tensión se realizan en una máquina universal de ensayos y la operación consiste en someter una probeta a una carga monoaxial gradualmente creciente (es decir, estática) hasta que ocurra la falla.

Las probetas para ensayos de tensión se fabrican en una variedad de formas, la sección transversal de la probeta puede ser redonda, cuadrada o rectangular. Para la mayoría de los casos, en polímeros, se utiliza comúnmente una probeta de sección rectangular, para láminas y placas usualmente se emplea una probeta plana (Budynas, R. G. ,2008).

Área inicial (A_0).

Es el área transversal de la parte de la probeta que se va a someter a cualquier esfuerzo antes de realizar la prueba, tal como se muestra en la figura 1.

$$A_0 = b.h \ \ (unidades\ m^2) - - - - - - - - Ecuación\ 1$$

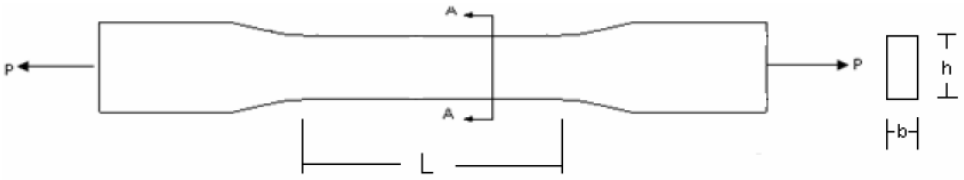


Figura 1. Área inicial transversal de la probeta

Donde:
$b = Base\ de\ la\ Sección\ Transversal\ de\ la\ probeta$
$h = Altura\ de\ la\ Sección\ Transversal\ de\ la\ Probeta$

Donde:
$P = Fuerza\ Aplicada\ en\ la\ Prueba.$
$A = Área\ transversal\ de\ la\ probeta.$

Tipos de Probetas para Polímeros Según la Norma ASTM D638-14.

Según la norma ASTM D638-14 (Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics), existen cinco tipos de probetas, las cuales, tienen características diferentes en sus dimensiones y cada tipo depende del material del que son fabricadas, las probetas Tipo I, II, III, IV, y V, se pueden fabricar en polímeros rígidos y semirrígidos, además, las probetas III y IV, también se pueden fabricar de polímeros no rígidos, en la figura 2, se muestra las dimensiones de las probetas según la norma ASTM D638-14 (ASTM International, 2015).

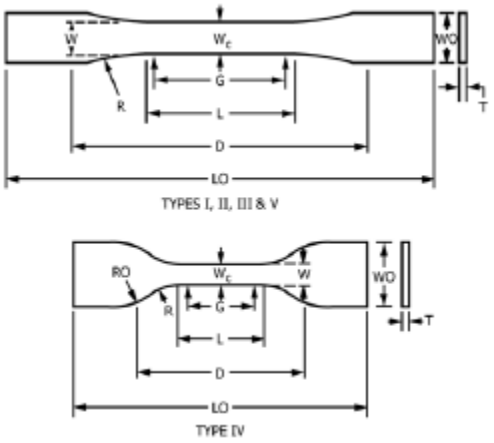


Figura 2. Probetas Normalizadas.

Tabla 1. Dimensiones de las probetas la norma ASTM D638-14.

Dimensions (see drawings)	Specimen Dimensions for Thickness, *T*, mm (in.)[A]					Tolerances
	7 (0.28) or under		Over 7 to 14 (0.28 to 0.55), incl	4 (0.16) or under		
	Type I	Type II	Type III	Type IV[B]	Type V[C,D]	
W—Width of narrow section[E,F]	13 (0.50)	6 (0.25)	19 (0.75)	6 (0.25)	3.18 (0.125)	±0.5 (±0.02)[B,C]
L—Length of narrow section	57 (2.25)	57 (2.25)	57 (2.25)	33 (1.30)	9.53 (0.375)	±0.5 (±0.02)[C]
WO—Width overall, min[G]	19 (0.75)	19 (0.75)	29 (1.13)	19 (0.75)	...	+ 6.4 (+ 0.25)
WO—Width overall, min[G]	...	...	...	...	9.53 (0.375)	+ 3.18 (+ 0.125)
LO—Length overall, min[H]	165 (6.5)	183 (7.2)	246 (9.7)	115 (4.5)	63.5 (2.5)	no max (no max)
G—Gage length[I]	50 (2.00)	50 (2.00)	50 (2.00)	...	7.62 (0.300)	±0.25 (±0.010)[C]
G—Gage length[I]	...	...	...	25 (1.00)	...	±0.13 (±0.005)
D—Distance between grips	115 (4.5)	135 (5.3)	115 (4.5)	65 (2.5)[J]	25.4 (1.0)	±5 (±0.2)
R—Radius of fillet	76 (3.00)	76 (3.00)	76 (3.00)	14 (0.56)	12.7 (0.5)	±1 (±0.04)[C]
RO—Outer radius (Type IV)	...	...	...	25 (1.00)	...	±1 (±0.04)

El espesor, T, debe ser de 3.2 ± 0.4 mm (0.13 ± 0.02 pulg.) para todos los tipos de especímenes moldeados, y para otros especímenes Tipo I y II cuando sea posible.

Materiales Polímeros.

La característica principal de estos materiales que establece la diferencia con los materiales cerámicos y con los materiales metálicos, es que están constituidos por macromoléculas. Al igual que cualquier molécula, los materiales poliméricos están formados (en su mayor parte) por átomos de elementos no metálicos unidos entre sí por enlaces covalentes y se les ha denominado con el nombre genérico de polímeros (o macromoléculas) debido a que son gigantescas moléculas constituidas por unidades repetitivas. Existen casos en los que el polímero está formado por

átomos de elementos no metálicos y semi metálicos (Carpio, G. I.,2019).

Propiedades de los materiales poliméricos.

Los polímeros tienen una serie de importantes cualidades, que unidas a su costo relativamente bajo, explican su amplia utilización en ingeniería, en la tabla 2 y 3, se muestra las propiedades de algunos polímeros seleccionados usados en ingeniería.

Tabla 2. Propiedades mecánicas y físicas del ABS**.**

Propiedades Mecánicas		Propiedades Físicas	
Módulo elástico	1.1 – 2.9 GPa	Temperatura de transición vítrea	87.9 – 118 ºC
Coeficiente de Poisson	0.391 – 0.422	Temperatura de fusión	200 – 245 ºC
Resistencia mecánica a la compresión	31 – 86.2 MPa		
Resistencia mecánica a la flexión	47,8 – 76 MPa		
Resistencia mecánica a la tracción	27.6 – 55.2 MPa		

Tabla 3. Propiedades mecánicas y físicas del PLA.

Propiedades Mecánicas		Propiedades Físicas	
Módulo elástico	3 - 4 GPa	Temperatura de transición vítrea	60 -70 °C
Alargamiento a la Rotura	2 - 5 %	Temperatura de fusión	170 - 200 ºC
Resistencia mecánica a la flexión	100 MPa		
Resistencia mecánica a la tracción	27 – 41 MPa		

Diseño de la estructura.

Los ingenieros mecánicos están relacionados con la producción y el procesamiento de energía y con el suministro de los medios de producción, las herramientas de transporte y las técnicas de automatización. Las bases de su capacidad y conocimiento son extensas. Entre las bases disciplinarias se encuentran la mecánica de sólidos, de fluidos, la transferencia de masa y momento, los procesos de manufactura y las teorías de la electricidad y de la información. El diseño en ingeniería mecánica involucra todas las áreas que componen esta disciplina**.**

Fases e interacciones en el proceso de diseño.

El proceso de diseño completo, de principio a fin, que a menudo se bosqueja como se muestra en la figura 3, comienza con la identificación de una necesidad y la decisión de resolverla, después de muchas iteraciones, termina con la presentación de los planes para satisfacerla. De acuerdo con la naturaleza de la tarea de diseño, algunas fases se repiten durante la vida del producto, desde la concepción hasta la terminación (Budynas, R. G., 2008).

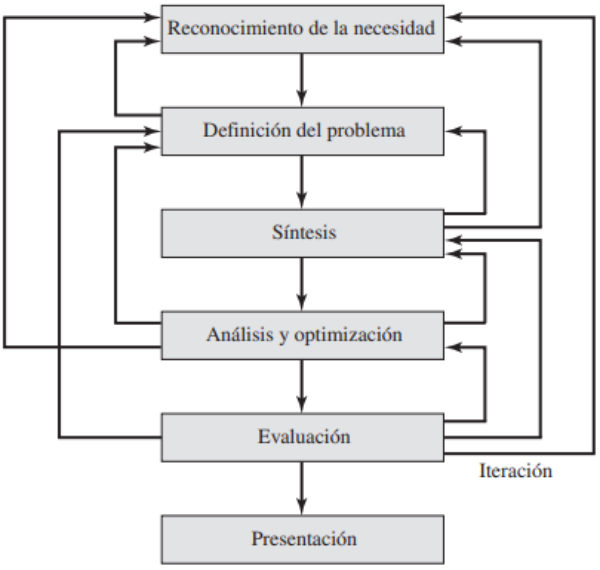


Figura 3. Fases del diseño.

Herramientas y recursos del diseño.

En la actualidad el ingeniero tiene una gran variedad de herramientas y recursos disponibles que le ayudan a solucionar problemas de diseño. Las microcomputadoras y los robustos paquetes de software proporcionan herramientas de gran capacidad para diseñar, analizar y simular componentes mecánicos. Además de estas herramientas, el ingeniero siempre necesita información técnica, ya sea en forma de comportamiento básico en ciencias/ingeniería o de las características de componentes especiales recién lanzados. En este caso, los recursos pueden ir desde libros de ciencia/ingeniería hasta folletos o catálogos de los fabricantes. También la computadora puede jugar un papel importante en la obtención de información.

Herramientas computacionales.

El software para el diseño asistido por computadora (CAD) permite el desarrollo de modelos tridimensionales (3-D) a partir de los cuales pueden producirse vistas ortográficas convencionales en dos dimensiones con dimensionamiento automático. Las trayectorias de las herramientas pueden generarse a partir de los modelos 3-D y, en algunos casos, las partes se crean desde una base de datos 3-D mediante el uso de un método para la creación rápida de prototipos y manufactura. Otra ventaja de las bases de datos tridimensionales es que permiten cálculos rápidos y exactos de ciertas propiedades como la masa, la localización del centro de gravedad y los momentos de inercia de masa. Del mismo modo, se obtienen con facilidad otras propiedades como áreas y distancias entre puntos. Existe una gran cantidad de software de CAD disponible como Aries, AutoCAD, CadKey, I-Deas, Unigraphics, Solid Works y ProEngineer, por mencionar algunos.

El software de diseño mecánico de SolidWorks es una herramienta de diseño de modelado sólido paramétrica y basada en operaciones que aprovecha la facilidad de aprendizaje de la interfaz gráfica de usuario de Windows. Puede crear modelos sólidos en 3D totalmente asociativos con o sin restricciones mientras utiliza al mismo tiempo las relaciones automáticas o definidas por el usuario para capturar la intención del diseño.

SOLIDWORKS es un software de diseño CAD (diseño asistido por computadora) para modelar piezas y ensamblajes en 3D y planos en 2D. Ofrece un abanico de soluciones para cubrir los aspectos implicados en el proceso de desarrollo del producto. Sus productos ofrecen la posibilidad de crear, diseñar, simular, fabricar, publicar y gestionar los datos del proceso de diseño (Gómez, R. D. ,2019).

Diseño de las mordazas.

Para el diseño de las mordazas se tomaron algunas consideraciones de acuerdo a la norma ASTM D638-14 según el agarre que deben de tener las probetas, para ello, se realizaron los siguientes cálculos para saber las dimensiones adecuadas que deben de tener los platos o las placas donde aplicarán cierta fuerza para la sujeción de las probetas.

La fórmula para calcular la profundidad de las mordazas según las dimensiones de las probetas bajo la norma ASTM D638-14 es la siguiente (Álvarez, J. S., 2021):

$$L_p = \frac{L_o - D}{2} - - - - - - - - - Ecuación\ 1$$

Donde:
$L_p = Longitud\ de\ agarre\ de\ las\ Probetas$
$L_o = Longitud\ Inicial\ de\ la\ Probeta,$
$D = Distancia\ de\ agarre\ de\ las\ Mordazas.$

Sustituyendo los datos de acuerdo a las dimensiones de la probeta requerida (I, IV, V) en la Ecuación 1, se tiene lo siguiente:

$$L_p = \frac{165mm - 115mm}{2} = 25mm$$

Con estos resultados obtenidos, se concluye que la profundidad mínima de que debe de tener la mordaza debe de ser de 25 mm, sabiendo que el espesor de las probetas es de 3.2 mm y la medida del ancho de la probeta más ancha es de 19 mm, por lo tanto, las dimensiones mínimas que deben de tener las placas donde se aplicarán cierta fuerza para la sujeción de las probetas debe ser de 19 mm x 25 mm, y una apertura mínima de 3.2 mm, de esta manera se decidió poner placas de 34 mm x 35 mm y una apertura de 15 mm para tener una mejor comodidad al momento de colocar las probetas.

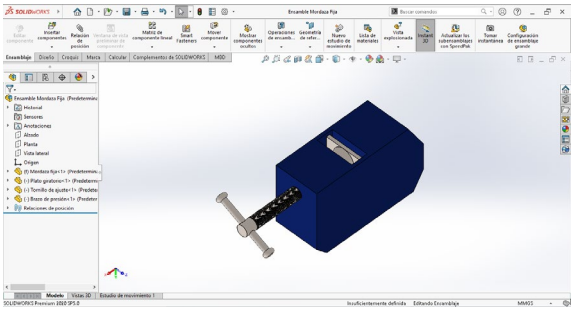


Figura 4. Ensamble de mordaza fija.

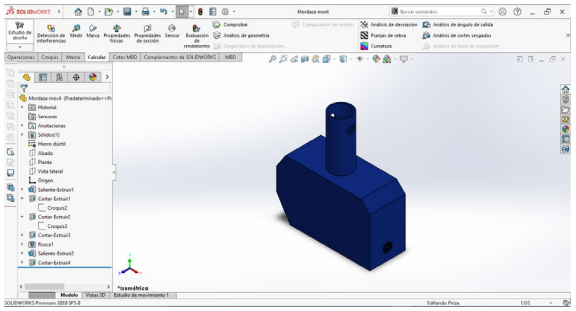


Figura 5. Mordaza móvil.

Selección del Motor.

Para la selección del motor se tiene que conocer cuál será la fuerza máxima entre los materiales ABS y PLA para los casos que se utilice el equipo (I, IV, V) primer caso de Probetas tipo 1.

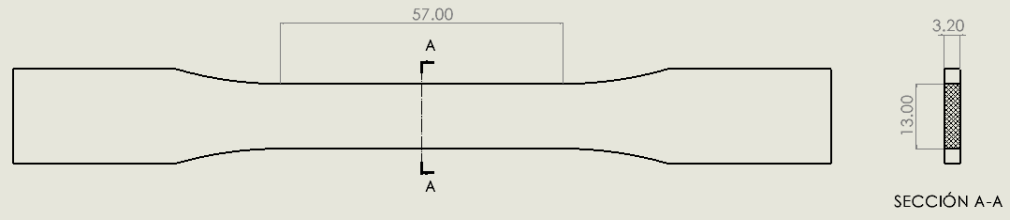


Figura 6. Dimensiones de la sección trasversal de la probeta.

Utilizando la ecuación 2.

$$P = \sigma A - - - Ecuación\ 2$$

De la tabla 2 se tiene la resistencia mecánica a tracción $\sigma = Su$ =27.6−55.2 MPa. Módulo elástico.

E= 1.1 – 2.9 GPa

Calculando el área de sección transversal Ao= (3.2 mm) (13 mm) = 41.6 mm^2 = $4.16x10^{-5}m^2$
Para la resistencia de Tracción mínima se tiene y sustituyendo valores en la ecuación 2:

$$P = \sigma \cdot Ao = (27.6x10^6 Pa)\ (4.16x10^{-5}m^2)\ \mathbf{P=1148.16\ N}$$

Para la resistencia de Tracción Máxima se tiene y sustituyendo los valores en la ecuación 2:

$$P=\sigma \cdot Ao = (55.2x10^6 Pa)\ (4.16x10^{-5}m^2)\ \mathbf{P=2296.32\ N}$$

El cálculo de la deformación máxima para este tipo de Probeta de acuerdo a sus propiedades del Material ABS.

$$\delta = \frac{PL}{AE} = \sigma\frac{L}{E} - - - - Ecuación\ 3$$

Sustituyendo los valores en la ecuación 3 se tiene las deformaciones máximas y mínimas del material ABS para la Probeta 1:

$$\delta = (27.6X10^6\ Pa)\left(\frac{57mm}{1.1\ x\ 10^9\ Pa}\right) = 1.43018mm$$

$$\delta = (55.2X10^6\ Pa)\left(\frac{57mm}{1.1\ x\ 10^9\ Pa}\right) = 2.86036mm$$

$$\delta = (27.6X10^6\ Pa)\left(\frac{57mm}{2.9x\ 10^9\ Pa}\right) = 0.54248mm$$

$$\delta = (55.2X10^6\ Pa)\left(\frac{57mm}{2.9\ x\ 10^9\ Pa}\right) = 1.08496mm$$

Con estos resultados se concluye que la fuerza máxima requerida será de 2296.32 N, como resultado de los cálculos para la probeta Tipo I con material ABS, y el desplazamiento máximo será de 3.14068 mm, como resultado de los cálculos para la probeta Tipo IV con material ABS (Gómez, R. D.,2019).

Para el PLA se tiene la fuerza máxima requerida es de 1705.6N y su desplazamiento máximo es de 0.779 mm de la probeta I.

De acuerdo a los cálculos realizados son para probetas completamente sólidas para materiales de ABS y PLA, como se trata de un prototipo de ensayos para materiales no metálicos, mas no una máquina universal de ensayos, por lo que se decidió optar por un actuador lineal eléctrico con las siguientes características según el fabricante:

Marca: RONIX, Modelo: R300X05, Voltaje de alimentación: 12 VDC, Corriente de consumo: 3 A, Potencia: 36 W, Fuerza: 250 kg / 2500 N, Carrera máxima de pistó: 300 mm, Largo total con pistó extendido: 720 mm, Resistencia a humedad: IP54, Velocidad de desplazamiento sin carga: 5 mm/s, Temperatura de funcionamiento: -26 °C ~ +65 °C, Material: Aleación de aluminio, Peso: 1240 g, Dimensiones: 420mm x 73 mm (con pistón retraído).

Figura 7. Actuador lineal eléctrico.

Para el diseño de la estructura se toman en cuenta ciertos parámetros y cálculos matemáticos de acuerdo al Diseño de elementos de máquina, aplicando conocimientos en materias como estática, mecánica de materiales y diseño mecánico, de esta manera se podrá comprobar y asegurar que la estructura será adecuada para soportar ciertas cargas de acuerdo a la carga máxima que puede ejercer el actuador lineal eléctrico seleccionado y los cálculos realizados para probetas Tipo I, Tipo IV y Tipo V, según la norma ASTM D638-14, con materiales de ABS y PLA.

Cálculo de la estructura.

Para seleccionar el tipo de material que se utilizara en la estructura del prototipo sea comercial y que soporte los esfuerzos de las probetas seleccionadas en este caso es la placa estructural ASTM A-36 calibre 12 que tiene las siguientes propiedades (Beer, F. P.,2010).

Módulo elástico: 200 GPa ,Módulo cortante: 79.3 GPa , Densidad de masa: 7850 $^{kg}/_{m^3}$, Límite a la tracción: 400MPa, Límite elástico: 250 MPa.

Para la base de la estructura, que es donde va ensamblado y/o soldado una de las mordazas, en este caso, la mordaza fija, se sabe perfectamente que es la parte en donde se ejercerá la mayor fuerza al momento de realizar un ensayo, en base a estas expectativas, se realizan los siguientes cálculos para una placa de acero ASTM A-36 con dimensiones de 300 mm de largo, 200 mm de ancho y 3 mm de espesor como se muestra en la figura 8.

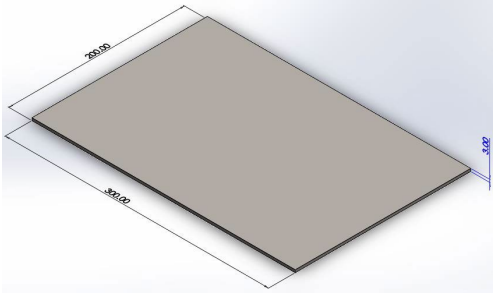


Figura 8. Dimensiones de la placa de la base inferior de la estructura.

Se calcula la fuerza de la placa mediante la siguiente fórmula:

$$W = \rho.V.g - - - - Ecuación\ 4$$

Donde:
$W = Fuerza\ de\ la\ Placa$
$\rho = Densidad\ del\ materia\ 7850\ {}^{kg}/_{m^3}$
$V = Volúmen\ de\ la\ Placa$
$g = Gravedad\ 9.81\ {}^{m}/_{s^2}$

Sustituyendo los valores en la ecuación 8.

$$W = \left(7850\ {}^{kg}/_{m^3}\right)(1.8x10^{-4}m^3)\left(9.81\ {}^{m}/_{s^2}\right) = 13.861\ N$$

Con el resultado obtenido de la fuerza de la placa, se procede a calcular la fuerza ubicada en el centro de la placa, que es el punto en donde va soldado una de las mordazas, y es el punto en donde la placa, hará el mayor esfuerzo, en la figura 9, se muestra el diagrama de cuerpo libre de la placa inferior.

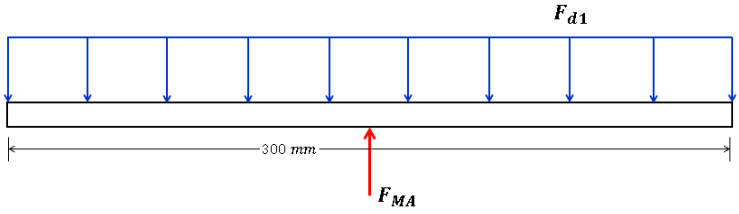


Figura 9. Diagrama de cuerpo libre de la placa inferior.

Se calcula la fuerza ubicada sobre el centro de la placa mediante la siguiente fórmula:

$$F_c = F_{d1}.\frac{b}{2} - - - Ecuación\ 5$$

$F_c = Fuerza\ ubicada\ sobre\ el\ centro\ de\ la\ placa$
$F_{d1} = Carga\ distribuida\ sobre\ la\ Placa$
$b = Base\ de\ la\ placa$

La carga distribuida se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$F_{d1} = \frac{W}{b} - - - Ecuación\ 6$$

Sustituyendo valores se obtiene.

$$F_{d1} = \frac{13.861N}{300mm} = 0.0462\frac{N}{mm}$$

Teniendo el resultado de la carga distribuida, se sustituye los valores en la ecuación 6 para obtener el valor de la fuerza ubicada sobre el centro de la placa, se calcula de la siguiente manera:

$$F_c = \left(0.0462\frac{N}{mm}\right)\left(\frac{300mm}{2}\right) = 6.930N$$

Ahora se procede a calcular la fuerza total ubicada sobre el centro de la placa, tomando en cuenta la fuerza máxima que ejerce el actuador lineal eléctrico seleccionado, en la figura 10 se muestra un diagrama de cuerpo libre de la posición de la fuerza total en el centroide de la placa.

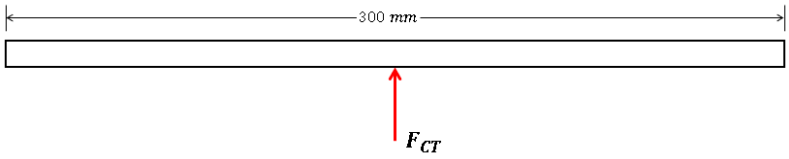


Figura 10. Posición de la fuerza total ubicada en el centroide de la placa.

Se calcula la fuerza total ubicada en el centroide de la placa mediante la siguiente fórmula:

$$F_{CT} = F_{MA} - F_C\ - - - Ecuación\ 7$$

Donde:
$F_{CT} = Fuerza\ Total\ Ubicada\ en\ el\ centroide\ de\ la\ Placa$
$F_{MA} = Fuerza\ Máxima\ del\ actuador\ lineal\ eléctrico$

Sustituyendo los valores en la ecuación 7.

$$F_{CT} = 1500\ N - 6.930\ N = 1493.069\ N$$

Con el valor obtenido de la fuerza total ubicada en el centroide de la placa, se procede con el análisis estático en la figura 11.

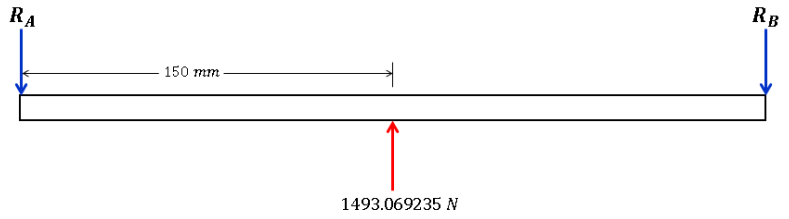


Figura 11. Diagrama de cuerpo libre para el análisis estático de la placa.

Para hallar la primera reacción, en este caso la reacción en el punto B, se realiza una suma de momentos en el punto A igualándolo a 0 de la siguiente manera:

$$\circlearrowleft \sum M_A = 0 - - - - - - - - Ecuación\ 8$$
$$1493.069N(0.15m) - R_B\,(0.3\ m) = 0$$

Despejando R_B se obtiene:

$$R_B = \frac{1493.069N(0.15\ m)}{0.3\ m} = 746.534\ N$$

Con el resultado obtenido de la reacción en R_B , lo que queda es calcular la reacción en R_A realizando una suma de fuerzas en Y igualándolo a 0 de la siguiente manera:

$$\uparrow \sum F_Y = 0 - - - - - - - - Ecuación\ 9$$
$$1493.069\ N - 746.534\ N - R_A\ = 0$$

Despejando R_A se obtiene:

$$R_A\ = 1493.069\ N - 746.534\ N = 746.534\ N$$

Para nuestra estructura, se sabe que las posibles fallas que se pueden presentar al momento de ser sometido a una fuerza o carga máxima, será en el centro de la placa, por esta razón, se debe de calcular las cargas internas, para después, analizar los esfuerzos producidos por las fuerzas aplicadas sobre la placa, en la figura 12, se muestra el diagrama de cuerpo libre para cargas internas.

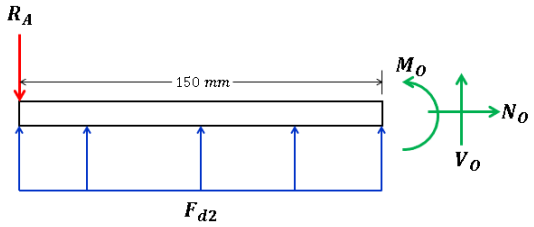


Figura 12. Diagrama de cuerpo libre para cargas internas.

La carga distribuida se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$F_{d2} = \frac{F_{CT}}{b} - - - - - - - - Ecuación\ 10$$

Sustituyendo los valores:

$$F_{d2} = \frac{1493.069\ N}{0.3\ m} = 4976.897\frac{N}{m}$$

$$\circlearrowleft \sum M_0 = 0 - - - - - - - - Ecuación\ 11$$

$$746.534\frac{N}{m}(0.15m) - 4976.897(0.15)(0.075)\frac{N}{m} + M_0 = 0$$

Despejando M_0 se obtiene :

$$M_0 = 56\frac{N}{m}$$

Para analizar los esfuerzos producidos por las fuerzas aplicadas sobre la placa se tiene la siguiente ecuación de esfuerzo a flexión producido en un punto.

$$\sigma_0 = \frac{M_0 . C}{I} \quad Ecuación\ 12$$

Donde:
$\sigma_0 = Esfuerzo\ a\ flexión\ producido\ en\ el\ punto\ 0\ de\ la\ placa$
$C = Distancia\ entre\ el\ eje\ nuetro\ y\ el\ eje\ exterior\ de\ la\ placa(1.5mm)$
$I = Momento\ de\ inercia\ en\ la\ sección\ Transversal\ en\ el\ punto\ 0$

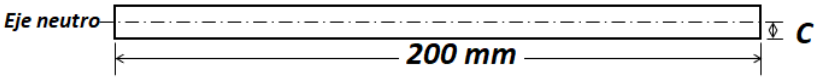


Figura 13. Diagrama del eje neutro de la placa.

Se calcula el momento de inercia con la fórmula siguiente:

$$I = \frac{1}{12}\, bh^3 - - - - - - Ecuación\ 13$$

Sustituyendo loas valores:

$$I = \frac{1}{12}(0.2m)(0.003)^3 = 4.5\ x10^{-10}\ m^4$$

Se sustituye los valores en la ecuación 12, se tiene que el esfuerzo a flexión producido en el punto O de la placa es la siguiente:

$$\sigma_0 = \frac{56\frac{N}{m}\quad (0.0015m)}{4.5\ x10^{-10}\ m^4} = 186666666.7\frac{N}{m^2} = 186.6\ MPa$$

Ahora se calcula el esfuerzo cortante producido en el punto O de la placa con la siguiente Ecuación:

$$\tau_0 = \frac{F_{CT} . Q}{I . b} - - - - - - - - Ecuación\ 14$$

Donde:
$\tau_0 = Esfuerzo\ cortante\ producido\ en\ el\ punto\ 0\ de\ la\ placa.$

$$Q = A_t . \bar{y} - - - - - - - - - - Ecuación\ 15$$

Donde:
$A_t = Área\ Transversal\ en\ el\ puntom\ 0\ de\ la\ placa$
$\bar{y} = Distancia\ entre\ centroide\ de\ la\ placa\ y\ el\ punto\ 0$

Calculando el área transversal en el punto O de la placa se tiene lo siguiente:

$$A_t = (0.2m)(0.003m) = 6\ x10^{-4}\ m^2$$

Sustituyendo los valores en la ecuación 15, se tiene que:

$$Q = (6\ x10^{-4}\ m^2)(0.0015m) = \quad 9\ x10^{-4}\ m^3$$

Se calcula el esfuerzo cortante producido en el punto O de la placa sustituyendo los valores en la ecuación 14, teniendo como resultado:

$$\tau_0 = \frac{(1493.069N)(9\ x10^{-4}\ m^3)}{(\ 4.5\ x10^{-10}\ m^4)(0.2m)} = 14930692.35\frac{N}{m^2} = 14.93\ MPa$$

Teniendo los esfuerzos a flexión y cortante producido en punto 0, se procede a calcular el esfuerzo cortante máximo que se puede producir en ese punto, de esta manera se podrá calcular el factor de seguridad de la placa.

Para calcular el esfuerzo cortante máximo se aplica la siguiente fórmula:

$$\tau_{0máx} = \sqrt{\left(\frac{\sigma_0}{2}\right)^2 + (\tau_0)^2} \quad ---------- Ecuación\ 16$$

$\tau_{0máx} = Esfuerzo\ cortante\ Máximo\ en\ el\ punto\ 0.$

Sustituyendo los valores, se tiene que el esfuerzo cortante máximo en el punto 0, es la siguiente:

$$\tau_{0máx} = \sqrt{\left(\frac{186.6MPa}{2}\right)^2 + (14.93MPa)^2} \ = \quad 94.487\ MPa$$

Por último, se calcula el factor de seguridad una vez calculado el valor del esfuerzo cortante máximo en el punto O con la fórmula siguiente:

$$N = \frac{0.5S_y}{\tau_{0máx}} ----- Ecuación\ 17$$

Donde:
$N = factor\ de\ seguridad$
$S_y = esfuerzo\ de\ fluencia\ cortante\ del\ material$

El valor del esfuerzo de fluencia cortante se obtiene de las propiedades del material.

$$S_y = 21\ ksi = 145\ MPa$$

Sustituyendo los valores en la ecuación 17, se tiene un factor de seguridad de:

$$N = \frac{(0.5)(145MPa)}{94.487MPa} = 0.7673$$

Este resultado nos indica que, para la base de la estructura, es conveniente usar la placa de 3 mm, puesto que no podrá llegar a sufrir fallas al ser sometido a una fuerza o carga máxima de acuerdo a las probetas y los materiales no metálicos que se utilicen en este prototipo.

Tomando en cuenta las consideraciones mencionadas en los puntos anteriores, así como, la longitud total que tiene cada uno de los tres tipos de probetas seleccionadas según la norma ASTM D638-14, la altura de las mordazas, la longitud total del actuador lineal eléctrico con pistón extendido. Se prosiguió a diseñar la estructura en SolidWorks, de manera que la base de la estructura tenga un espesor de 3 cm, para las columnas, que es lo que le dará forma a la estructura, se pretende usar 4 tubos con las siguientes características; (cédula 30, diámetro nominal de 3/4 de pulgada, calibre 14), de manera que las longitudes totales de los tubos serán de 90 cm y, por último, dos placas de 3 mm de espesor que servirán de agarre y/o soporte del actuador. Aplicando como material acero estructural ASTM A-36.

3. Desarrollo.

El objetivo principal de la simulación de análisis estático de la estructura es más que nada, saber y asegurar si el diseño realizado es apto para soportar ciertas cargas, de igual manera, ver si no llega a fallar al momento de ser sometido a una fuerza o carga máxima, por esta razón se realizó el siguiente análisis con la ayuda de uno de los complementos que trae SolidWorks, en este caso, *SolidWorks Simulation.*

Para realizar la simulación de análisis estático de la estructura, se toman en cuenta algunos parámetros, como primer parámetro, se define las sujeciones que debe de llevar el modelo, en este caso, las cuatro caras inferiores de las patas de la base de la estructura, que serán los puntos de apoyo donde harán contacto con la superficie, en la figura 15, se muestra las sujeciones definidas de la estructura.

Como segundo parámetro, se define las cargas externas a las que será sometido la estructura, cabe mencionar que, al momento de realizar ensayos de tensión, se presentarán dos cargas en diferentes direcciones, es decir, una de tensión, y otra de compresión.

Se define la primera carga, que será una fuerza a tensión, esto será en la cara superior de la base de la estructura, puesto que ahí irá ensamblado y/o soldado la mordaza fija, cabe mencionar que la mordaza fija irá ensamblado justo en medio de la placa, de tal forma que en ese punto será donde habrá mayor esfuerzo al momento de realizar los ensayos, de esta manera, se aplicaría el esfuerzo máximo de 2500 N, que es la fuerza máxima que puede ejercer el actuador, no obstante, al seleccionar la cara superior de la base de la estructura, se aplicaría esa fuerza en toda esa cara, por lo que se decidió definir una carga de 1300 N, lo que en la simulación lo toma como una carga distribuida en toda la cara, en la figura 16, se muestra la fuerza aplicada en la cara superior de la base de la estructura.

La segunda carga se define en sentido opuesto en las placas superiores que servirán de soporte al actuador que será de compresión con un valor de 100 N esto es por la manera en que se comporta las fuerzas al momento de realizar los ensayos a tensión figura 17.

Como tercer y último parámetro, se define el mallado del modelo, para este análisis se realizó un mallado fino para obtener resultados más concretos de la simulación, en la figura 18, se muestra el mallado de la estructura.

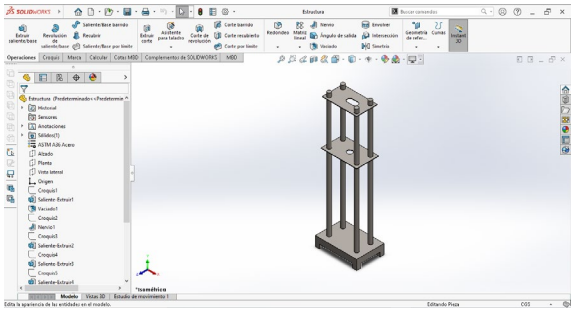


Figura 14. Diseño de la estructura.

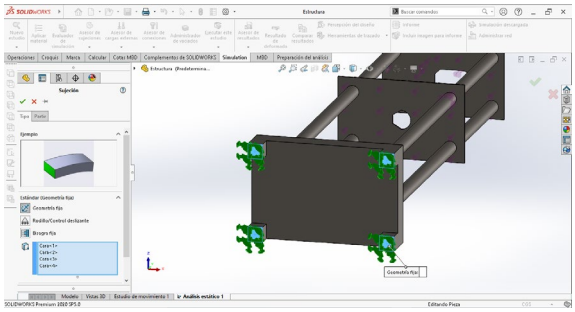


Figura 15. Simulación de los puntos de apoyo de la estructura.

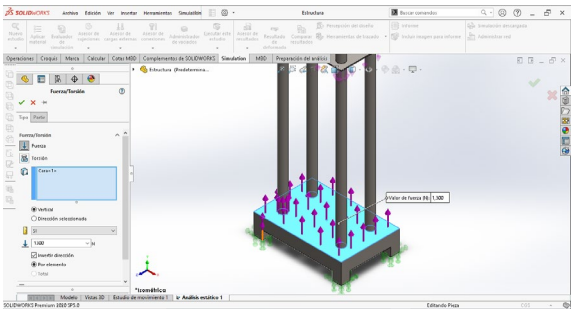


Figura 16. Fuerza aplicada en la cara superior.

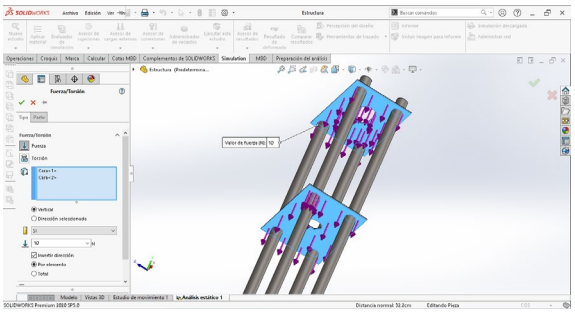


Figura 17. Fuerza aplicada en la cara inferiores.

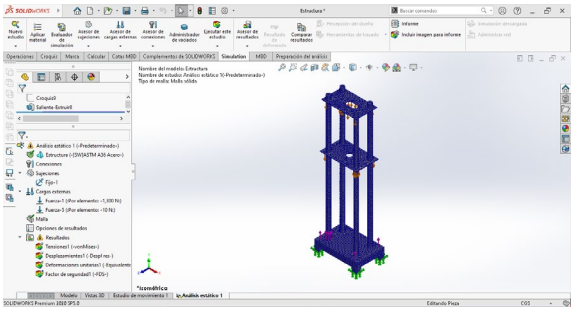


Figura 18. Mallado de la estructura.

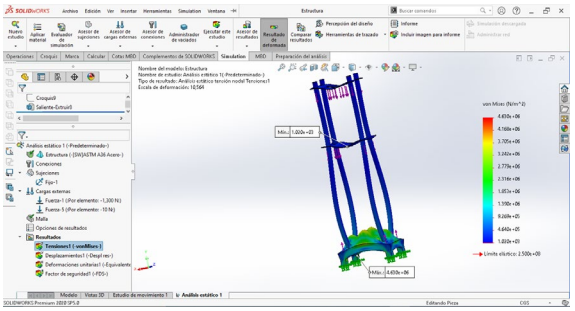


Figura 19. Simulación de tensiones de Von Misses.

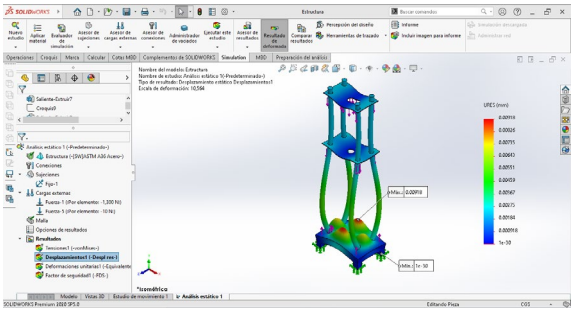


Figura 20. Simulación de desplazamientos.

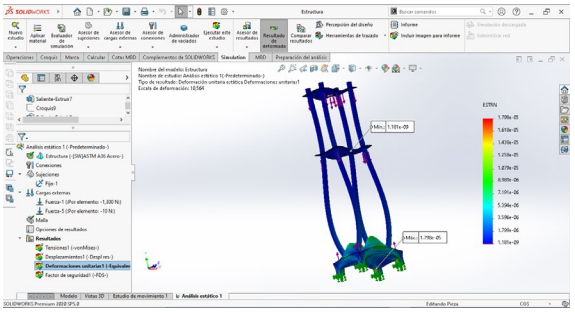


Figura 21. Simulación deformaciones unitarias.

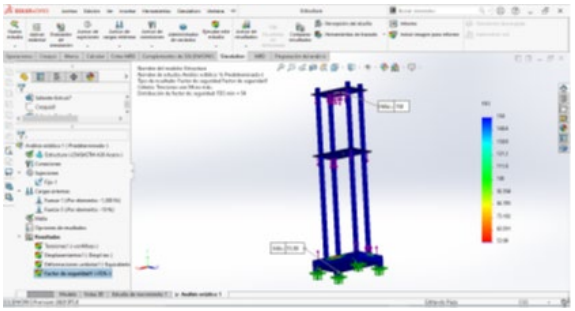


Figura 22. Simulación del factor de seguridad.

Luego de haber definido los parámetros para el análisis estático de la estructura, se procede a ejecutar la simulación, normalmente, SolidWorks Simulation nos define tres resultados que considera importantes que son; tensiones, desplazamientos y deformaciones unitarias, no obstante, para este análisis, nos interesa un dato muy importante, el

factor de seguridad, entonces, en el apartado de resultados, se tuvo que definir el trazado de factor de seguridad, ya con estos cuatro datos, consideramos suficiente para saber y asegurar si el diseño es apto para soportar las cargas definidas.

Conclusiones.

Como primer resultado de la simulación, se realizó el análisis de tensiones, en este caso, la de Von Misses, en la figura 19, se muestran los valores máximo y mínimo de las tensiones en Nm^2/Pa, teniendo un máximo de 4.63 MPa y un mínimo de 1.02 KPa, de tal manera que, el límite elástico para un acero estructural ASTM A-36 es igual a 250 MPa, esto quiere decir que, con estas cargas aplicadas, el material no llega a su límite elástico, por lo que la estructura es ideal para soportar elevadas cargas.

Luego, se analizaron los desplazamientos resultantes, como segundo resultado de la simulación, en la figura 20, se muestran los valores máximo y mínimo de los desplazamientos resultantes en mm, teniendo un máximo desplazamiento de 0.00948 mm y un mínimo de 1×10^{-30}, esto quiere decir, que el desplazamiento que puede llegar a tener la estructura al ser sometido a una carga máxima, no se podrá visualizar a simple vista, por lo que el diseño es adecuado y apto para soportar las cargas definidas, puesto que no tendrán grandes desplazamientos.

Después, se analizaron las deformaciones unitarias equivalentes, como tercer resultado de la simulación, de igual manera, en la figura 21, se muestran los valores máximo y mínimo de las deformaciones unitarias, teniendo un máximo de 1.798×10^{-5} y un mínimo de 1.181×10^{-9}, en base a estos resultados, la estructura no llegará a sufrir altas deformaciones, de tal manera que, se puede visualizar que son mínimas las partes donde se presentan altas deformaciones, representados en color rojo y mayor parte de la estructura no presentan casi nada de deformación, representados en color azul, de esta manera se tiene en claro que este diseño no presentará grandes fallas al ser sometido a cargas elevadas.

Por último y no menos importante, se realizó el análisis de factor de seguridad, en este caso nos basamos en el criterio de Von Misses, sabiendo que para asegurar un elemento o material, en este caso, el de la estructura, se necesita un factor de seguridad superior a la unidad, en la figura 22, se muestra los valores máximo y mínimo del factor de seguridad, teniendo un mínimo de 53.99 y limitando con un máximo de 150, esto quiere decir que el diseño de la estructura está más que seguro y apto para soportar cargas elevadas al momento de realizar ensayos de tensión, de esta manera, se concluye exitosamente la fase de diseño para continuar con la fase de construcción de la estructura del prototipo.

Referencias bibliográficas.

Álvarez, J. S. (2021). Diseño y Construcción del Sistema Mecánico de una Máquina de Tracción para Materiales Blandos. Recuperado en Marzo de 2022, de Archivo PDF: https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/42775/2021sebastiangalingo.johanmontoya.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

ASTM International 2015. Norma ASTM D638-14 “Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics”.

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

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

Carpio, G. I. (2019). Análisis de tracción de probetas impresas en 3d mediante deposición de hilo fundido de PLA, ABS Y PLA/MLO. Recuperado en Mayo de 2022, de Archivo PDF: https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/17123/1/UPS-CT008182.pdf.

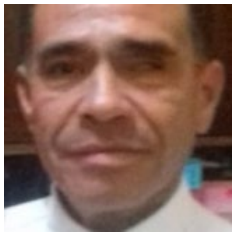
Gómez, R. D. (2019). actualización de una máquina para ensayos de tracción y compresión a polímeros producidos por la empresa gert *S.A.* Recuperado en Febrero de 2022, de Archivo PDF: https://red.uao.edu.co/bitstream/handle/10614/11256/T08658.pdf?sequence=5&isAllowed=y.

Serrato, K. S. (2021). Diseño de una máquina para el ensayo de tensión en fibras de materiales no metálicos. Recuperado en Marzo de 2022, de Archivo PDF: https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/27751/DuarteCantorKevinSebastian2021.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

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.

Julio César Llaven Gordillo. Licenciatura en Ingeniería Mecánica, Maestría en Ciencias de la Educación. Egresado del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez. Docente del Departamento de Metal-Mecánica del Instituto tecnológico de Tuxtla Gutiérrez.

José Manuel Rasgado Bezares, Licenciatura en Ingeniería Mecánica. Egresado del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez, Docente del Departamento de Metal-Mecánica del TecNM/Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez.

Diseño y construcción de un sistema automatizado de control de temperatura para el ahorro de agua en la ducha.

Design and construction of an automated temperature control system to save water in shower.

Fernando Alfonso May Arrioja (1).
Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez.
fernando.ma@tuxtla.tecnm.mx.

Hernán Valencia Sánchez* (2). Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez, hernan.vs@tuxtla.tecnm.mx.

Ignacio Arrioja Cárdenas (3). Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez, ignacio.ac@tuxtla.tecnm.mx.

Roberto Carlos García Gómez (4). Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez, roberto.gg@tuxtla.tecnm.mx.

Juan Carlos Niños Torres (5). Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez, juan.nt@tuxtla.tecnm.mx.

*corresponding author.

Artículo recibido en octubre 18, 2023; aceptado en noviembre 10, 2023.

Resumen.

El proyecto consiste en diseñar y construir un sistema automatizado que permita el ahorro de agua durante la ducha. Específicamente la cantidad de agua desperdiciada en las duchas, en espera de que el agua alcance la temperatura deseada de uso. Se usa el software **MATLAB** (***MAT****rix* ***LAB****oratory*). Este software nos da la capacidad de crear una interfaz de usuario que nos proporciona la interactividad con el sistema. La automatización del sistema de control de temperatura, permite que el usuario establezca el volumen y la temperatura del agua que utilizará para la ducha, entonces determina el volumen de agua fría (tinaco) y agua caliente (boiler), en función de su temperatura, para obtener el volumen de mezcla a la temperatura deseada. Este proyecto se montará en una base experimental que incluirá sensores de temperatura, electroválvulas, recipientes para representar el tinaco, el boiler y el recipiente de equilibrio termodinámico, tubería de pvc y llaves universales.

Palabras claves: Ahorro de agua, ducha, **e**quilibrio termodinámico.

Abstract.

The project consists of designing and building an automated system that allows water savings during showering. Specifically the amount of water wasted in showers, waiting for the water to reach the desired temperature for use. MATLAB software (MATrix LABoratory) is used. This software gives us the ability to create a user interface that provides us with interactivity with the system. The automation of the temperature control system allows the user to set the volume and temperature of the water to be used for the shower. Then determine the volume of cold water (water tank) and hot water (boiler), depending on their temperature, to obtain the volume of mixture at the desired temperature. This project will be set up on an experimental base that will include temperature sensors, solenoid valves, containers to represent the water tank, the boiler and the thermodynamic equilibrium container, PVC pipe and universal keys.

Keywords: Shower, thermodynamic balance, water saving.

1. Introducción.

Una gran cantidad de agua limpia es desperdiciada cada vez que la mayoría de las personas se dan un baño mientras esperan la salida de agua caliente. El problema no es menor, la ducha es el elemento por donde más agua se desperdicia en los hogares. Se estima que las duchas domésticas en México gastan en promedio 7 litros por minuto. El tiempo promedio para que el agua caliente fluya es de 1,8 minutos por lo que más de 12 litros se pierden al esperar a que salga (Twenergy, 2019). Para evitar lo anterior, se propone un sistema automatizado que a partir de la temperatura del agua caliente en el boiler y de la temperatura del agua fría en el tinaco, determine los volúmenes de ambas que deben mezclarse para obtener el volumen seleccionado por el usuario que toma la ducha, así como la temperatura deseada por el mismo (temperatura de equilibrio). Por ello, el software determina el tiempo de apertura de las electroválvulas de las líneas de agua caliente y agua fría, para obtener los volúmenes necesarios. Se utilizan 3 sensores de temperatura ubicados en la línea de agua fría, la línea de agua caliente y en el tanque de equilibrio. Para adquirir los datos del proceso (variables físicas) se usa Arduino mega. Los volúmenes de agua fría y caliente en el tanque de equilibrio se controlan midiendo su respectiva altura en el tanque de equilibro, cuya sección transversal es constante, usando sensores ultrasónicos.

2. Métodos.

Configuración del sistema.

El sistema se integra, básicamente, de los siguientes elementos:

- 3 sensores de temperatura sumergibles.
- 2 electroválvulas de ½”.
- 2 módulos de relay.
- 1 arduino mega.
- 1 protoboard.
- Cables UTP y jumpers.
- 3 recipientes para agua.

El sistema considera un primer recipiente (Tanque 1) para el agua caliente (agua del boiler), un segundo recipiente (Tanque 2) para el agua fría (agua del tinaco) y, un tercer recipiente (Tanque 3), donde se mezclarán volúmenes calculados de agua caliente y agua fría, para obtener un volumen final de agua en el Tanque 3, a la temperatura seleccionada por el usuario. Se utilizan sensores de temperatura para medir la temperatura del agua fría en el tinaco, la temperatura del agua caliente en el boiler y la temperatura en el tanque de equilibrio termodinámico (Tanque 3).

Para controlar los volúmenes requeridos de agua fría y agua caliente, el programa calcula el tiempo de apertura de las dos electroválvulas, instaladas en la tubería de agua fría y agua caliente, que las conducen al Tanque 3. Se requiere que la sección transversal del Tanque 3, sea un área A constante a lo largo de toda su altura. La configuración general de los componentes se muestra en la figura 1.

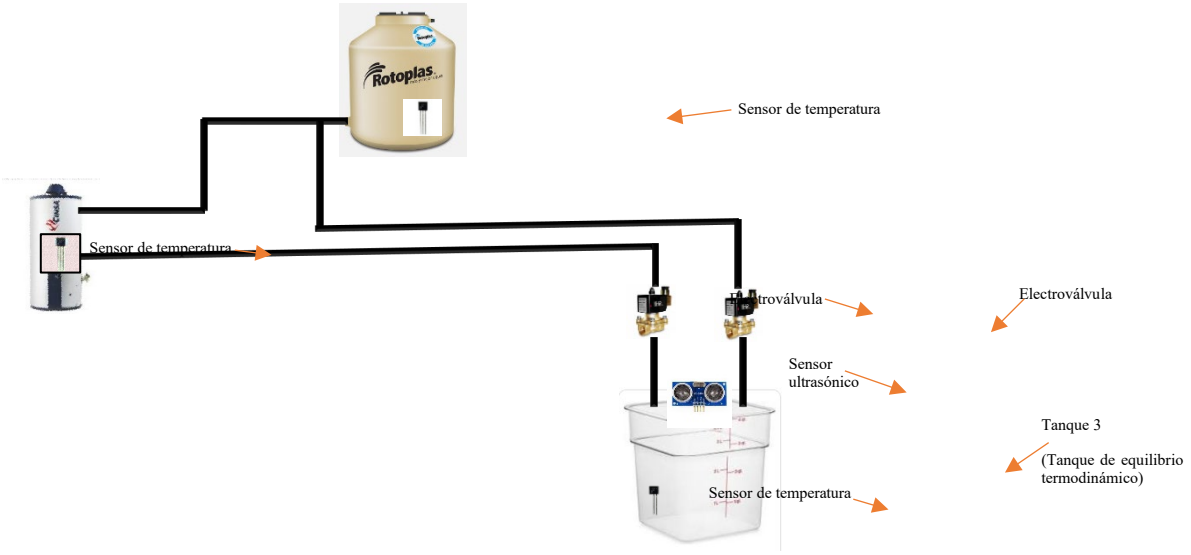


Figura 1. Configuración del sistema de equilibrio termodinámico (fuente propia).

Cálculo de alturas de agua fría y caliente en el tanque de equilibrio.

Se requiere determinar la masa m_1 (masa de agua caliente) y la masa m_2 (masa de agua fría) para obtener la masa m_3 (masa de agua a la temperatura deseada) a la temperatura de equilibrio.

La energía Q requerida para cambiar la temperatura de una masa m, de una temperatura inicial T_0 a una temperatura final T_f, manteniendo constante la presión (Cengel & Boles, 2011), está dada por:

$$Q = m\, c_p \left(T_f - T_0\right) - - - - - (1)$$

Donde:

$c_p = calor\ específico\ a\ presión\ constante.$

Entonces:

$$Q_1 + Q_2 = 0 - - - - - (2)$$

Donde:

$Q_1 = calor\ que\ cede\ el\ agua\ caliente$
$Q_2 = calor\ que\ recibe\ el\ agua\ fría$

Aplicando (1) en (2) con los correspondientes subíndices:

$$(m_1)(c_{p1})(T_f - T_{01}) + (m_2)(c_{p2})(T_f - T_{02}) = 0 - - - - - (3)$$

Donde:

$T_f = temperatura\ final\ de\ ambos\ fluidos\ (temperatura\ de\ equilibrio)$
$T_{01} = temperatura\ inicial\ del\ agua\ caliente$
$T_{02} = temperatura\ inicial\ del\ agua\ fría$

Para el agua, $c_{p1} = c_{p2}$, sustituyendo en (3):

$$(m_1)(T_f - T_{01}) + (m_2)(T_f - T_{02}) = 0 - - - - - (4)$$

Pero:

$$m_1 + m_2 = m_3 - - - - - (5)$$

Donde:

$m_3 = masa\ de\ agua\ en\ equilibrio\ térmico$

De (5), tenemos:

$$m_1 = m_3 - m_2 - - - - - (6)$$

Y sustituyendo (6) en (4):

$$(m_3 - m_2)(T_f - T_{01}) + (m_2)(T_f - T_{02}) = 0$$

$$m_2(T_f - T_{01}) - m_2(T_f - T_{02}) = m_3(T_f - T_{01})$$

$$m_2 = \frac{m_3(T_f - T_{01})}{(T_f - T_{01}) - (T_f - T_{02})} - - - - - (7)$$

Entonces:

$$m_1 = m_3 - \frac{m_3(T_f - T_{01})}{(T_f - T_{01}) - (T_f - T_{02})} - - - - - (8)$$

El control automático abrirá las electroválvulas el tiempo necesario para que fluyan al Tanque 3 (Tanque de equilibrio termodinámico), las masas m_1 y m_2. Las temperaturas T_{01} y T_{02} serán medidas por los respectivos sensores de temperatura, instalados en el boiler y tinaco, respectivamente. El usuario, a través de la interfaz determinará la masa m_3 y la temperatura T_f.

Las masas m_1 y m_2, se relacionan con los volúmenes V_1 y V_2 (figura 2) usando:

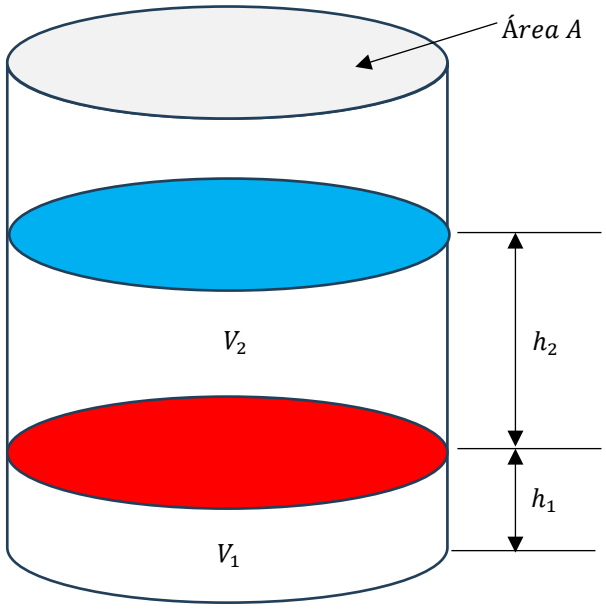


Figura 2. Masas de agua fría y caliente en Tanque 3 (fuente propia).

Se tiene:

$$V_1 = Ah_1 \text{ y } V_2 = Ah_2 - - - - - (9)$$

Donde:

$h_1 = altura\ de\ agua\ caliente$
$V_1 = volumen\ de\ agua\ caliente$
$h_2 = altura\ de\ agua\ fría$
$V_2 = volumen\ de\ agua\ fría$

Las alturas h_1 y h_2 serán medidas con el sensor ultrasónico instalado en el Tanque 3.

Sabiendo que $\rho = {}^{m}/_{V}$, donde ρ es la densidad, m es la masa y V es el volumen, entonces:

$$m = \rho\, V - - - - - (10)$$

Por consiguiente:

$$m_1 = \rho_1 V_1 \text{ y } m_2 = \rho_2 V_2$$

Donde ρ_1 y ρ_2, son las densidades del agua caliente y del agua fría, respectivamente.

Entonces:

$$m_1 = \rho_1 A h_1 \text{ y } m_2 = \rho_2 A h_2$$

Despejando h_1 y h_2:

$$h_1 = \frac{m_1}{\rho_1 A} \text{ y } h_2 = \frac{m_2}{\rho_2 A} - - - - - (11)$$

Sustituyendo (7) y (8) en (11), queda:

$$h_1 = \frac{m_3}{\rho_1 A} - \frac{m_3(T_f - T_{01})}{\rho_1 A[(T_f - T_{01}) - (T_f - T_{02})]} - - - - - (12)$$

$$h_2 = \frac{m_3(T_f - T_{01})}{\rho_2 A[(T_f - T_{01}) - (T_f - T_{02})]} - - - - - (13)$$

Para definir la masa m_3 el usuario define el volumen V_3, dado por:

$$V_3 = A(h_1 + h_2) = \frac{m_3}{\rho_3} - - - - - (14)$$

Donde ρ_3 es la densidad del agua en el Tanque 3 (agua en equilibrio termodinámico) a la temperatura deseada T_f.

Entonces:

$$m_3 = \rho_3 V_3 - - - - - (15)$$

Sustituyendo (15) en (12) y (13), respectivamente, tenemos:

$$h_1 = \frac{\rho_3 V_3}{\rho_1 A} - \frac{\rho_3 V_3(T_f - T_{01})}{\rho_1 A[(T_f - T_{01}) - (T_f - T_{02})]} - - - - - (16)$$

$$h_2 = \frac{\rho_3 V_3(T_f - T_{01})}{\rho_2 A[(T_f - T_{01}) - (T_f - T_{02})]} - - - - - (17)$$

Como $V_s = \frac{1}{\rho}$, donde V_s es el volumen específico, tanto para el agua caliente, para el agua fría y el agua del Tanque 3, se tiene $\rho_1 = \frac{1}{V_{S_1}}$, $\rho_2 = \frac{1}{V_{S_2}}$ y $\rho_3 = \frac{1}{V_{S_3}}$. Sustituyendo en (16) y (17), finalmente se tiene:

$$h_1 = \frac{V_{S_1} V_3}{V_{S_3} A} - \frac{V_{S_1} V_3(T_f - T_{01})}{V_{S_3} A[(T_f - T_{01}) - (T_f - T_{02})]} - - - - - (18)$$

$$h_2 = \frac{V_{S_2} V_3(T_f - T_{01})}{V_{S_3} A[(T_f - T_{01}) - (T_f - T_{02})]} - - - - - (19)$$

Programación del sistema.

La programación en *MATLAB* (The MathWorks, Inc., 2023) se inicia estableciendo la comunicación serial entre *MATLAB* y Arduino para el uso y librerías de los sensores (figura 3).

```
a=arduino('COM11', 'Uno', 'Libraries',{'JRodrigoTech/HCSR04','PaulStoffregen/OneWire'});
sensor=addon(a, 'JRodrigoTech/HCSR04', 'D12', 'D13'); %Pin D12 al Trigger, Pin D13 al Echo
sensor1=addon(a, 'PaulStoffregen/OneWire', 'D9');     %Sensor de temperatura 1 al pin D9
sensor2=addon(a, 'PaulStoffregen/OneWire', 'D9');     %Sensor de temperatura 2 al pin D9
sensor3=addon(a, 'PaulStoffregen/OneWire', 'D9');     %Sensor de temperatura 3 al pin D9
addr = sensor1.AvailableAddresses{1};   %Dirección IP a tomar para el sensor 1
addr1 = sensor2.AvailableAddresses{2};  %Dirección IP a tomar para el sensor 2
addr2 = sensor3.AvailableAddresses{3};  %Dirección IP a tomar para el sensor 3
```

Figura 3. Comunicación serial entre MATLAB y Arduino (fuente propia).

A continuación, se programa la adquisición de datos de los sensores de temperatura en los Tanques 1 y 2 (agua caliente y agua fría) (figura 4 y 5).

```
%Inicio de lectura para los sensores de temperatura
%Sensor 1 (tanque agua caliente)
reset(sensor1);
write(sensor1, addr, hex2dec('44'), true);
pause(1);
reset(sensor1);
write(sensor1, addr, hex2dec('BE')); % read command - 'BE'
data = read(sensor1, addr, 9);
crc = data(9);
sprintf('Data = %x %x %x %x %x %x %x %x  CRC = %x\n', ...
    data(1), data(2), data(3), data(4), data(5), data(6), data(7), data(8), crc);
if ~checkCRC(sensor1, data(1:8), crc, 'crc8')
    error('Invalid data read.');
end
raw = bitshift(data(2),8)+data(1);
cfg = bitshift(bitand(data(5), hex2dec('60')), -5);
switch cfg
    case bin2dec('00')  % 9-bit resolution, 93.75 ms conversion time
        raw = bitand(raw, hex2dec('fff8'));
    case bin2dec('01')  % 10-bit resolution, 187.5 ms conversion time
        raw = bitand(raw, hex2dec('fffC'));
    case bin2dec('10')  % 11-bit resolution, 375 ms conversion time
        raw = bitand(raw, hex2dec('fffE'));
    case bin2dec('11')  % 12-bit resolution, 750 ms conversion time
    otherwise
        error('Invalid resolution configuration');
end
raw = typecast(uint16(raw), 'int16');
celsius = double(raw) / 16.0;
```

Figura 4. Programación sensor agua caliente (fuente propia).

```
%Sensor 2 (tanque agua fría)
reset(sensor2);
write(sensor2, addr1, hex2dec('44'), true);
pause(1);
reset(sensor2);
write(sensor2, addr1, hex2dec('BE')); % read command - 'BE'
data = read(sensor2, addr1, 9);
crc = data(9);
sprintf('Data = %x %x %x %x %x %x %x %x  CRC = %x\n', ...
    data(1), data(2), data(3), data(4), data(5), data(6), data(7), data(8), crc);
if ~checkCRC(sensor2, data(1:8), crc, 'crc8')
    error('Invalid data read.');
end
raw = bitshift(data(2),8)+data(1);
cfg = bitshift(bitand(data(5), hex2dec('60')), -5);
switch cfg
    case bin2dec('00')  % 9-bit resolution, 93.75 ms conversion time
        raw = bitand(raw, hex2dec('fff8'));
    case bin2dec('01')  % 10-bit resolution, 187.5 ms conversion time
        raw = bitand(raw, hex2dec('fffC'));
    case bin2dec('10')  % 11-bit resolution, 375 ms conversion time
        raw = bitand(raw, hex2dec('fffE'));
    case bin2dec('11')  % 12-bit resolution, 750 ms conversion time
    otherwise
        error('Invalid resolution configuration');
end
raw = typecast(uint16(raw), 'int16');
celsius1 = double(raw) / 16.0;
```

Figura 5. Programación sensor agua fría (fuente propia).

Los valores medidos se reservan en las variables $t1$ y $t2$ (Figura 6).

```
t1=celsius;  %Temperatura del sensor del agua caliente
t2=celsius1; %Temperatura del sensor del agua fría

fprintf('Temperatura del tanque de agua caliente es: %f\n',t1);
fprintf('Temperatura del tanque de agua fría es: %f\n',t2);
```

Figura 6. Temperaturas obtenidas por los sensores (fuente propia).

Enseguida se solicitan al usuario, los valores de volumen y temperatura del agua en equilibrio termodinámico (Tanque 3) (Figura 7).

```
fprintf('El volumen máximo a solicitar es 1.3lts \n');
t3=input('Temperatura del agua requerida:'); %Temperatura deseada por el usuario
v=input('Volumen de agua requerida:');      %Volumen deseado por el usuario
```

Figura 7. Parámetros que el usuario define (fuente propia).

A continuación, el programa calcula los volúmenes específicos del agua caliente, del agua fría y del agua en equilibrio, según la temperatura medida por los sensores o definida por el usuario (figuras 8-11).

```
80      %Memoria de cálculo
81 -    b=0.0084948665;
82 -    ih=Int(t1);   %Interpolación para el agua caliente
83 -    ic=Inte(t2);  %Interpolación para el agua fría
84 -    id=Inter(t3); %Interpolación para el agua pedida por el usuario
```

Figura 8. Subprogramas para interpolar volumen específico del agua (fuente propia).

```
1       %subprograma donde van los valores de temperatura y volumen específico para
2       %hacer la interpolación.
3       function ih=Int(t) %función a llamar en el programa principal
4 -     T=[30,35,40,45,50,55,60,65,70,75,80,85,90,95]; %Temperatura del agua caliente
5 -     Ps=[0.001004,0.001006,0.001008,0.001010,0.001012,0.001015,0.001017,0.001020,0.001023,0.001026,0.00102
6 -     ih=interp1(T,Ps,t);
7 -     end
```

Figura 9. Interpolación volumen específico agua caliente (fuente propia).

```
1       %subprograma donde van los valores de temperatura y volumen específico para
2       %hacer la interpolación.
3       function ic=Inte(t) %función a llamar en el programa principal
4 -     T=[5,10,15,20,25,30,35]; %Temperatura del agua fría
5 -     Ps=[0.001000,0.001000,0.001001,0.001002,0.001003,0.001004,0.001006]; %volumen específico del agua
6 -     ic=interp1(T,Ps,t);
7 -     end
```

Figura 10. Interpolación volumen específico agua fría (fuente propia).

```
1       %subprograma donde van los valores de temperatura y volumen específico para
2       %hacer la interpolación.
3       function id=Inter(t) %función a llamar en el programa principal
4 -     T=[5,10,15,20,25,30,35,40,45,50,55,60,65,70,75,80,85,90,95]; %Temperatura del agua requerida
5 -     Ps=[0.001000,0.001000,0.001001,0.001002,0.001003,0.001004,0.001006,0.001008,0.001010,0.001012,0.00101
6 -     id=interp1(T,Ps,t);
7 -     end
```

Figura 11. Interpolación volumen específico agua en equilibrio termodinámico (fuente propia).

Enseguida se resuelve la matriz con los volúmenes específicos para determinar los volúmenes V_1 y V_2 (figura 12).

```
86      %Matriz para obtener los valores del V1 y V2
87 -    fa=2;
88 -    f=[t1,t2];
89 -    ca=2;
90 -    c=[1,1];
91 -    A=[f;c];
92 -    Ainv=Minversa(A,fa);
93 -    B=[(v*t3);v];
94 -    P=ProductoMatrices(Ainv,B,fa,ca,1);
95 -    F=P(1,1);
96 -    C=P(2,1);
```

Figura 12. Cálculo de los volúmenes V1 y V2 (fuente propia).

Se calcula la matriz inversa de A (figura 13).

```
function Ainv=Minversa(A,n)
    k = n+1;
    for i=1:n
        for j=n+1:2*n
            if k ~= j
            A(i,j)= 0.0;
            else
            A(i,j)= 1.0;
            end
        end
    k=k+1;
    end
 % Se obtiene la matriz inversa de A(i,j).
for k=1:n
        for j=2*n:-1:k
            A(k,j)= A(k,j)/A(k,k);
        end
            for i=1:n
            if i~=k
                for j=2*n:-1:k
                    A(i,j)=A(i,j)- A(i,k)*A(k,j);
                end
            end
            end
end
 % Se extrae la matriz inversa Ainv(i,j) de la matriz A(i,j).
for i=1:n
     k = 1;
      for j=n+1:2*n
            Ainv(i,k)= A(i,j);
            k=k+1;
      end
end
end
```

Figura 13. Matriz inversa de A (fuente propia).

Se procede a obtiene el producto de las matrices A y B (figura 14).

```
function P=ProductoMatrices(A,B,fa,ca,cb)
    % Se desarrolla el producto de matrices
    for i=1:fa
        for j=1:cb
            s=0;
             for k=1:ca
                s=s+A(i,k)*B(k,j);
             end
                P(i,j)=s;
        end
    end
end
```

Figura 14. Producto de matrices (fuente propia).

Entonces se pueden calcular las alturas h_1 de agua caliente y h_2 de agua fría (figura 15).

```
98      %Cálculos para la apertura y cierre de las electroválvulas
99 -    h1=(F*ih)/b; %Alura requerida para el agua caliente
100 -   h2=(C*ic)/b; %Alura requerida para el agua fría
101 -   h3=h1+h2;    %Alura final en el recipiente intermedio
102 -   h4=0.236-h1;
103 -   h5=0.236-h3;
```

Figura 15. Cálculo de alturas h_1 y y h_2 en Tanque 3 (fuente propia).

Ahora, se pueden establecer los tiempos de apertura de las electroválvulas en las líneas de agua caliente y agua fría, como una función de las alturas determinadas para cada tipo de fluido (figura 16).

```
107 - for i=15:-.01:1
108 -     i1=i;
109 -     i1=i1-.01;
110 -  if i1>1
111 -  d=readTravelTime(sensor); %Lee el tiempo de viaje de las ondas del sensor Ultrasónico
112 -  d1=340*d/2;
113 -  d2=d1+0.010;
114 -  d3=d1+0.008;
115 -  pause(.1);
116 -  end
117 -  configurePin(a,'D10','DigitalOutput'); %Configuración del pin D10 (Válvula 1) como salida
118 -  if d2<=h4
119 -     writeDigitalPin(a,'D10',1);
120 -     configurePin(a,'D11','DigitalOutput'); %Configuración del pin D11 (Válvula 2) como salida
121 -     writeDigitalPin(a,'D11',0);
122 -       if d3<=h5
123 -         writeDigitalPin(a,'D11',1);
124 -         break
125 -       else
126 -          if d1>h4
127 -    writeDigitalPin(a,'D10',0);
128 -          end
129 -       end
130 -  end
131 - end
```

Figura 16. Tiempo de apertura de electroválvulas en función de las lecturas del sensor ultrasónico (fuente propia).

Finalmente se programa la lectura del sensor de temperatura en el Tanque 3, para medir que corresponda a la temperatura establecida por el usuario (figura 17).

```
pause(12);
reset(sensor3);
write(sensor3, addr2, hex2dec('44'), true);
pause(1);
reset(sensor3);
write(sensor3, addr2, hex2dec('BE')); % read command - 'BE'
data = read(sensor3, addr2, 9);
crc = data(9);
sprintf('Data = %x %x %x %x %x %x %x %x  CRC = %x\n', ...
    data(1), data(2), data(3), data(4), data(5), data(6), data(7), data(8), crc);
if ~checkCRC(sensor3, data(1:8), crc, 'crc8')
    error('Invalid data read.');
end
raw = bitshift(data(2),8)+data(1);
cfg = bitshift(bitand(data(5), hex2dec('60')), -5);
switch cfg
    case bin2dec('00')  % 9-bit resolution, 93.75 ms conversion time
        raw = bitand(raw, hex2dec('fff8'));
    case bin2dec('01')  % 10-bit resolution, 187.5 ms conversion time
        raw = bitand(raw, hex2dec('fffC'));
    case bin2dec('10')  % 11-bit resolution, 375 ms conversion time
        raw = bitand(raw, hex2dec('fffE'));
    case bin2dec('11')  % 12-bit resolution, 750 ms conversion time
    otherwise
        error('Invalid resolution configuration');
end
raw = typecast(uint16(raw), 'int16');
celsius2 = double(raw) / 16.0;
t5=celsius2; %Temperatura del sensor del tanque intermedio
```

Figura 17. Temperatura sensor Tanque 3 (fuente propia).

Pruebas experimentales.

Con el propósito de verificar de forma práctica las ecuaciones (18) y (19), así como validar la programación de los sensores de temperatura y el sensor ultrasónico, se construye un modelo a escala, utilizando recipientes plásticos para simular el tinaco, el boiler y el Tanque de equilibrio (Tanque 3) (figura 18).

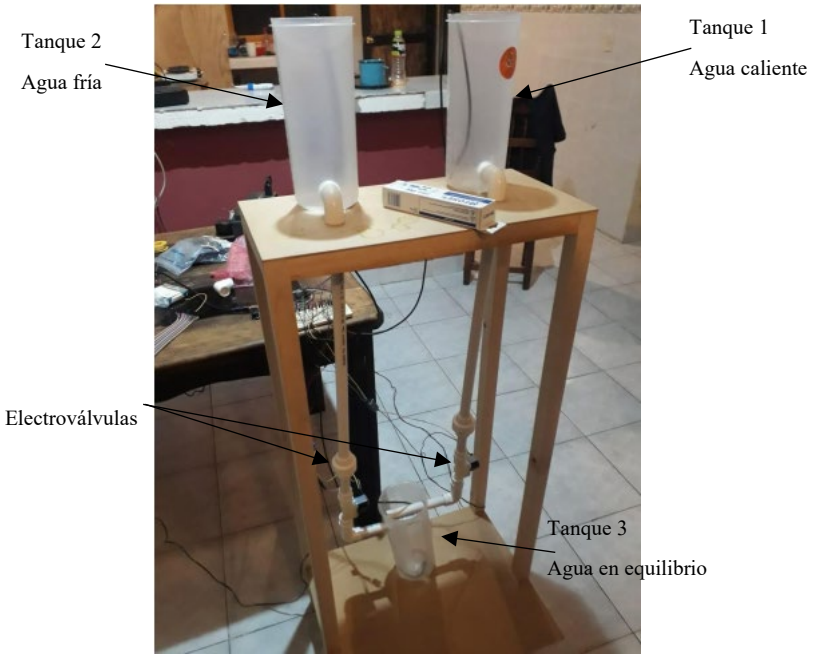


Figura 18. Modelo de experimentación (Fuente propia).

El agua en el Tanque 1 se calienta usando una simple resistencia eléctrica y la temperatura se eleva hasta los 58.687500 ℃, mientras que al agua del Tanque 2 se enfría usando cubos de hielo, midiendo entonces una temperatura de 27.562400 ℃. El volumen del Tanque 3 (experimental) es de 1.3 lt.

Por lo anterior el usuario puede, a través de la interface, seleccionar un volumen V, tal que $(0 \leq V \leq 1.3)lt$ y una temperatura tal que $27.562400\ ℃ \leq T \leq 58.687500\ ℃$. Para la experimentación se selecciona un volumen $V = 0.7\ lt$ y una temperatura $T = 35\ ℃$.

En la figura 19 se puede ver la información obtenida en la interface.

Figura 19. Resultados obtenidos en la corrida experimental (fuente propia).

3. Resultados.

Se obtienen las ecuaciones (18) y (19) que permiten definir, dada la sección transversal constante (Área A) del Tanque 3, las alturas h_1 y h_2 que definen los volúmenes requeridos para obtener una mezcla con volumen y temperatura establecidos por el usuario.

Se usan tablas de propiedades del agua a diferentes temperaturas y presión atmosférica estándar, para interpolar los volúmenes específicos del agua fría, agua caliente y el agua en equilibrio.

Como se puede apreciar en la Figura 19, el usuario solicita un volumen de $0.7\ lts$ a una temperatura de $35\ ℃$ y el sistema dispensa, sin desperdiciar ni una gota de agua, un volumen de $0.7004\ lts$ a una temperatura de $34.3125\ ℃$. Esto es, una eficiencia del 99.94% en el volumen dispensado y 98.04% en la temperatura equilibrada.

Por lo anterior, la implementación del sistema en una casa habitación, evitaría el desperdicio del agua que se deja correr durante la ducha, en espera de que se alcance la temperatura deseada por el usuario.

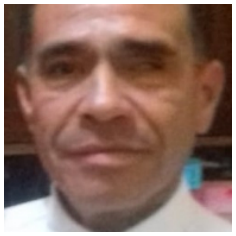
Referencias bibliográficas.

Cengel, Y. A., & Boles, M. A. (2011). *Thermodynamics: An Engineering Approach.* Boston, USA: McGraw-Hill. Recuperado el 2023 de Octubre de 2023.

The MathWorks, Inc. (2023). *Aprenda a utilizar MATLAB y Simulink mediante tutoriales gratuitos*. Recuperado el 5 de Octubre de 2023, de MathWorks: https://la.mathworks.com/support/learn-with-matlab-tutorials.html?s_tid=hp_ff_l_tutorials.

Twenergy. (27 de Marzo de 2019). ¿Cómo podemos evitar el desperdicio del agua al comenzar el baño? Recuperado el 24 de Octubre de 2023, de Twenergy: https://twenergy.com/ecologia-y-reciclaje/como-ahorrar-agua/como-podemos-evitar-el-desperdicio-del-agua-al-comenzar-el-bano-1586/.

Información de los autores.

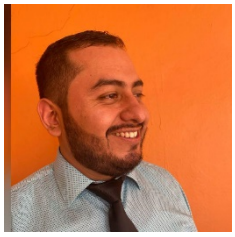


Fernando Alfonso May Arrioja, Licenciado en Ingeniería Mecánica por el Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez, Maestro en Energías Renovables por la Universidad Politécnica de Chiapas y Doctor en Ingeniería Aplicada en el Colegio de Formación Educativa Tenam. Profesor de Carrera Enseñanza Superior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

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.

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.



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

CIEES desde 2016.

Diseño y desarrollo de sistema de entrenamiento de control de procesos basado en Industry 4.0.

Design and devolpment of a process control training based on Industry 4.0.

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

Aldo Esteban Aguilar Castillejos (2). Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez, aldo.ac@tuxtla.tecnm.mx.

Alexis de Jesús Flores García (3). Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez, alexis.fg@tuxtla.tecnm.mx.

Joel Gómez Pérez (4). Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez, joel.gp@tuxtla.tecnm.mx.

José Ángel Zepeda Hernández (5). Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez, jose.zh@tuxtla.tecnm.mx.

Álvaro Hernández Sol (6). Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez, alvaro.hs@tuxtla.tecnm.mx.

*corresponding author.

Artículo recibido en octubre 26, 2023; aceptado en noviembre 13, 2023.

Resumen.

En el presente artículo se presenta el diseño y desarrollo de un sistema de control de procesos que considera cuatro variables importantes de la industria: flujo, presión, nivel y temperatura. Para su implementación se aplicó diseño de P&ID, diseño mecánico, diseño eléctrico, diseño de la red Profinet y IO link, que permiten tener los dibujos, planos y arquitecturas para su adecuada construcción. El sistema cuenta desde un depósito de provisionamiento de líquido, bombas centrifugas de impulsión, tuberías, conexiones hidráulicas de sensores, válvulas proporcionales y tanques, instrumentación electrónica y dispositivos de control que permiten representar procesos muy parecidos a los que se encuentran en diversas industrias. Así también se desarrolló el sistema de control basado en un PLC de nueva generación y un maestro IO link para la instrumentación del sistema mediante profinet, base fundamental de la industria 4.0.

Palabras claves: Diseño eléctrico, diseño mecánico, Eplan, P&ID, flujo volumétrico, SolidWorks.

Abstract.

This article presents the design and development of a process control system that considers four important variables of the industry: flow, pressure, level and temperature. For its implementation, P&ID design, mechanical design, electrical design, Profinet network design and IO link were applied, which allow us to have the drawings, plans and architectures for its proper construction. The system has a liquid supply tank, centrifugal drive pumps, pipes, hydraulic connections of sensors, proportional valves and tanks, electronic instrumentation and control devices that allow representing processes very similar to those found in various industries. Thus, the control system was also developed

based on a new generation PLC and master IO link for the instrumentation of the system through Profinet, the fundamental basis of Industry 4.0.

Keywords: Electrical design, Eplan, P&ID, Mechanical design, SolidWorks, volumetric flow.

1. Introducción.

La automatización de proceso industriales es uno de los objetivos fundamentales dentro de las empresas que hoy en día están en la incesante tarea de la búsqueda de competitividad y actualización en una generación de constante crecimiento tecnológico. La automatización de un proceso industrial es el manejo de información en tiempo real, que está constituido por un conjunto de máquinas y de equipos industriales, que incorporan así mismo un gripo de elementos y dispositivos tecnológicos que dan paso al control automatizado para una ejecución óptima de procesos, mismo que fueron diseñados según criterios de ingeniería y normativas correspondientes. (Moreno, 1999).

En el concepto de automatización lleva implícita la supresión total o parcial de la intervención humana en la ejecución de diversas tareas industriales. Se aplica la automatización tanto a las tareas más sencillas, como lo es la regulación de velocidad de un motor trifásico mediante un variador de frecuencias o la regulación de presión de agua mediante electroválvulas. (Moreno, 1999)

La automatización es en esencia, la convergencia de tres tecnologías: mecánica, electrónica e informática. Estas tecnologías de automatización se centran en el conocimiento de los dispositivos tecnológicos utilizados en la implementación de la automatización, tales como transductores, preaccionadores, dispositivos funcionales de aplicación especifica y dispositivos lógicos de control. (Nieto, 2006)

La automatización en la industria hoy en día transita hacia una evolución y por lo tanto también la economía global transita hacia una nueva fase que se caracteriza por la digitalización y la conectividad, esta es la industria 4.0 también llamada la Cuarta Revolución Industrial sobre la producción manufacturera, el trabajo, las cadenas globales de valor y el comercio según (Basco. Ana et al., 2018).

En el desarrollo de este sistema de entrenamiento se construye un circuito cerrado de tuberías de PVC y depósitos de agua, en el cual fluirá agua. Se podrá monitorear cuatro variables típicas de la ingeniería de procesos: flujo, presión, nivel y temperatura. Para la regulación de flujo, el nivel y la presión se dispone de un circuito con dos depósitos transparentes. Como actuadores se usan electroválvulas de control y una bomba de agua trifásica que estará conectado a un variador de frecuencia para ajustar su velocidad.

Se implementa protocolos de comunicación Profinet y IO-Link, los cuales son protocolos industriales que ayudan a obtener datos en tiempo real, la comunicación Profinet ofrece una comunicación rápida y precisa, y IO-Link permite comunicarse con sensores que tienen la interfaz IO-Link para la adquisición de datos de manera fácil y rápida.

2. Métodos.

Sistema de tanques acoplados.

Un sistema de tanque es esencialmente un sistema de almacenamiento y transporte de líquidos. Además de cumplir con la función de almacenamiento, debe a que hay interrelación entre las variables, es decir, el nivel del primer tanque afecta al del segundo; el nivel de éste afecta a los otros que estén interconectados o acoplados por medio de tubería a este. (Alexandro Jaffet Cribas, pág. 10).

Una representación de este tipo de sistema se muestra en la figura 1. Las variables de dicho sistema se detallan en la tabla 1, al igual que su significado.

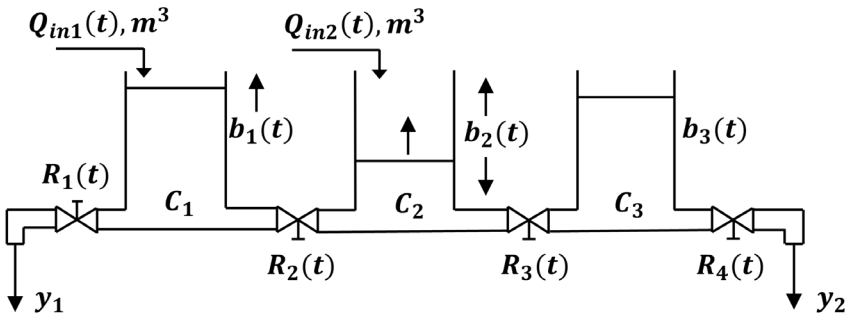


Figura 1. Tanques en serie.

Tabla 1. Variables de un sistema de tanques en serie.

Variable	Significado
$Q_{in1}Q_{in2}$	Caudal de entrada del sistema
R_1, R_2, R_3, R_4	Resistencia del fluido causado por las válvulas
C_1, C_2, C_3	Capacitancia del fluido
b_1, b_2, b_3	Diferencia de altura
y_1, y_2	Caudal de entrada

Diseño de diagramas de tuberías e Instrumentación P&ID.

Como primer paso para el desarrollo de cualquier ingeniería de procesos se tiene que comenzar a través del diagrama de tuberías e instrumentación o también llamado P&ID, este es vital en etapa de diseño y de operaciones toda planta industrial. El P&ID (Process and Instrumentation Diagram) es la representación gráfica y esquemática de cada uno de los equipos, tuberías, válvulas, controles y demás componentes asociados al flujo de un proceso. Muestra la secuencia física de estos equipos y cómo se conectan. Este diagrama PID está compuesto por diversos tipos de líneas, círculos y símbolos para identificar a cada componente y a las distintas interconexiones dentro de un proceso.

El P&ID es una herramienta imprescindible de la ingeniería de procesos. A través de este es posible obtener una visión integral y clara de cada proceso en la planta industrial y de la interconexión que existe entre la instrumentación. Este panorama tan completo ayuda a analizar y a dirigir la ejecución de un proyecto industrial, a modelarlo y tener esta herramienta permite su adecuada implementación en el diseño mecánico y su implementación física. Alvinox (2023).

Utilizando el software LucidChart el cual es una herramienta de diagramación basada en la web se desarrolló el P&ID del sistema, LucidChart. (2023).

En la figura 2 se muestra el desarrollo de la instrumentación del sistema que se basa en normativa ANSI ISA 5.1.

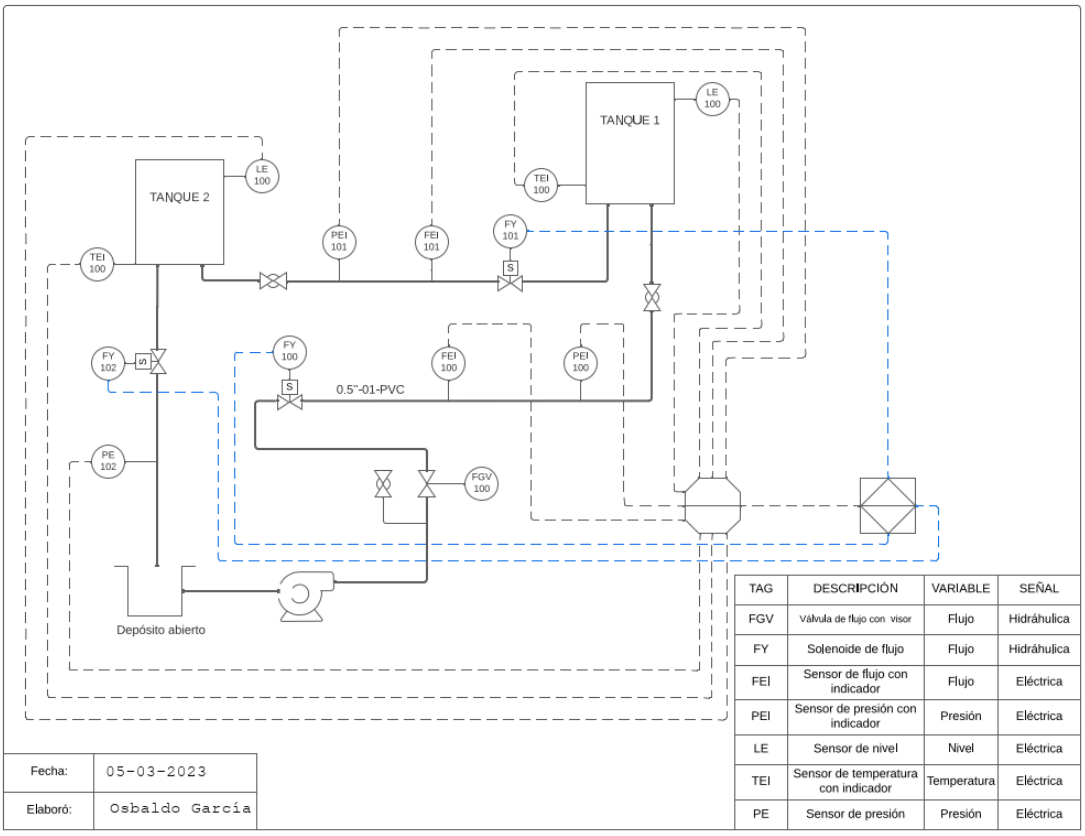


Figura 2. Diseño P&ID del sistema de control de procesos basado en normativa ANSI ISA 5.1.

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 un depósito de agua de succión, 2 tanques conectados en serie, 1 bomba de agua con alimentación trifásica, válvulas proporcionales y sensores de nivel, presión, flujo y temperatura. En la figura 3 se muestra una vista dimétrica de la parte de la estructura principal del sistema de control de procesos.

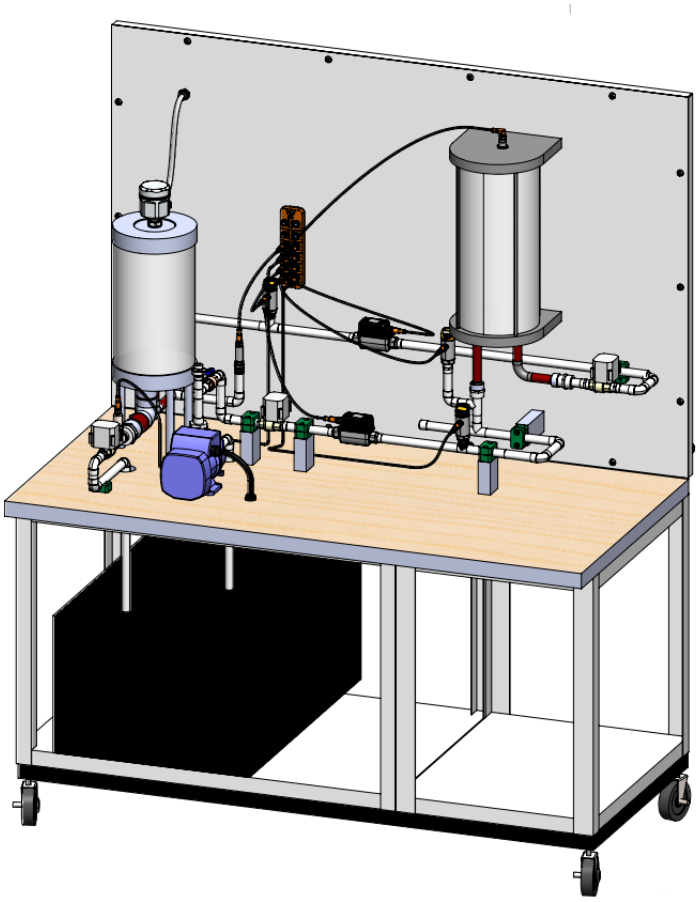


Figura 3. Diseño del sistema de control de procesos, en vista dimétrica.

En la figura anterior se muestra una vista general del diseño del sistema de control de procesos. Los dos tanques están conectados en serie como se ha mencionado anteriormente y la disposición de cada uno de los sensores y del maestro IO-Link. Se muestra también la conexión de los sensores y de la bomba trifásica, que está alimentado desde el tablero eléctrico.

En la parte inferior se muestra el depósito de agua en color negro, que es el depósito de succión de la bomba y a su vez es el depósito de descarga del sistema, por lo que el agua estará funcionando de manera cíclica si la bomba se encuentra en funcionamiento, tal y como se muestra en la figura 4 la cual es una imagen renderizada obtenida de SolidWorks.

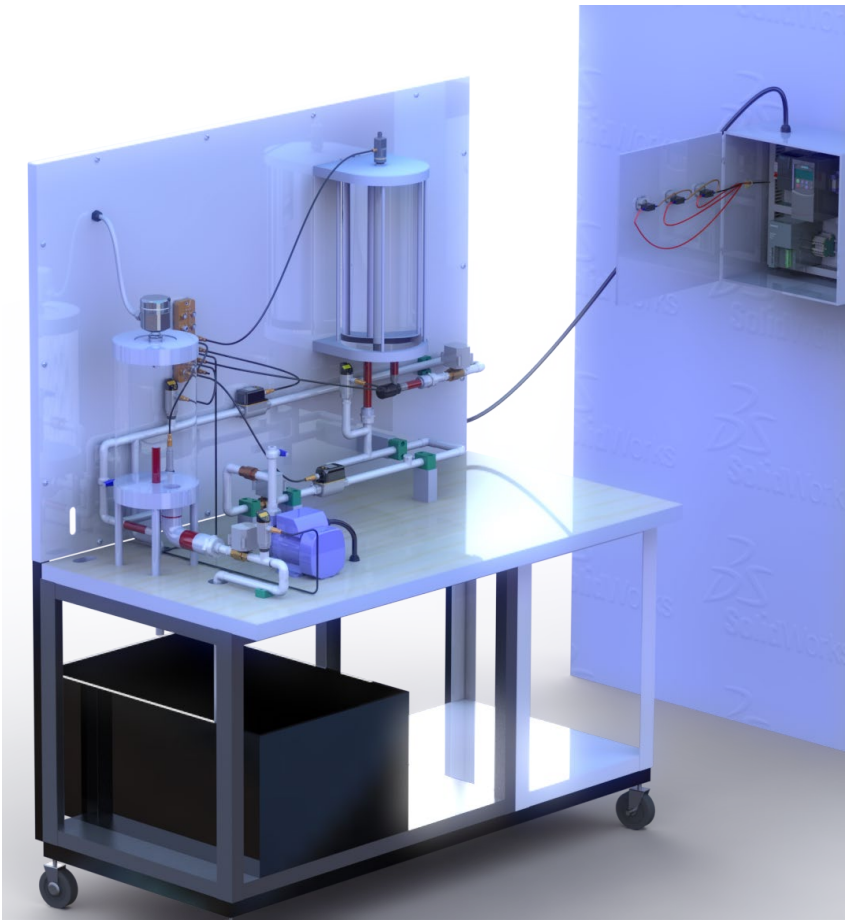
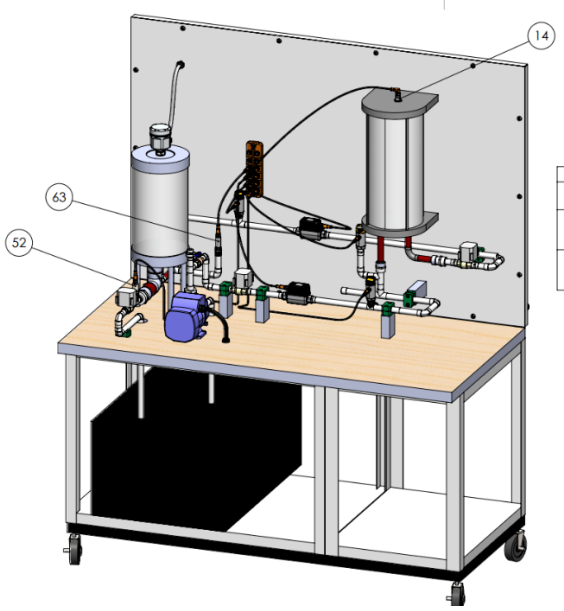


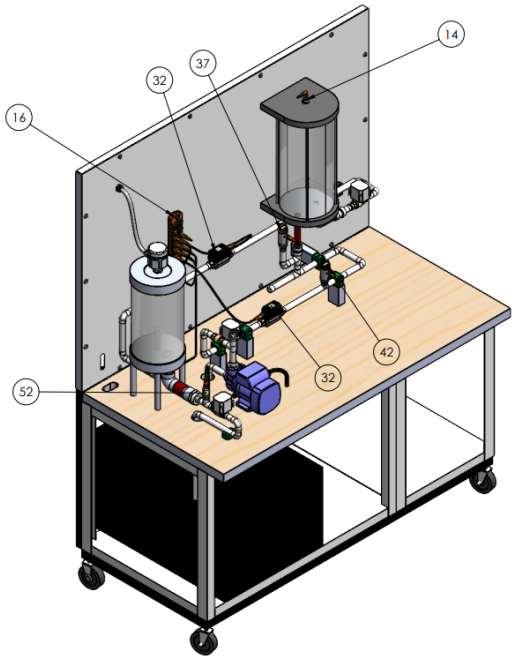
Figura 4. Vista isométrica renderizada sistema de control de procesos.

En las figuras del 5 a la 6 se muestran los planos 2D del diseño del sistema generados en SolidWorks. Se muestran distintas vistas a fin de observar a detalle las partes que constituyen el sistema, que mediante globos enumera cada uno de los elementos y que están referenciados a una tabla. La tabla muestra el número de elemento, su descripción y la cantidad existente de ese elemento el sistema.



N.° DE ELEMENTO	N.° DE PIEZA	CANTIDAD
53	SENSOR DE PRESION	1
56	SENSOR ULTRSONICO UGT526_6	1
63	SENSOR DE TEMPERATURA TA2105	1

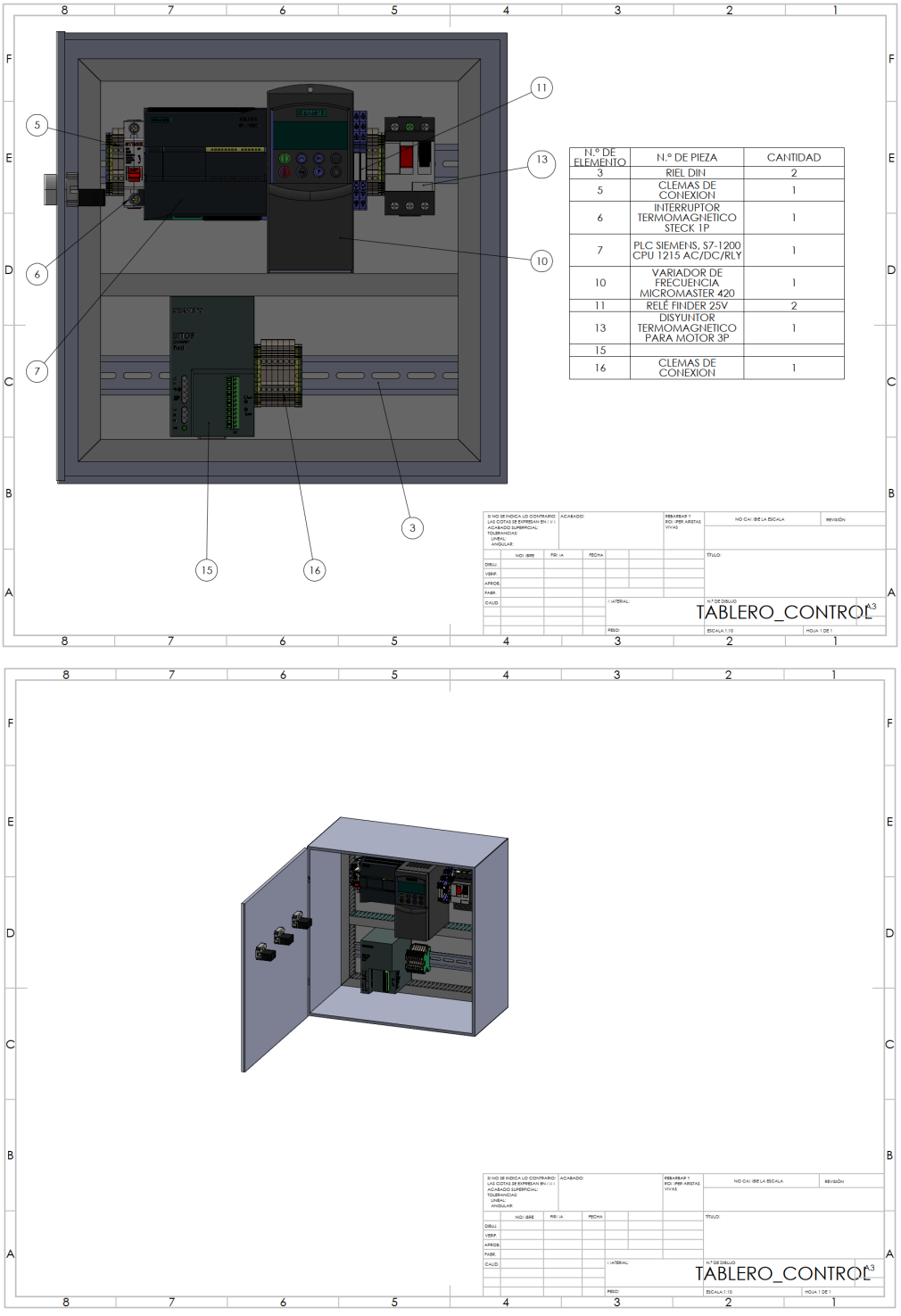
Figura 5. Plano de vista dimétrica del sistema de control de procesos.



N.° DE ELEMENTO	N.° DE PIEZA	CANTIDAD
14	SENSOR ULTRASONICO UGT526_6	1
16	MASTER IO-LINK	1
32	SENSOR DE FLUJO SV4200	2
37	SENSOR DE TEMPERATURA TN2435	1
42	SENSOR DE PRESION PN3529_3	2
52	SENSOR DE PRESIÓN	1

Figura 6. Vista isométrica del sistema de control de procesos

Se diseño de igual manera el tablero eléctrico para el sistema, en el cual se alojan los equipos de alimentación, control y protección. En la figura 7, se muestra el diseño del tablero, con cada uno de los elementos que lo conforman.



N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	CANTIDAD
3	RIEL DIN	2
5	CLEMAS DE CONEXION	1
6	INTERRUPTOR TERMOMAGNETICO STECK 1P	1
7	PLC SIEMENS, S7-1200 CPU 1215 AC/DC/RLY	1
10	VARIADOR DE FRECUENCIA MICROMASTER 420	1
11	RELÉ FINDER 25V	2
13	DISYUNTOR TERMOMAGNETICO PARA MOTOR 3P	1
15		
16	CLEMAS DE CONEXION	1

Figura 7. Vista frontal e isométrica del tablero eléctrico y lista de componentes.

Diseño eléctrico del sistema de control de procesos.

Se realizó el diseño eléctrico de los diagramas de conexión mediante el software Eplan que permite desarrollar y planear proyectos en los campos de la ingeniería eléctrica, de automatización y mecatrónica, EPLAN. (2023). A través de él se desarrollaron los esquemas eléctricos, diagramas de cableado de la parte de potencia y control, como se muestra en la figura 8.

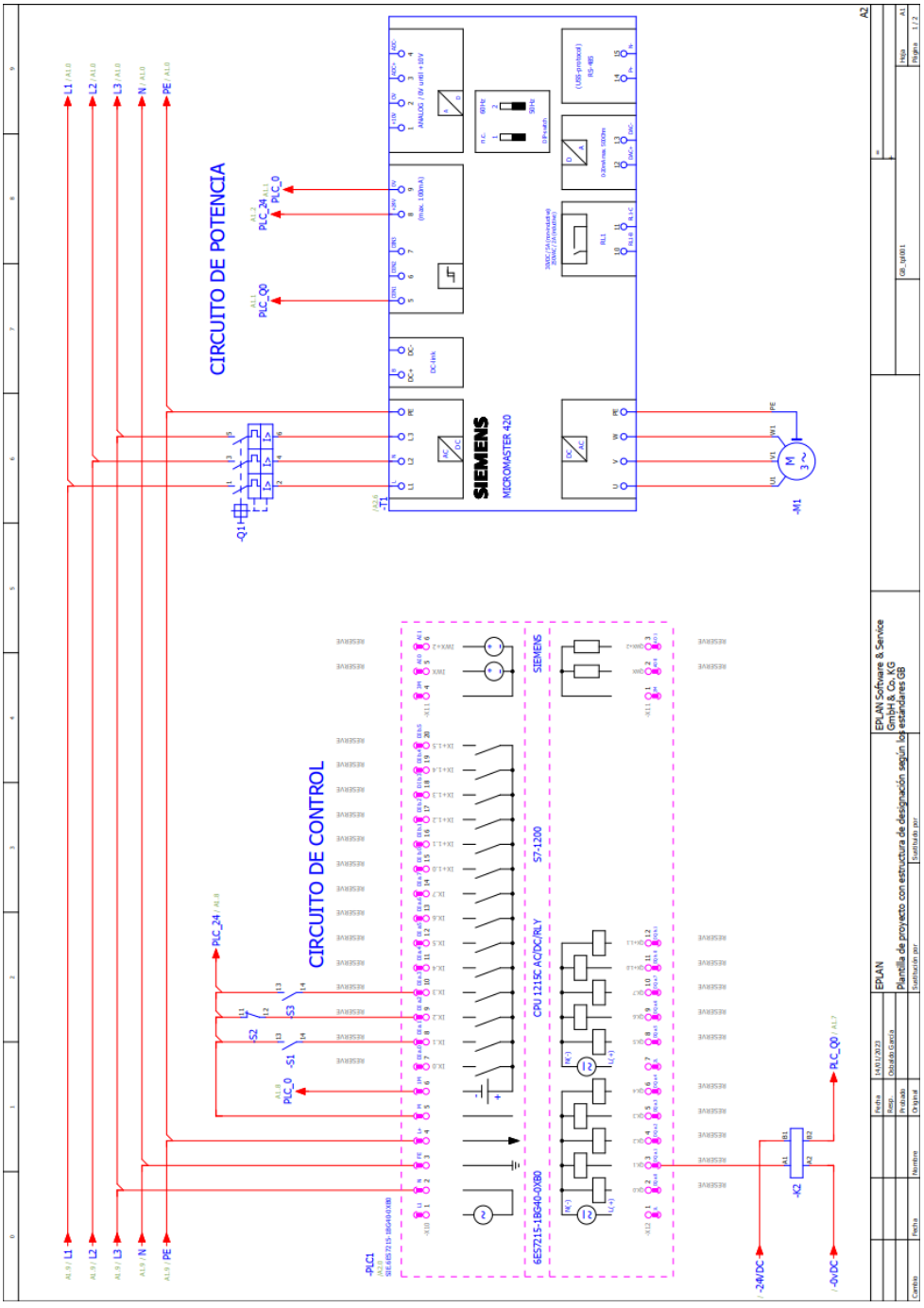


Figura 8. Vista 2D del diagrama eléctrico del sistema.

Diseño de 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.

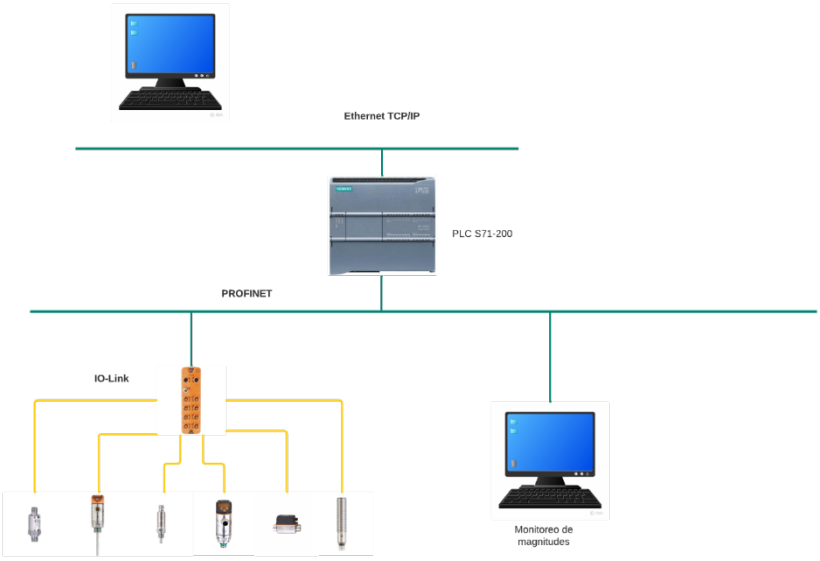


Figura 9. Red de comunicación Profinet del sistema de control de procesos.

3. Desarrollo.

Teniendo los diseños P&ID, eléctrico y mecánico, se empezó con la construcción física del sistema de control de proceso. Se inicio con el acondicionamiento de la base, que es la estructura que soporta todos los componentes, haciendo adecuaciones necesarias.

Figura 10. Acondicionamiento de la estructura del sistema.

Para la realización de la construcción física del sistema de control de proceso, se inició con el acondicionamiento de la mesa de trabajo, que es la estructura base del sistema de control, haciendo adecuaciones necesarias. En la figura 11 se hace el reacondicionamiento de uno de los tanques (tanque 1), que antes fue utilizado en un proyecto similar al que se presenta en este informe. En este tanque se instala el sensor ultrasónico UGT526, para monitorear el nivel de dicho tanque.

Figura 11. Reacondicionamiento e instalación de sensor ultrasónico en el tanque 1.

Posteriormente se hizo la instalación de la base del tanque 2, y se fijó el tanque 1 (figura 12), siguiendo el diseño 3D que se implementó en la etapa de diseño en SolidWorks.

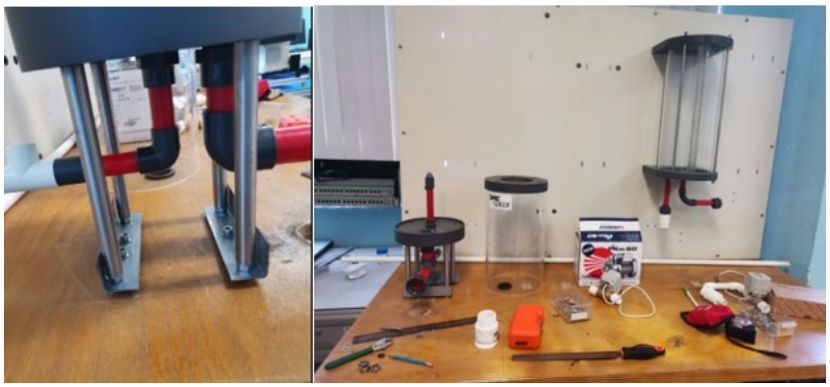


Figura 12. Montaje de tanques 1 y 2.

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 13.

Figura 13. Montaje de bomba y conexión de tubería de succión y salida.

En la figura 14, se tiene el sistema de tuberías terminado, retornando la salida del sistema al depósito de donde se succiona el agua, también se agregó el sensor de horquilla vibrante al tanque 2, en la que fue necesario diseñar e imprimir una base en 3D para poder montarlo a dicho tanque.

Figura 14. Instalación de sensores y salida del sistema de tubería.

Posteriomente se empotró la el gabinete a la pared, en donde se alojaria el tablero eléctrico. En la figura 15 se muestra el proceso del armado del tablero y de la configuración según el diseño 3D implementado.

Figura 15. Instalación del gabinete y armado del tablero eléctrico.

El siguiente paso fue conectar las electroválulas a la fuente de alimentación de 24VDC y a las salidas analógicas del PLC. Tambien se conectaron los sensores al maestro IO-Link, misma que fue alimentada a la fuente de voltaje del tablero. Del mismo modo se hizo la instalación y conexión de los botones de arranque, paro y paro de emergencia.

En la figura 16 se muestra el resultado de la construcción física del sistema de control de procesos, que consistió en la conexión de tuberías PVC, instalación de sensores, electroválvulas y la bomba de agua. En la figura se muestra los dos tanques de agua, que están en serie, y cada una de ellas cuenta con un sensor de nivel en la parte superior. En la entrada del primer tanque se encuentra un sensor de flujo, uno de presión y uno de temperatura; la línea de tubería que conecta ambos tanques se encuentran un sensor de flujo, de presión y temperatura. En la salida del tanque se encuentra un sensor de presión, que medirá la presión de la salida del sistema. En la figura 16 se muestra las conexiones de los sensores de nivel, flujo, presión y temperatura al maestro IO-Link. También se puede apreciar la conexión del cable de comunicación Profinet (cable verde), el cual envía las señales al PLC. Las electroválvulas y él maestro IO-Link se conectaron a una fuente de 24V instalado en el tablero eléctrico.

Figura 16. Sistema de control de procesos.

Conclusiones.

El desarrollo de este sistema permitió aplicar las 4 herramientas fundamentales en la implementación de un proyecto mecatrónico (diseño P&ID, diseño mecánico, diseño eléctrico e integración de tecnología) comprobando con ello que es posible desarrollar tecnología siguiendo normativa y buenas prácticas ingenieriles. En este documento se presentó el proceso de diseño e implementación de un sistema de entrenamiento de control de procesos de las cuatro variables fundamentales de un proceso industrial presión, flujo, temperatura y nivel, en donde fue muy importante desde el uso de herramientas de corte, la selección adecuada de los sensores, diseño de tuberías, conexiones de sensores, tipos de señal de sensores y actuadores, adecuada selección de los

dispositivos de control de las bombas centrifugas y elección adecuada del controlador lógico programable de nueva generación, todo ello permitió generar una tecnología que podrá ser utilizada para el entrenamiento de las nuevas tendencias tecnológicas de la industria.

El sistema desarrollado es una muestra de las nuevas tecnologías que existen hoy en día y de las nuevas aplicaciones de la Industria 4.0. Todo esto ayudará al docente y estudiante en el Laboratorio Industry 4.0 ifm/TecNM a aplicar técnicas de control automático de procesos y que abre un amplio panorama a diferentes sistemas de control que tengan como fin ser más eficientes, seguro y con mejor desempeño, estudiando técnicas de modelado, adquisición y análisis de datos, diagnósticos y corrección de fallas.

Referencias bibliográficas.

Alexandro Jaffet Cribas, L. E. (2023). Sistema de Control de Llenado y Nivel de Tanques en Plantas de Tratamiento de Agua. San Pedro Sula.

Alvinox (2023). P&ID Usos, aplicaciones y beneficios para el diseño de plantas industriales. Alvinox. https://www.alvinox.com/que-es-un-p-id-usos-aplicaciones/.

Basco, A. I., Beliz, G., Coatz, D., & Garnero, P. (2018). Industria 4.0: fabricando el futuro. https://doi.org/10.18235/0001229.

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

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

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

Moreno, E. G. (1999). Automatización de procesos industriales. Valencia : Universitat Politécnica de Valéncia.

Nieto, C. (2006). Manufactura y automatización. Bogotá.

SolidWorks. (2023). Qué es y para qué sirve Solidworks. Recuperado 01 de Agosto 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. 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.

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 en formación "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.

Alexis de Jesús Flores García es Ingeniero en Electrónica con especialidad en instrumentación y control por el Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez (ITTG), graduado en 2010; obtuvo el grado de maestro en Ciencias en Optomecatrónica por el Centro de Investigaciones en Óptica A.C. (CIO), graduado en 2014. Cuenta con Diplomado en Microsoft Teams, ha colaborado como profesor en el área de Ciencias Básicas y en el departamento de educación a distancia del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez desde 2014. Actualmente es docente y auxiliar de laboratorio ¾ de tiempo desde 2020 en el departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez (ITTG).

Joel Gómez Pérez es Ingeniero en Electrónica por el Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez (ITTG), graduado en 2005; Maestro en Ciencias en Ingeniería Mecatrónica por el Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez (ITTG), graduado en 2013. Ha colaborado con diversas universidades; entre ellas la Universidad del Valle de México, Universidad Politécnica de Chiapas (UPCH) en el área de Ingeniería Mecatrónica, Biomédica, Energía; entre otros. Actualmente es profesor de tiempo completo en el Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez desde 2010. Es profesor con perfil deseable PRODEP desde 2017 y jefe de laboratorio de Física en el departamento de Ciencias Básicas.

José Ángel Zepeda Hernández es Ingeniero Industrial en Eléctrica y Maestro en Ciencias en Ingeniería Mecatrónica, egresado del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez ITTG. Es profesor de tiempo completo en el área de Ingeniería Electrónica del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez e investigador desde 1999, Imparte cátedra en el área de Ingeniería Electrónica y la Maestría en Ciencias en Ingeniería Mecatrónica en el ITTG, donde imparte las asignaturas de Diseño con Transistores y Electrónica Básica respectivamente. Líder del cuerpo académico en formación "Sistemas de control inteligentes".

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 "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.

Las relaciones de dependencias como una característica del estilo de escritura.

Dependency relationships as a feature of writing style.

Germán Ríos Toledo (1).
Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez.
german.rt@tuxtla.tecnm.mx.

Luis Alberto Ríos Coutiño* (2). Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez, luis.rc@tuxtla.tecnm.mx.

Raúl Paredes Trinidad (3). Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez, raul.pt@tuxtla.tecnm.mx.

Jorge Williams Figueroa Corzo (4). Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez, jorge.fc@tuxtla.tecnm.mx.

Elfer Isaías Clemente Camacho (5). Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez, elfer.cc@tuxtla.tecnm.mx.

Francisco de Jesús Suárez Ruiz (6). Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez, francisco.sr@tuxtla.tecnm.mx.

*corresponding author.

Artículo recibido en mayo 24, 2023; aceptado en junio 05, 2023.

Resumen.

Para desarrollar un sistema de análisis automático de estilo de escritura confiable, es necesario considerar factores importantes como el número de textos disponibles, así como la cantidad de palabras u oraciones que integran dichos textos. Otro desafío importante que ha marcado la pauta en los estudios de Atribución de Autoría es determinar qué tipo de características resulta más adecuada para representar los textos para obtener tasas de atribución de autoría más elevadas. Tradicionalmente los textos se representan por medio de características agrupadas en tres categorías: léxicas, morfologías y sintácticas. Este artículo se enfoca en el análisis de las características sintácticas llamadas relaciones de dependencias para evaluar su efectividad en un sistema automático de Atribución de Autoría basado en aprendizaje automático. Las relaciones de dependencia se obtuvieron mediante al analizador sintáctico Stanfod Parser, el cual divide el texto en oraciones en forma automática y genera las relaciones de dependencia entre pares de palabras. Después del análisis sintáctico, se conoce la frecuencia con la que un autor hace uso de las relaciones de dependencia en la composición de sus textos. Los experimentos realizados con algoritmos de aprendizaje automático mostraron que las características sintácticas proporcionan resultados muy favorables para algunos autores en las pruebas de clasificación, y que además brindan información importante sobre patrones de uso no perceptibles a nivel léxico o morfológico.

Palabras claves: Aprendizaje automático, atribución de autoría, características, relaciones de dependencia.

Abstract.

In order to develop a reliable automatic writing style analysis system, it is necessary to consider important factors such as the number of texts available, as well as the number of words or sentences that make up those texts. Another important challenge that has set the standard in authorship attribution studies is to determine which type of features are best suited to represent texts in order to obtain higher authorship attribution rates. Traditionally, texts are

represented by features grouped into three categories: lexical, morphological and syntactic. This paper focuses on the analysis of syntactic features called dependency relations to evaluate their effectiveness in an automatic machine learning based Authorship Attribution system. The dependency relations were obtained using the Stanfod Parser, which automatically splits the text into sentences and generates the dependency relations between word pairs. After parsing, the frequency with which an author makes use of dependency relations in the composition of his texts is known. Experiments with machine learning algorithms showed that syntactic features provide very favorable results for some authors in classification tests, and that they also provide important information about usage patterns not perceptible at the lexical or morphological level.

Keywords: Authorship attribution, dependency relations, features, machine learning.

1. Introducción.

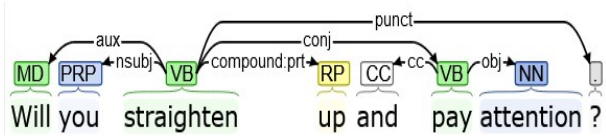
Uno de los puntos críticos de los sistemas de Atribución de Autoría basado en estilo es identificar características que permitan de identificar de forma precisa al autor de un texto anónimo. Con la llegada de los Analizadores Sintácticos como Stanford Parser, Spacy y Stanza es posible explorar con mucho detalle el papel que juega la información sintáctica de las oraciones en el estilo de escritura de un autor. Los Analizadores Sintácticos descomponen la estructura lineal de una oración y la muestran mediante una representación en forma de árbol invertido, en el que los nodos representan palabras que están conectadas mediante arcos. De acuerdo a Dearneffe et al (2008), las dependencias tipo Stanford se diseñaron para proporcionar una descripción simple de las relaciones gramaticales de una oración, de forma que personas sin conocimientos lingüísticos las comprendan fácilmente. Para explicar qué son las relaciones de dependencia, la Tabla 1 muestra las relaciones de dependencias de oraciones escritas en idioma inglés. El proceso de análisis sintáctico se realiza en cada oración del texto. El Analizador Sintáctico numera las palabras con al orden en que aparecen en una oración. Por ejemplo, en ”The lecture was really boring”, *The* es número 1, *lecture* es número 2 y así sucesivamente. Los signos de puntuación no son palabras, pero su posición en la oración también se numera. En las oraciones se usa una palabra *virtual ROOT* (en la posición 0) y una relación virtual *root*. Por ello, todas las oraciones comienzan con la relación de dependencia *root* (ROOT-0, X), donde X es la palabra que el analizador sintáctico identifica como la raíz de toda la oración.

Tabla 1. Análisis sintáctico de oraciones escritas en idioma inglés.

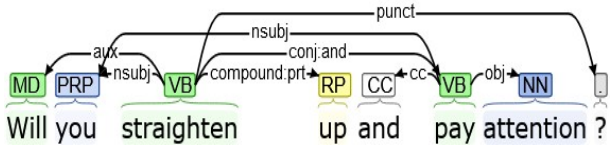
Oración	Relaciones de dependencia
The lecture was really boring.	root(ROOT-0, boring-5) det(lecture-2, The-1) nsubj(boring-5, lecture-2) cop(boring-5, was-3) advmod(boring-5, really-4) punct(boring-5, .-6)
The sonorous voice droned on.	root(ROOT-0, droned-4) det(voice-3, The-1) amod(voice-3, sonorous-2) nsubj(droned-4, voice-3) compound:prt(droned-4, on-5) punct(droned-4, .-6)
“Will you straighten up and pay attention?”	root(ROOT-0, straighten-4) punct(straighten-4, “-1) aux(straighten-4, Will-2) nsubj(straighten-4, you-3) nsubj(pay-7, you-3) compound:prt(straighten-4, up-5) cc(pay-7, and-6) conj:and(straighten-4, pay-7)

	obj(pay-7, attention-8) punct(straighten-4, ?-9) punct(straighten-4, ”-10)

Todas las relaciones de dependencias son binarias, Marneffe, et al, (2008); existe una palabra *gobernadora* y otra *subordinada*. Para la relación nsubj(boring-5, lecture-2), *boring* es palabra gobernadora y *lecture* es la palabra subordinada o dependiente. En esta forma de representación, la gobernadora siembre es la primera palabra. La información sintáctica también se representa en forma gráfica para una mejor compresión de las relaciones de dependencias. En un grafo dirigido los nodos representan palabras y los arcos a la relación de dependencia entre dos palabras, Sachan, (2020). La flecha señala a la palabra *dependiente*. Los analizadores sintácticos se actualizan periódicamente, por ello el conjunto de relaciones de dependencia y la forma de representarlas cambia de acuerdo a la versión. La figura 1 muestra las relaciones de dependencia de la oración: *Will you straighten up and pay attention?*



(a) Dependencias básicas.



(b) Dependencias extendidas

Figura 1. Relaciones de dependencias generadas con CoreNLP 4.4.0.

Además de las relaciones de dependencia, un analizador sintáctico proporciona más información importante sobre cada palabra de una oración. Por ejemplo, la categoría gramatical, así como el lema o entidades nombradas.

La Tabla 2 muestra clasificación de las relaciones de dependencia tipo Stanford propuesta en De Marneffe et al, (2014), los autores afirman que las relaciones se desarrollaron como una representación práctica de la sintaxis del inglés para aplicaciones de comprensión del lenguaje natural.

Tabla 2. Relaciones de dependencia tipo Standord.

Core dependents of clausal predicates		
Nominal dep	*Predicate dep*	
nsubj	csubj	
nsubjpass	csubjpass	
dobj	ccomp	xcomp
iobj		
Non-Core dependents of clausal predicates		
Nominal dep	*Predicate dep*	*Modifier word*
	advcl	afvmod
	nfincl	neg
nmod	ncmod	
Special clausal dependents		
Nominal dep	*Auxiliary*	*Others*

vocative	aux	marks
discuorse	auxpass	punct
expl	cop	
Coordination		
conj	cc	
Noun Dependent		
Nominal dep	*Predicate dep*	*Modifier word*
nummod	relcl	amod
appos	nfincl	det
nmod	ncmod	neg
Compounding and unanalyzed		
compound	mwe	goeswith
name	foreingn	
case-marking, prepositions,possesive		
case		
Loose joining relations		
list	parataxis	remnant
dislocated		reparandum
Other		
Sentence head	*Unspecified dependency*	
dislocated	dep	

2. Métodos.

2.1. Información del Corpus.

Para evaluar las relaciones de dependencias en Atribución de Autoría, se utilizó el Corpus del PAN 2012. Dicho Corpus consta de 14 autores de habla inglesa, cuyos nombres se identifican con caracteres de la A a la Z. El Corpus está dividido en un conjunto de entrenamiento y uno de prueba. En el conjunto de entrenamiento los autores cuentan con dos textos y en el conjunto de prueba con un solo texto. El problema de Atribución de Autoría consiste en determinar a quién de los 14 autores pertenece un texto cuya autoría "se desconoce". Este es un problema de clase "cerrada" dado que indudablemente uno de los N autores escribió el texto de prueba.

2.2. Preprocesamiento del Corpus.

Las Relaciones de dependencia se obtuvieron con el Analizador Sintáctico Starford Parser. Además del idioma inglés, dicho Analizador procesa textos escritos en español, francés, alemán, entre otros. Los árboles de dependencia representan las relaciones sintácticas entre las palabras que forman la oración, Posadas-Durán et al, (2017). La figura 2 muestra las relaciones de dependencia de una novela del conjunto de entrenamiento.

```
Sentence #10 (4 tokens):

His eyelids drooped.
Dependency Parse (enhanced plus plus dependencies):
root(ROOT-0, drooped-3)
nmod:poss(eyelids-2, His-1)
nsubj(drooped-3, eyelids-2)
punct(drooped-3, .-4)

Sentence #11 (8 tokens):

He began to slump in his seat.
Dependency Parse (enhanced plus plus dependencies):
root(ROOT-0, began-2)
nsubj(began-2, He-1)
nsubj:xsubj(slump-4, He-1)
mark(slump-4, to-3)
xcomp(began-2, slump-4)
case(seat-7, in-5)
nmod:poss(seat-7, his-6)
obl:in(slump-4, seat-7)
punct(began-2, .-8)

Sentence #12 (4 tokens):

“Dennis!”
Dependency Parse (enhanced plus plus dependencies):
root(ROOT-0, Dennis-2)
punct(Dennis-2, “-1)
punct(Dennis-2, !-3)
punct(Dennis-2, ”-4)
```

Figura 2: Relaciones de dependencias del PAN 2012.

2.3. Selección del tamaño de los textos.

Cada texto es distinto en tamaño en cuanto número palabras que los conforman. El analizador sintáctico divide el texto en oraciones de acuerdo a patrones aprendidos en múltiples entrenamientos. La Tabla 3 muestra el total de oraciones identificadas por Stanford Parser en los textos del corpus PAN 2012. Las celdas en negritas indican los textos con la menor cantidad de oraciones.

Tabla 3. Oraciones identificadas por Stanford Parser el corpus PAN 2012.

Conjunto de prueba		Conjunto de entrenamiento		
Texto anónimo	Oraciones	Autor	Oraciones Texto 1	Oraciones Texto 2
1	8,009	A	5,628	5,211
2	7,649	B	16,902	9,570
3	5,968	C	14,838	9,751
4	6,619	D	7,240	6,762
5	18,670	E	8,553	12,335
6	5,562	F	3,792	3,598
7	4,579	G	6,791	6,068
8	8,669	H	7,967	10,563
9	3,099	I	7,025	4,134
10	11,953	J	10,048	3,841
11	7,139	K	3,458	3,838
12	3,225	L	2,205	**2,723**
13	**1,637**	M	**1,781**	5,437
14	3,050	N	4,381	3,707

Debido a que los textos no tienen el mismo número de oraciones, es necesario normalizar la cantidad de bloques de texto utilizado para el entrenamiento de los algoritmos de aprendizaje. En los experimentos se determinó utilizar los primeros 10 bloques de cada novela. De esta forma todos autores disponen de la misma cantidad de bloques para el

entrenamiento. Situación que se conoce con el nombre de clases balanceadas. Además del número de bloques, también se definió la cantidad de oraciones a utilizar en cada uno de ellos. Los valores elegidos fueron 50, 100, 150 y 200 oraciones en cada bloque. La idea de modificar la cantidad de oraciones es analizar cómo influye la cantidad de oraciones en las pruebas de clasificación. Se espera que a mayor cantidad de información mejor será la exactitud del modelo generado por los algoritmos de aprendizaje. La Tabla 4 muestra la cantidad de texto en oraciones para el entrenamiento de acuerdo al tamaño del bloque.

Tabla 4. Total de oraciones para entrenamiento/prueba.

Número de bloques	Oraciones	Total de oraciones
10	50	500
	100	1,000
	150	1,500
	200	2,000

Cabe hacer notar que el autor M tiene 1,781 oraciones en el texto 1 de entrenamiento (ver Tabla 3), este autor solo contará con 8 bloques (en lugar de 10) con bloques de 200 líneas, este hecho no representa ninguna desventaja al realizar la atribución de autoría para dicho autor.

2.4. Matrices término-documento.

Una vez obtenidas las relaciones de dependencia, estas se contabilizan para obtener las frecuencias de uso en cada novela. Con las relaciones y frecuencias se generan matrices *termino-documento*. En estas matrices las filas representan los textos del autor y las columnas a las relaciones de dependencia. El analizador identificó 53 dependencias. La Tabla 5 muestra las 10 relaciones de dependencia más utilizadas en las novelas del conjunto de entrenamiento del corpus PAN 2012.

Tabla 5. Las 10 relaciones de dependencia de uso más frecuente del corpus PAN 2012.

Texto	Relaciones de dependencia en el conjunto de entrenamiento									
	punct	nsubj	case	det	root	advmod	obj	amod	dep	aux
01	16,358	11,929	9,979	9,835	8,010	7,530	5,300	5,206	3,045	3,320
02	16,010	11,085	9,116	8,711	7,652	7,324	5,226	5,980	2,816	3,712
03	15,371	9,836	7,983	7,072	5,969	6,982	4,717	4,894	3,167	3,377
04	17,812	7,726	5,149	5,456	6,619	4,546	3,501	3,113	3,100	1,539
05	46,193	28,346	17,319	15,650	18,671	15,323	12,093	7,962	8,267	7,435
06	16,036	9,366	7,616	7,681	5,562	5,716	4,791	3,429	3,737	2,781
07	12,122	8,495	7,456	6,871	4,579	4,633	3,889	3,743	2,245	2,493
08	20,679	13,972	8,106	8,821	8,670	7,125	5,883	3,544	2,624	4,277
09	8,197	5,610	4,495	3,999	3,099	2,951	2,603	2,290	1,472	1,627
10	32,120	19,194	16,157	14,329	11,953	9,711	8,917	9,402	5,696	4,677
11	17,786	10,366	7,365	7,596	7,140	5,965	4,988	3,997	3,003	2,712
12	11,516	7,291	9,989	8,329	3,227	5,296	3,891	4,551	2,515	2,693
13	6,056	3,723	7,525	6,807	1,637	3,364	1,811	4,014	1,426	1,463
14	9,639	6,295	4,939	4,601	3,051	3,698	3,406	1,991	1,832	2,110

En el conjunto de entrenamiento se generaron 4 matrices de 280x53 y en el conjunto de pruebas 4 matrices de 140x53. Cada matriz tiene información de frecuencias para los bloques de 50, 100, 150 y 200 oraciones respectivamente. La figura 3 muestra que a medida que aumenta la cantidad de texto, las frecuencias de uso también se incrementan.

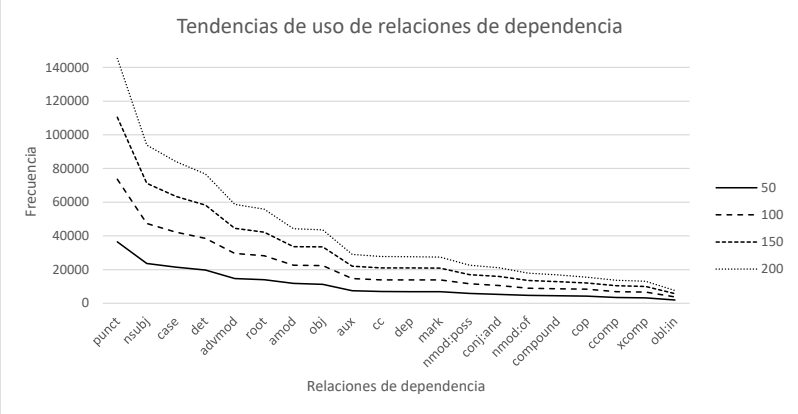


Figura 3. Tendencias de uso de las relaciones de dependencia.

2.5. Algoritmos de aprendizaje supervisado y algoritmos de reducción de dimensiones.

Para las pruebas de clasificación se utilizaron los algoritmos de aprendizaje automático supervisado Regresión Logística (LR, *Logistic Regresion*) y Vecinos Más Cercanos (K-NN, *k-Nearest Neighbors*). Con Regresión Logística se aplicaron los algoritmos de reducción de dimensiones Eliminación Recursiva de características con Validación Cruzada (RFECV, *Recursive Feature Elimination with Cross-Validation*) y SelectKBest. En la reducción de dimensiones, el algoritmo selecciona un subconjunto de variables más importantes de las 53 relaciones disponibles. El número de dimensiones se define de forma manual o se permite que el algoritmo determine el valor óptimo. Todos los algoritmos son implementaciones de scikit-learn y se reporta la métrica exactitud (*accuracy*) para validar la eficiencia de los clasificadores.

3. Resultados.

De acuerdo a Scikit-learn, RFECV es un estimador de aprendizaje supervisado con un método de ajuste que proporciona información sobre la importancia de las características. Su configuración fue RFECV (modelLR, step=1, cv=5) *step* es el número de dimensiones a eliminar en cada iteración, *cv* es la validación cruzada. El algoritmo determinó el valor óptimo de dimensiones. SelectKbest se configuró como SelectKBest (f_classif, k=25). Donde *f_classif* corresponde a ANOVA F-value y *k* al número de dimensiones. Además de *f_classif* también se evaluó *chi2* (CHI-cuadrado) pero con resultados no favorables. Con el clasificador K-NN, se utilizó el método GridSearchCV() para identificar los mejores parámetros en los bloques de 200 oraciones. Los parámetros evaluados se muestran en la figura 4. Despues de ese proceso los mejores parámetros identificados en la figura 5. De este modo, K-NN se configuró como *KNeighborsClassifier(n neighbors=12, p=1, weights='distance')*.

```
params = {
    'n_neighbors':  range(1, 15, 1),
    'p': [1,2],
    'weights': ['uniform', 'distance']
}

clf = GridSearchCV(
    estimator=KNeighborsClassifier(),
    param_grid=params,
    cv=5,
    n_jobs=5,
    verbose=1,
)
```

Figura 4. GridSearch para KNN.

```
Fitting 5 folds for each of 56 candidates, totalling 280 fits
{'n_neighbors': 12, 'p': 1, 'weights': 'distance'}
Traceback (most recent call last):
```

Figura 5. Mejores parámetros para KNN.

La tabla 6 muestra los porcentajes de exactitud en las pruebas de clasificación de los 14 autores. Cabe aclarar que aleatoriamente, la probabilidad de atribuir correctamente un texto al autor correcto es de 1/14 (aproximadamente 7.1%), una probabilidad muy baja debido a las 14 clases. Por ello es de suponer que el porcentaje de exactitud de los clasificadores difícilmente excederá el 50%. A continuación, analizaremos los resultados del algoritmo de Regresión Logística. En la primera prueba no se realizó la reducción de dimensiones, por lo que se utilizaron las 53 relaciones para generar el modelo. Se observa que, al incrementar el tamaño del bloque de texto, la exactitud alcanzó un máximo de 44%. En las dos pruebas siguientes con Regresión Logística, se aplicó la reducción de dimensiones con RFECV y SelectKBest. En RFECV se permitió que el algoritmo eligiera de forma automática las dimensiones más importantes, la exactitud más alta se obtuvo en bloques de 200 oraciones y 36 dimensiones con 47%. En el caso de SelectKBest el mejor resultado fue 48% de exactitud utilizando solo 25 dimensiones en el mismo tamaño de texto. La reducción de dimensiones contribuyó a mejorar, aunque con poco margen la exactitud de clasificador. Respecto al clasificador K-NN, las pruebas de clasificación se realizaron con 12 vecinos más cercanos, logrando 36% de exactitud en los bloques de 200 oraciones.

Tabla 6. Porcentajes de exactitud en las pruebas de clasificación.

Oraciones	**LR**		**LR-RFECV**		**LR-SelectKbest**			**K-NN**
	Dimensiones	**Precisión**	**RD**	**Precisión**	**RD**	**Precisión**	**Vecinos**	**Precisión**
50	53	19	34	41	20	41	12	23
100		25	50	43	20	37		25
150		20	39	51	20	45		22
200		**44**	36	**47**	25	**48**		**36**

Con base en los resultados previos se puede inferir que casi la mitad de los autores obtuvieron porcentajes de atribución favorables. Para obtener más detalles, se determinó obtener las matrices de confusión de las pruebas de atribución de autoría únicamente en bloques de 200 oraciones, ya que con dichos bloques se obtuvieron los mejores porcentajes de exactitud. La matriz de confusión muestra en el eje vertical al autor real del texto y en el eje horizontal el autor que el modelo predijo. Los números en la diagonal principal representan los casos donde el valor real coincidió con la predicción. La figura 6 muestra que los autores H, I, J y N tuvieron 5 de 10 atribuciones correctas, los 5 restantes fueron asignadas a otros autores. Los autores D y M tuvieron respectivamente 7 y 9 atribuciones correctas. De los 14 autores, 6 logran resultados aceptables.

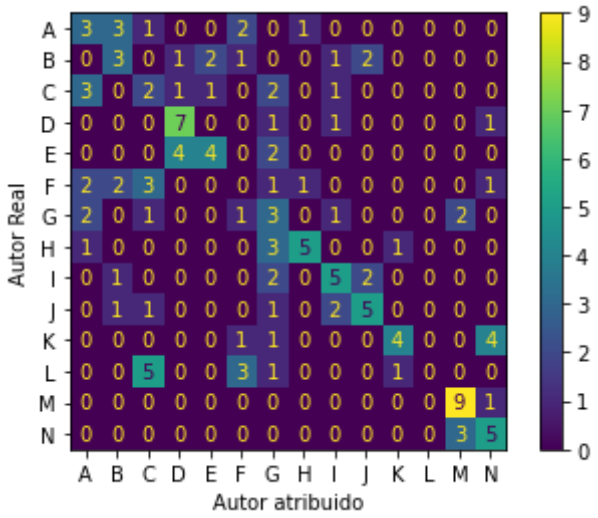


Figura 6. Matriz de confusión sin reducción de dimensiones.

La figura 7 muestra que, de forma individual, la reducción de dimensiones mejoró la exactitud de la clasificación. Los 10 textos de autores A y K se atribuyeron correctamente, 100% de exactitud a nivel individual. En ese mismo sentido, los autores C, E, H, J y M lograron de 7 atribuciones correctas de las 10 disponibles. Por otro lado, llama la atención que los autores B, F y L no lograron ninguna clasificación correcta. Todos sus textos se atribuyeron a autores distintos (7 textos de autor B se atribuyeron al autor J).

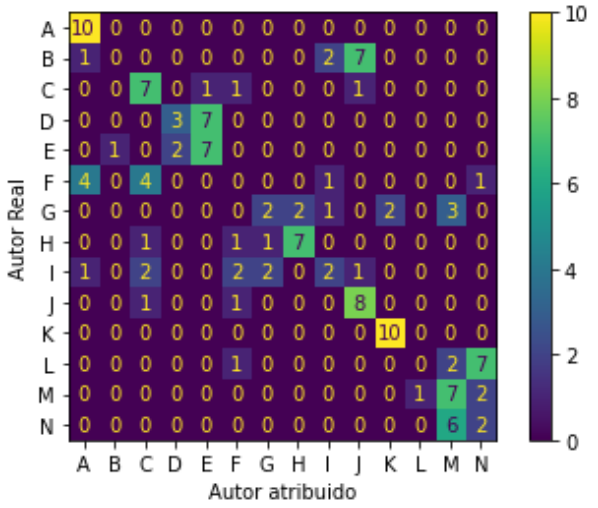


Figura 7. Matriz de confusión con RFECV.

En la figura 8 se muestra la clasificación con Regresión Logística y SelectKBest. Se observa la misma tendencia que en la figura 7, porcentajes de atribución muy buenos para autores como A, C, E, H, J, K y M. Nuevamente los autores B y F tuvieron 0 atribuciones correctas, pero en esta ocasión sus textos fueron atribuidos erróneamente a más de un autor de los restantes de la prueba.

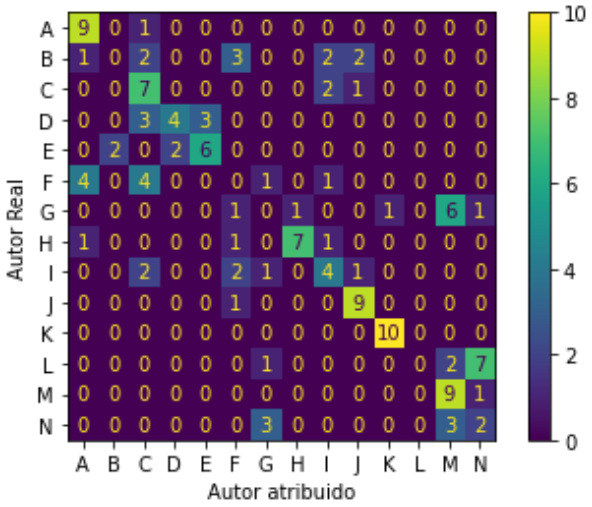


Figura 8. Matriz de confusión con SelectKBest.

Por último, la figura 9 muestra la clasificación con K-NN y 12 vecinos cercanos. Si bien el número de atribuciones correctas por autor no es mejor que las dos figuras previas, se mantiene la tendencia de la cantidad de autores con al menos 4 de 10 atribuciones.

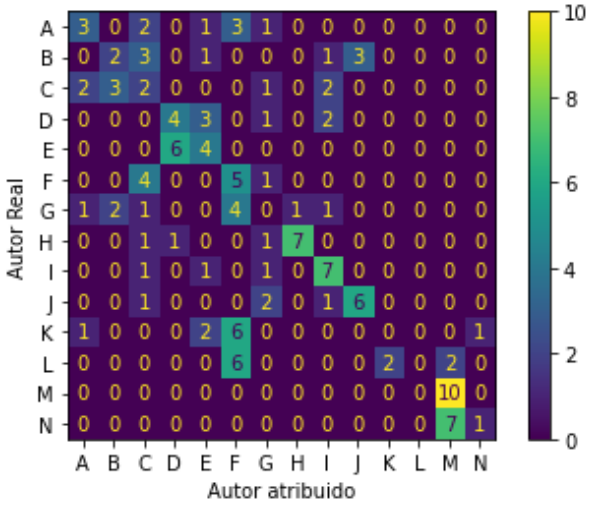


Figura 9. Matriz de confusión con KNN.

Conclusiones.

En este trabajo se investigó la utilidad de la información sintáctica en la tarea de Atribución de Autoría utilizando el Corpus PAN 2012, Jafariakinabad, F., et al, (2021). La Atribución de autoría consiste en identificar a quién de los 14 autores del Corpus pertenece un texto cuya autoría se desconoce. La tarea se abordó como un problema de clasificación con aprendizaje automático supervisado. Se seleccionaron los primeros 10 bloques de texto de cada autor, los bloques se formaron con 50, 100, 150 y 200 oraciones. El analizador sintáctico identificó 53 relaciones de dependencia. A partir de las relaciones se construyeron tablas de frecuencias de uso para cada uno de los autores. Las pruebas de

clasificación general mostraron porcentajes de exactitud inferiores a 50% tal y como era de esperarse. A mayor número de clases el porcentaje de clasificación correcta disminuye considerablemente.

Sin embargo, a nivel individual los resultados son distintos y favorables. Las relaciones de dependencia demostraron ser una característica útil en la atribución de autoría para algunos autores. A través de otras investigaciones, se sabe que la información sintáctica de las oraciones contiene patrones que un autor genera incluso inconscientemente a lo largo de sus textos. Cabe mencionar que, en este trabajo, las relaciones de dependencia identificadas se utilizaron de forma similar a un enfoque conocido Modelo de Bolsa de Palabras HaCohen-Kerner et al, (2020), Rustam, F., et al, (2021), Deepak, S., & Chitturi, B. (2020), Jafariakinabad, F., et al, (2022). El modelo de Bolsa de Palabras no se toma en cuenta la información contextual relacionada a cada palabra. Por ejemplo, qué palabras la preceden o suceden, no se considera el orden de las palabras, ni qué o cuales palabras coocurren con otras, En consecuencia, se desperdicia información valiosa sobre el estilo de escritura de un autor. Similarmente, en un modelo de "Bolsa de Relaciones de Dependencia" se ignora valiosa información sobre el contexto en que aparecen dichas relaciones ni qué palabras las conforman. A pesar de esos inconvenientes, en estos experimentos se demostró que las relaciones de dependencia mostraron por sí mismas (información puramente sintáctica sin ninguna información adicional), ser una opción viable para pruebas de atribución de autoría. Otros trabajos combinan distintos tipos de características como son las léxicas y morfológicas, Mehler, A. et al, (2018).

Referencias bibliográficas.

De Marneffe, M., Dozat, T., Silveira, N., Haverinen, K., Ginter, F., Nivre, J., & Manning, C. D. (2014). Universal Stanford dependencies: A cross-linguistic typology. In *Language Resources and Evaluation* (pp. 4585–4592). Springer Science+Business Media. https://nlp.stanford.edu/pubs/USD_LREC14_paper_camera_ready.pdf

De Marneffe, M., & Manning, C. D. (2008). Stanford typed dependencies manual. Tech. rep., Technical report, Stanford University.

Deepak, S., & Chitturi, B. (2020). Deep neural approach to Fake-News identification. *Procedia Computer Science*, *167*, 2236–2243. https://doi.org/10.1016/j.procs.2020.03.276

HaCohen-Kerner, Y., Miller, D., & Yigal, Y. (2020). The influence of preprocessing on text classification using a bag-of-words representation. *PLOS ONE*, *15*(5), e0232525. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0232525

Jafariakinabad, F., & Hua, K. A. (2021). Unifying Lexical, Syntactic, and Structural Representations of Written Language for Authorship Attribution. *SN Computer Science*, *2*(6). https://doi.org/10.1007/s42979-021-00911-2.

Jafariakinabad, F., & Hua, K. A. (2022). A self-supervised representation learning of sentence structure for authorship attribution. *ACM Transactions on Knowledge Discovery from Data (TKDD)*, *16*(4), 1-16.

Mehler, A., Hemati, W., Uslu, T., & Lücking, A. (2018). A multidimensional model of syntactic dependency trees for authorship attribution. *Quantitative analysis of dependency structures*, 315-347.

Posadas-Durán, J. P., Sidorov, G., Gómez-Adorno, H., Batyrshin, I., Mirasol-Mélendez, E., Posadas-Durán, G., & Chanona-Hernández, L. (2017). Algorithm for extraction of subtrees of a sentence dependency parse tree. *Acta Polytechnica Hungarica*, *14*(3), 79-98.

Rustam, F., Khalid, M., Aslam, W., Rupapara, V., Mehmood, A., & Choi, G. S. (2021). A performance comparison of supervised machine learning models for Covid-19 tweets sentiment analysis. *Plos one*, *16*(2), e0245909.

Sachan, D. S., Zhang, Y., Qi, P., & Hamilton, W. (2020). Do syntax trees help pre-trained transformers extract information?. arXiv preprint arXiv:2008.09084.

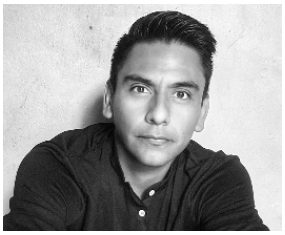
Información de los autores.

Germán Ríos Toledo obtuvo el grado de Doctor en Ciencias de la Computación en 2019 por el Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico (CENIDET) en Cuernavaca, Morelos, México. Actualmente, es profesor de tiempo completo en el Departamento de Computación del Tecnológico Nacional de México (campus Tuxtla Gutiérrez, Chiapas) en la Ingeniería en Sistemas Computacionales y en la Maestría en Ciencias en Ingeniería Mecatrónica. Su área de especialización es el Procesamiento del Lenguaje Natural, particularmente en el uso de información sintáctica como una característica para el análisis de estilo de escritura. Otras áreas de su interés incluyen el procesamiento y análisis de imágenes, audio y video por medio de Algoritmos de Aprendizaje Automático y Aprendizaje Profundo. Es Miembro del Sistema Nacional de Investigadores nivel Candidato en el periodo 2021-2024.

Luis Alberto Ríos Coutiño. Ingeniero en Sistemas Computacionales, graduado por Experiencia Profesional, desde hace 20 años ha trabajado para el sector público en Chiapas y privado para Empresas de Tecnología de Estados Unidos, Canadá, Colombia, Chile y México, esto en el ramo Financiero, Pago de servicios y de Logística, es profesor de asignatura en el Departamento de Ingeniería en Sistemas Computacionales del Tecnológico Nacional de México, campus Tuxtla Gutiérrez. Se ha especializado como Sysadmin DevOp configurando servicios en la nube, desarrollador de Aplicaciones Web como rol de Backend y Frontend, uso de base de datos, Ciencia de Datos e implementación de Inteligencia Artificial y Machine Learning en negocios.

Raúl Paredes Trinidad. Es egresado de la primera generación de la carrera de Ingeniería en Sistemas Computacionales del Tecnológico Nacional de México, Campus Tuxtla Gutiérrez. Estudió la Maestría en Tecnología Educativa en la Universidad Virtual del Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey Cuenta con 23 años de experiencia como catedrático de medio tiempo del Tecnm y 28 años en nivel secundaria. Hace 14 años realizó una investigación sobre el desarrollo de los Clusters de TI en diferentes Estados de la República, tales como el Cluster de TI de Jalisco, el Cluster de TI de Querétaro y el Cluster de TI de Nuevo León, entre otros buscansdo impulsar el sector de TI en Chiapas. Es CEO de la empresa Ambar Rojo, desarrolladora de software a la medida, certificada en el año 2015 en Team Software Process (TSP). Desde hace 4 años y medio han desarrollado en tecnologías como: Angular, Asp net, Javascript, asp net webform, Sql Server, SAP commissions, entre otros. Ambar Rojo ha desarrollado proyectos de software a la medida como puntos de vetna, un sistema de trazabilidad para una empresa que administra flotillas, entro otros. Así mismo ha colaborado con empresa desarrolladoras de software de la CDMX y Baja California

Jorge William Figueroa Corzo obtuvo el grado de Doctor en Administración en 2016 por la Universidad Privada del Sur de México, en Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, Actualmente es profesor de tiempo completo en el departamento de Sistemas y Computación del Tecnológico Nacional de México (campus Tuxtla Gutiérrez, Chiapas) en la ingeniería en Sistemas Computacionales. Su área de especialización es el comercio electrónico. Profesor con Perfil Deseable (PRODEP) desde 2020.



Elfer Isaías Clemente Camacho es Ingeniero en sistemas computacionales, por el Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez, cuanta con Maestría en desarrollo de software por el Instituto de Estudios Superiores de Chiapas. Docente desde 2019 en la Carrera de Sistemas computacionales del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez. Docente en la Universidad Autónoma de Chiapas desde 2013.

Francisco de Jesús Suárez Ruiz obtuvo el grado de Maestro en Sistemas Computacionales con especialidad en Bases de Datos en 2010 por la Universidad Pablo Guardado Chávez, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, Actualmente es profesor de tiempo completo en el Departamento de Sistemas y Computación del Tecnológico Nacional de México (campus Tuxtla Gutiérrez, Chiapas) en la carrera de Ingeniería en Sistemas Computacionales, su área de especialización es la programación de propósito general, así como el desarrollo de aplicaciones móviles en lenguajes nativos IOS (Swift) y Android (Java). otras áreas de interés incluyen servicios Web, Redes y Bases de Datos. Miembro del Sistema Estatal de Investigadores, nivel II (2022-2024).

Modelado 3D de plantas de fresa por medio de segmentación semántica YOLOv7.

3D modeling of strawberry plants through semantic segmentation with YOLOv7.

Emmanuel Bonilla Balbuena (1).
Estudiante Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez.
l19270548@tuxtla.tecnm.mx.

Ángel Andrés López Espinosa* (2). Estudiante I. T. de Tuxtla Gutiérrez, l19270568@tuxtla.tecnm.mx.

Néstor Antonio Morales Navarro (3). I. T. de Tuxtla Gutiérrez, nestor.mn@tuxtla.tecnm.mx.

Madaín Pérez Patricio (4). I. T. de Tuxtla Gutiérrez, madain.pp@tuxtla.tecnm.mx.

Osvaldo Brindis Velázquez (5), Instituto Tecnológico de Comitán, osvaldo.bv@comitan.tecnm.mx.

Aída Guillermina Cossío Martínez (6), I. T. de Tuxtla Gutiérrez, aida.cm@tuxtla.tecnm.mx.

*corresponding author.

Artículo recibido en noviembre 27, 2023; aceptado en diciembre 11, 2023.

Resumen.

La aplicación de la inteligencia artificial en la agroindustria representa un campo de investigación en constante crecimiento. Se ha avanzado considerablemente en la detección de biomasa mediante algoritmos que procesan imágenes en 2D, con resultados considerablemente buenos. Sin embargo, persisten problemas en la detección de características clave, como la altura de las plantas y la densidad del follaje. En el marco de este proyecto, se implementaron técnicas de segmentación con el uso de YOLOv7 y los resultados se combinaron con datos de profundidad proporcionados por una cámara Intel RealSense D435. La propuesta se dividió en tres fases claramente definidas. En primer lugar, se inició el proceso con la captura de imágenes RGB y de profundidad. Posteriormente, el modelo YOLOv7 se encargó de segmentar las estructuras de las plantas en las imágenes RGB. Finalmente, se llevó a cabo la fusión de datos en 2D y de profundidad a través del modelo, lo que facilita la generación de una reconstrucción tridimensional integral. Este proyecto representa una aplicación técnica de gran relevancia en el ámbito de la visión por computadora y el desarrollo de modelos tridimensionales.

Palabras claves: Agroindustria, biomasa, inteligencia artificial, YOLOv7.

Abstract.

The application of artificial intelligence in agroindustry represents a continually growing field of research. Considerable progress has been made in biomass detection through algorithms that process 2D images, with significantly positive results. However, challenges persist in detecting key features, such as plant height and foliage density. Within the framework of this project, segmentation techniques were implemented using YOLOv7, and the results were combined with depth data provided by an Intel RealSense D435 camera. The proposal was divided into

three clearly defined phases. Firstly, the process began with the capture of RGB and depth images. Subsequently, the YOLOv7 model was responsible for segmenting plant structures in the RGB images. Finally, the fusion of 2D and depth data was performed through the model, facilitating the generation of a comprehensive three-dimensional reconstruction. This project represents a technically significant application in the field of computer vision and the development of three-dimensional models.

Keywords: Agroindustries, artificial intelligence, biomass, YOLOv7.

1. Introducción.

La agroindustria es un componente esencial de la economía global y desempeña un papel crucial en la producción de alimentos para satisfacer las crecientes demandas de una población en constante crecimiento (Da Silva et al., s. f.). Sin embargo, esta industria se enfrenta a una serie de desafíos críticos que amenazan su sostenibilidad y la seguridad alimentaria a nivel mundial (FDA, 2021). En este contexto, el cambio climático emerge como una problemática central que afecta directamente a la agroindustria, impactando la producción agrícola y la disponibilidad de recursos naturales (Da Silva et al., s. f.).

Según las estadísticas proporcionadas por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI, 2019), se evidencia un aumento preocupante en la variabilidad y eventos climáticos extremos que afectan de manera significativa la producción agrícola en México y en todo el mundo (INEGI, 2019). Estos datos respaldan la urgente necesidad de abordar los problemas alimentarios relacionados con el cambio climático, como la pérdida de cultivos, la disminución de la calidad de los alimentos y la amenaza a la seguridad alimentaria (INEGI, 2019). En este contexto, la agricultura de precisión apoyada por tecnologías emergentes como la visión artificial y algoritmos de *Deep Learning*, como YOLOv7 (Y Wang, H Wang, 2022), se presenta como una solución prometedora para abordar los desafíos planteados por la agroindustria (Villota Neira, 2019). Estas tecnologías avanzadas permiten una gestión más eficiente de los recursos agrícolas, la detección temprana de problemas en los cultivos y la optimización de la producción, contribuyendo así a una mayor resiliencia y sostenibilidad de la agroindustria en un contexto de cambio climático (JPT Soto, JSS Suárez, 2019).

2. Métodos.

La integración de técnicas como la visión artificial y los algoritmos de *Deep Learning* aplicados al sector de la agricultura desempeñan un papel crucial en la transformación de la agroindustria y en la búsqueda de soluciones innovadoras para los problemas alimentarios en un mundo afectado por el cambio climático. Juárez Ruanova et al. (2021). Por lo tanto, lo que se propone en este proyecto una metodología (figura 1) donde se utilizan como entradas las imágenes en formato RGB y de profundidad de una planta. Para ello, se utiliza una cámara *RGB-D Intel RealSense D435*, la cual mediante las librerías de *OpenCV* y *realsense2* que ofrece *Python* se obtienen las imágenes. Posteriormente, se realiza el etiquetado de las imágenes a través de la plataforma *Roboflow*. Una vez que las imágenes están etiquetadas, se utiliza el modelo de segmentación *YOLOv7*, la cual se encarga de llevar a cabo la segmentación semántica de las plantas en las imágenes. A continuación, el resultado de la segmentación semántica la utilizamos para realizar el registro de las imágenes RGB y de profundidad para conservar únicamente a la planta. Finalmente, obtenemos el modelo 3D Eigen, D. (2014).

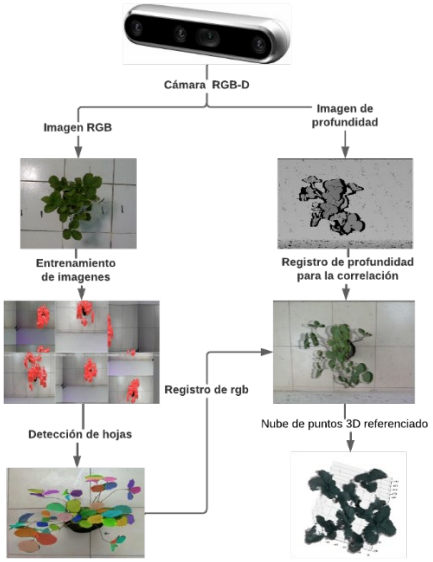


Figura 1. Metodología propuesta.

Imagen RGB.

Una imagen RGB (figura 2) por sus siglas de "*Red, Green, Blue*" (rojo, verde y azul en español), es una representación digital que se basa en la combinación de tres canales de color. Cada canal representa la intensidad de uno de estos tres colores primarios, lo que permite una amplia gama de colores al variar las intensidades en cada canal. La representación de imágenes en formato RGB es esencial en la fotografía. Cada píxel en una imagen RGB se define por sus valores en estos tres canales, lo que posibilita una representación fiel y detallada. (Pérez Barnuevo et al., 2009).

Figura 2. Imagen RGB.

Imagen de profundidad.

Una imagen de profundidad (figura 3) es una representación visual que proporciona información sobre la distancia o la ubicación tridimensional de los objetos. Esta representación visual ofrece una visión de la profundidad espacial en una imagen, permitiendo a los observadores percibir la disposición de los objetos en relación con su distancia unos de otros y del punto de vista del espectador. La imagen de profundidad es una herramienta valiosa en campos como la visión por computadora, la realidad virtual y la robótica, donde la percepción de la profundidad es esencial para una comprensión precisa del entorno. Eigen, D. (2014).

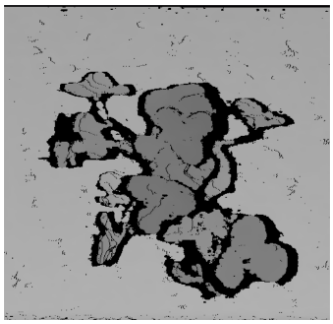


Figura 3. Imagen de profundidad.

Roboflow.

Un proceso fundamental para un algoritmo de *Deep Learning* para que detecte las hojas de la planta de fresa es realizar el etiquetado manual de las imágenes. El proceso anterior, permitirá obtener los datos de entrada para el algoritmo de *YOLOv7*, y así realizar el entrenamiento para la detección automática de las hojas. En nuestro caso, utilizamos la herramienta *Roboflow* para el etiquetado, debido a que proporciona herramientas que resultan fundamentales para generar y perfeccionar el etiquetado en imágenes, un aspecto esencial en el proceso de creación de aplicaciones de visión por computadora.

YOLOv7.

YOLO, en sus diferentes versiones, es un enfoque ampliamente reconocido para la detección eficiente y precisa de objetos en imágenes y videos. Cada nueva versión de *YOLO*, como *YOLOv7*, representa un esfuerzo constante por mejorar el rendimiento y la precisión del modelo. La arquitectura de *YOLOv7* permite detectar objetos por medio de una imagen RGB, y en este trabajo lo utilizamos para la detección automática de las hojas de fresa. Un proceso esencial es el etiquetado para obtener información para el entrenamiento de la Red Neuronal Convolucional que permite obtener como resultado final la segmentación semántica nos devuelve la información de la planta.

Modelo Pinhole.

El modelo del *pinhole*, o cámara estenopeica, es un enfoque básico utilizado en la reconstrucción 3D de imágenes. Funciona capturando la proyección de un objeto tridimensional en un plano bidimensional (estenopo). Para la reconstrucción 3D a partir de una serie de imágenes 2D capturadas desde diferentes posiciones, se utilizan técnicas de triangulación. Alejandro I Barranco Gutiérrez, José J Medel Juárez, (2020). Básicamente, se determina la posición tridimensional de un punto en el espacio identificando las líneas de proyección de ese punto desde dos o más vistas diferentes y encontrando el punto donde se cruzan esas líneas (David C. Lindberg,1968).

La información en Z la obtenemos directamente de la imagen de profundidad I, donde las coordenadas (x, y) representan una coordenada en la imagen, y la constante k debe tener el valor de la distancia del objeto más lejano en la escena. Y ajustamos el modelo 3D mediante las ecuaciones siguientes:

$$Z = I(x, y) * k \text{ Ecuación 1.}$$

$$X = \left((x - c_x) * \frac{Z}{f_x} \right) \text{ Ecuación 2.}$$

$$Y = \left((y - c_y) * \frac{Z}{f_y} \right) \text{ Ecuación 3.}$$

Donde (X, Y, Z) son las coordenadas tridimensionales que representa al modelo 3D de la planta. El punto focal de la cámara es representado por f_x y f_y . Por último, c_x y c_y corresponde a las coordenadas del centro focal de la cámara. A continuación, definimos algunas constantes, como 'k', que utilizamos para calcular la distancia del objeto más lejano.

3. Desarrollo.

En el proceso de recrear un modelo 3D de una planta de fresa, se emplea la cámara *Intel RealSense D435* junto con un algoritmo que se realizó en *Python*. El proceso de adquisición de datos se realiza en dos etapas, la primera es la captura de imágenes RGB y la segunda se obtienen las imágenes de Profundidad.

Etiquetado de imágenes por medio de Roboflow.

En el proceso de etiquetado en *Roboflow* se asignan etiquetas a las imágenes de las hojas de plantas de fresa (Figura 4) que hemos adquirido previamente. En este proceso, es necesario ser precisos al etiquetar cada hoja de la planta con el fin de obtener resultados que aseguren una mayor precisión en la detección automática de las hojas. Una vez que se han etiquetado todas las hojas de la planta, la herramienta de *Roboflow* generará automáticamente tres grupos de imágenes: entrenamiento, validación y prueba. El primer conjunto de imágenes proporciona los datos de entrada para entrenar el algoritmo de *YOLOv7*. El segundo grupo de imágenes permite ajustar los parámetros durante cada época del entrenamiento del algoritmo, de tal forma que se optimice la precisión del mismo. El tercer grupo de imágenes permite probar el algoritmo de *YOLOv7* una vez finalizado el entrenamiento, con esto obtenemos los datos de precisión de la detección automática. Este conjunto de datos se exportará para su uso en nuestro modelo de entrenamiento a través de *YOLO V7.*

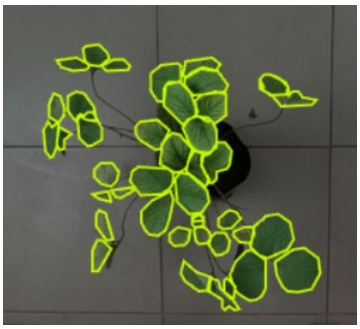


Figura 4. Etiquetado de hojas.

Segmentación semántica YOLO V7.

El conjunto de datos generado por *Roboflow* se importa en *Google Colab,* donde se integra con el modelo *YOLO V7.* Configuramos los parámetros de entrenamiento para un total de 600 iteraciones, lo que nos permite llevar a cabo el proceso de entrenamiento y validación del conjunto de datos que utilizaremos en esta etapa. *Google Colab* se encarga de organizar y almacenar los archivos en *Google Drive*.

Una vez que todo el proceso ha concluido, el modelo *YOLO V7* proporcionará un conjunto de datos que constituye estadísticas que validan la eficacia de nuestro entrenamiento. Los resultados de las pruebas realizadas en este trabajo muestran que la matriz de confusión (Figura 5) indica una precisión de detección del 95% con un margen de error del 5%. Este puntaje es altamente favorable y respalda nuestros objetivos de manera significativa.

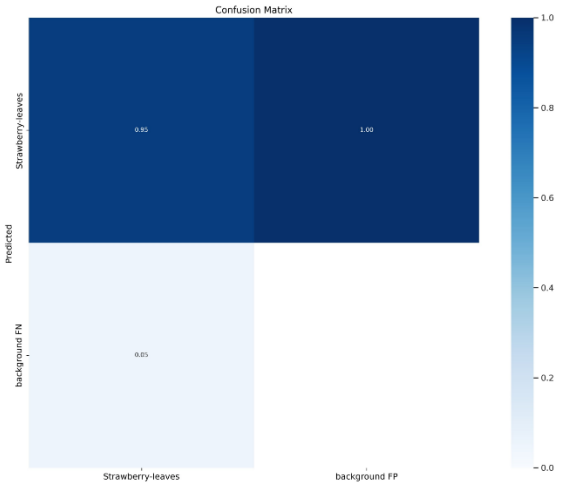


Figura 5. Matriz de confusión.

De acuerdo con los resultados del *Google Colab,* se obtienen gráficas (figura 6) que demuestran el comportamiento del entrenamiento estadístico de nuestras pruebas realizadas durante el proceso del entrenamiento de nuestro modelo de *Deep Learning* por medio del modelo *YOLO V7*

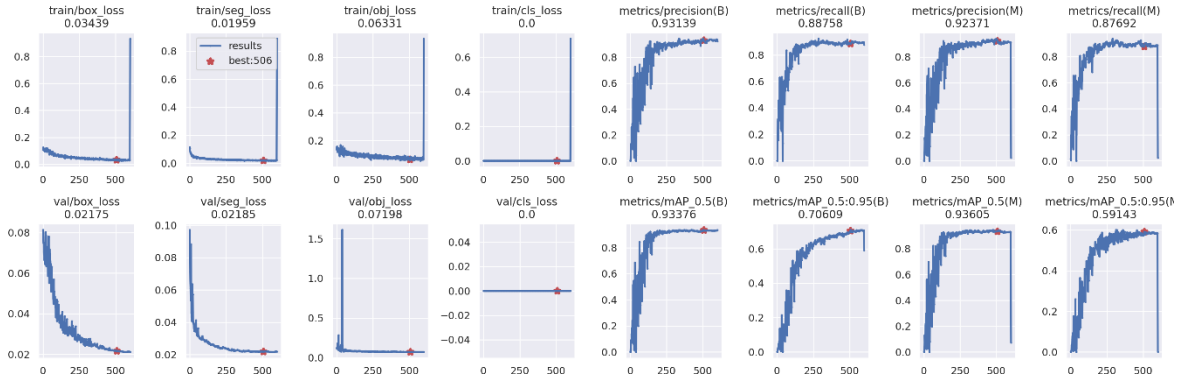


Figura 6. Gráficas de Colab.

Generación del modelo 3D.

El algoritmo que hemos realizado está implementado con *Python*, tiene como objetivo la visualización de datos de profundidad en un espacio tridimensional utilizando imágenes 2D. (figura 7, figura 9).

Resultados 3D.

En primer lugar, se procedió a tomar muestras de plantas de fresa utilizando la cámara RGB-D en combinación con el software desarrollado juntamente con la herramienta de *Python*. Estas muestras provienen de plantas cultivadas y mantenidas en un entorno controlado en un laboratorio, lo que ha permitido capturar imágenes fotográficas en RGB. Estas fotografías nos proporcionarán la información necesaria sobre las coordenadas de los objetos en los ejes X e Y.

Figura 7. Imagen RGB.

Al incorporar imágenes de hojas de plantas de fresa al modelo *YOLOv7* y aplicar segmentación semántica, se logró la detección y delimitación precisa de las hojas. Esta combinación permitió asignar colores distintos a cada hoja, facilitando su identificación visual (figura 8).

El uso de *YOLOv7* posibilitó la identificación rápida y precisa de los objetos en las imágenes, mientras que la segmentación semántica permitió asignar colores a cada región, en este caso, a las hojas de las plantas. Esto facilita un análisis detallado de la salud de las hojas, lo cual resulta relevante en aplicaciones agrícolas para el seguimiento y diagnóstico de la salud de las plantas de fresa.

Figura 8. Imagen YOLOv7.

En una fase previa, se procedió a capturar muestras de imágenes de profundidad (Figura 9) de las plantas de fresa. El propósito central de esta acción era obtener información sobre la altura y la profundidad (eje Z). El objetivo detrás de esta recolección de datos era establecer una correlación entre las imágenes RGB y las imágenes de profundidad. Esta correlación se buscaba para recrear un modelo 3D, integrando la información proveniente de ambas fuentes de imágenes.

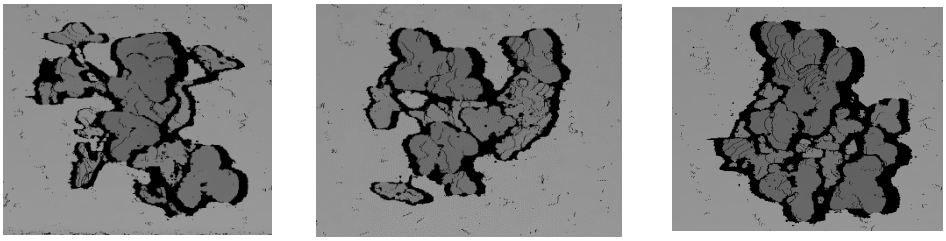


Figura 9. Imagen de profundidad.

Esta representación tridimensional resultante puede ser valiosa en aplicaciones relacionadas con la visión por computadora y la percepción espacial, como en el campo de la robótica. Además, el algoritmo extrae los valores de color RGB del píxel correspondiente en la imagen en color y los almacena junto con las coordenadas tridimensionales. Al final de la ejecución del código, las listas 'X', 'Y', 'Z' contendrán las coordenadas tridimensionales y la lista 'rgb'

contendrá los valores de color RGB de los píxeles correspondientes en la imagen de profundidad. Estos datos se pueden utilizar para visualizar el objeto en un espacio 3D, con colores que corresponden a la imagen en color original.

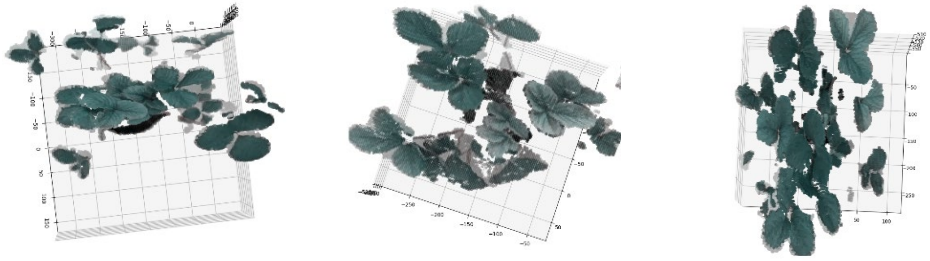


Figura 10. Modelado 3D.

Conclusiones.

La obtención del modelo 3D de las plantas de fresa se llevó a cabo satisfactoriamente siguiendo la metodología propuesta. En primer lugar, se capturaron y etiquetaron con precisión las imágenes de las hojas de las plantas de fresa utilizando la cámara *Intel RealSense D435* y la plataforma *Roboflow*. Este proceso de etiquetado requirió precisión para garantizar la eficacia del modelo.

Posteriormente, se utilizó el conjunto de datos de las imágenes etiquetadas en *Google Colab* y se emplearon para entrenar un modelo *YOLO V7*, configurando parámetros de entrenamiento específicos que lograron una detección de alta precisión.

Además, se desarrolló una herramienta en *Python* que permitió la visualización de datos de profundidad en un espacio tridimensional. La segmentación semántica de las hojas de fresa, permite obtener un modelo 3D más preciso de la planta, lo que resulta de gran utilidad en campos como la visión por computadora y la robótica.

En resumen, se logró la obtención de un modelo 3D detallado de una planta de fresa, cumpliendo los objetivos de captura de datos precisos, entrenamiento de un modelo de alta calidad y representación visual efectiva en un espacio tridimensional. Estos logros respaldan diversas aplicaciones y prometen tener un impacto positivo en proyectos futuros relacionados con la percepción espacial, la representación visual de objetos, estimación de biomasa, medición de estrés, entre otras aplicaciones.

Referencias bibliográficas.

Barranco, A. I. (2006). Ecuaciones de visión estereoscópica en visión por computadora. ResearchGate. https://www.researchgate.net/publication/275044367_Ecuaciones_de_vision_estereoscopica_en_vision_por_computadora.

Da Silva, C. A., Baker, D., Shepherd, A. W., Jenane, C., & Da Cruz (Eds.). (2013). Agroindustrias para el desarrollo. http://www.lamolina.edu.pe/postgrado/pmdas/cursos/innovacion/lecturas/Adicional/20%20-%20da%20Silva%20et%20al.pdf.

FDA Food and Drug Administration. (2021, abril). FDA. Seguridad alimentaria https://www.fda.gov/media/150753/download#:~:text=La%20FDA%20determin%C3%B3%20que%20es,y%20emergentes%20para%20crear%20un.

Eigen, D. (2014). Depth map prediction from a single image using a Multi-Scale deep network. https://proceedings.neurips.cc/paper_files/paper/2014/hash/7bccfde7714a1ebadf06c5f4cea752c1-Abstract.html.

INEGI (2019). El cambio climático en México https://rde.inegi.org.mx/index.php/2015/05/10/politica-del-cambio-climatico-en-mexico-avances-obstaculos-y-retos/#:~:text=El%20cambio%20clim%C3%A1tico%20(CC)%20tendr%C3%A1,y%205%25%20en%20el%20verano.

Juárez Ruanova, L. I. ., Linares Fleites, G. ., Sandoval Solis, M. L. ., & Cigarroa Alonso, K. M. . (2021). Cambio de uso de suelo y vegetación asociado a la carencia de servicios públicos y políticas públicas en Atoyatempan, Puebla. Nexo Revista Científica, 34(06), 1611–1622. https://doi.org/10.5377/nexo.v34i06.13122.

Lindberg, D. C. (1968). The Theory of Pinhole Images from Antiquity to the Thirteenth Century. Archive for History of Exact Sciences, 5(2), 154–176. http://www.jstor.org/stable/41133285.

Pérez Barnuevo, L., Castroviejo Bolivar, R., & Berrezueta, E. (2009). Análisis Digital de Imágenes RGB aplicado a la Geometalurgia. Puesta a punto del equipo y su potencial frente a métodos tradicionales. Archivo digital UPM. https://oa.upm.es/11293/.

Tovar Soto, J. P., Solórzano Suárez, J. de los S., Badillo Rodríguez, A., & Rodríguez Cainaba, G. O. (2019). Internet de las cosas aplicado a la agricultura: estado actual. Lámpsakos (revista Descontinuada), (22), 86–105. https://doi.org/10.21501/21454086.3253.

Villota Neira, P. E. (2019). Implementación de una estación prototipo con visión artificial, aplicado a la agricultura de precisión. Universidad de Cuenca. https://core.ac.uk/download/pdf/288582212.pdf.

Y Wang, H Wang. (2022). Deep learning con Yolov7 https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/9994733/.

Información de los autores.

Emmanuel Bonilla Balbuena, Estudiante del noveno semestre de la carrera de Ingeniería en sistemas computacionales del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez, trabaja en proyecto de residencia titulado “Estimación no invasiva de biomasa vegetal mediante el fenotipado de la Fragaria basado en la segmentación SuperVoxel a partir de una nube de puntos 3D”

Ángel Andrés López Espinosa, Estudiante del noveno semestre de la carrera de Ingeniería en sistemas computacionales del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez, trabaja en proyecto de residencia titulado “Estimación no invasiva de biomasa vegetal mediante el fenotipado de la Fragaria basado en la segmentación SuperVoxel a partir de una nube de puntos 3D”

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.

Osvaldo Brindis Velázquez es Ingeniero en Electrónica, Maestro en ciencias en Ingeniería Mecatrónica, por parte del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez. Maestro en Administración Empresarial egresado del Instituto de Estudios Superiores de Monterrey. Cuenta con la certificación de SOLIDWORKS Associate in Mechanical Design por parte de la empresa Francesa Dassault Systèmes. Reconocimiento como Microsoft Innovative Educator Expert for 2023-2024. Miembro del Colegio de Ingenieros Mecánicos y Electricistas del Estado de Chiapas. Participa en el Grupo de Investigación Turix Dynamics con presencia en México, Francia, España. Jefe de la División de Estudios de Posgrado e Investigación del Instituto Tecnológico de Comitán, donde se centra su investigación sobre el desarrollo de vehículos eléctricos para la agricultura de precisión, instrumentación y control automático.

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.

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.

Prototipo de un sistema embebido para monitoreo en tiempo real de variables ambientales de un ecosistema forestal.

Prototype of an embedded system for real-time monitoring of environmental variables of a forest ecosystem.

Cesar Primero Huerta (1).
Tecnológico Nacional de México, Tecnológico de Estudios Superiores de Valle de Bravo.
cesar.ph@vbravo.tecnm.mx.

Mariana Carolyn Cruz Mendoza* (2). TecNM, T.E.S. de Valle de Bravo, mariana.cm@vbravo.tecnm.mx.

Ulises Porcayo Carbajal (3). Estudiante TecNM, T.E.S. de Valle de Bravo, L201807021@vbravo.tecnm.mx.

René García Martínez (4). TecNM, T.E.S. de Valle de Bravo, rene.gm@vbravo.tecnm.mx.

*corresponding author.

Artículo recibido en diciembre 20, 2022; aceptado en enero 16, 2023.

Resumen.

El proyecto consiste en el diseño y construcción de un prototipo para el monitoreo de variables ambientales aplicado a un ecosistema forestal por medio de una red de sensores conectados a un sistema embebido el cual se encarga de obtener datos del entorno mejorando así la eficiencia de los procesos gracias a la inmediatez de la información ahorrando costes y optimizando procesos. El actual proyecto está enfocado en ofrecer una solución novedosa a todas las industrias que requieran de un corto tiempo de respuesta. Actualmente los sistemas embebidos más simples se han democratizado y cualquiera puede trabajar con ellos. Algunas herramientas de este tipo son Arduino o Raspberry Pi los cuales permiten crear sistemas de control lumínicos, sensores de apertura automática de puertas o incluso videoconsolas todo esto de manera sencilla y a costes extremadamente bajos.

Palabras claves: Arduino, gráfica web, monitoreo web, sistema de adquisición de datos, sistemas en tiempo real.

Abstract.

The project consists of the design and construction of a prototype for the monitoring of variables applied to a forest ecosystem through a network of sensors connected to an embedded system which is responsible for obtaining data from the environment, thus improving the efficiency of the processes thanks to the immediacy of the information, saving costs, and optimizing processes. The current project is focused on offering a novel solution to all industries that require a short response time. Currently the simplest embedded systems have been democratized and anyone can work with them. Some tools of this type are Arduino or Raspberry Pi which allow to create lighting control systems, automatic door opening sensors or even video game consoles all this in a simple way and at extremely low costs.

Keywords: Arduino, data acquisition system, real-time systems, web graphics, web monitoring.

1. Introducción.

Los bosques son una fuente de recursos naturales como madera, alimentos, fauna, plantas de uso medicinal, suelo y servicios ambientales. En México, la extracción de dichos recursos está regulado legalmente para asegurar su continuidad. En el manejo de los bosques se requiere del monitoreo constante de variables ambientales, suelo, fauna y flora. Sin embargo, a nivel operativo la obtención de datos resulta tardado y costoso porque la evaluación se realiza en campo por personas capacitadas para tal fin. La evaluación se realiza periódicamente a gran escala, y no aporta información detallada a nivel de sitio específico y en caso de algún incidente, como un incendio forestal, no se cuantifican adecuadamente los cambios en la vegetación, fauna y flora. Por otro, los ecosistemas forestales están perdiendo superficie y se están degradando por el crecimiento de la población humana, crecimiento del área agrícola, la contaminación y sobreexplotación. El Tecnológico de Estudios Superiores de Valle de Bravo (TESVB) cuenta con predio forestal de 15 ha, aproximadamente. Es un área de conservación de flora y fauna. Se han realizado estudios de flora, fauna, caracterización de suelo, sin embargo, esta información no está sistematizada en una base de datos de referencia, que permita fácilmente su consulta. Con respecto a las variables de clima a nivel predio, no se tienen estaciones meteorológicas instaladas que aporten información representativa para la toma de datos que ayuden a planificar el manejo. El predio colinda con carreteras y áreas residenciales, esto implica que haya acceso ilegal para la extracción de recursos forestales y se hayan suscitado eventos de incendios forestales ocasionados intencionalmente.

En el estudio de los ecosistemas forestales se requiere de la medición de variables ambientales como la temperatura, precipitación, velocidad y dirección del viento (Molales-Hernández, Carrillo-Morales, Cornejo-López, Tellez-López, & Farfán-Molina, 2013). Con el desarrollo tecnológico, la recolección automatizada de datos y su análisis facilita la toma de decisiones en estos ambientes naturales para implementar práctica de manejo silvícola, manejo de fauna y control de incendios forestales.

Un sistema embebido posee hardware de computador junto con software embebido como uno de sus componentes más importantes. Es un sistema computacional dedicado para aplicaciones o productos. Puede ser un sistema independiente o parte de un sistema mayor, y dado que usualmente su software está embebido en ROM (Read Only Memory) no necesita memoria secundaria como un computador. Actualmente los sistemas son utilizados en distintas áreas tales como medicina, geolocalización, automatización, monitoreo, vigilancia, etc. Por tal motivo es muy importante su estudio ya que permite obtener variables sin la necesidad de tener que dedicar recursos humanos en una tarea en especifica (Guerrero Aguirre & Ramos Giraldo, 2014)

Internet de las cosas es un sistema tecnológico que permite que los objetos se conecten a Internet y entre sí. Consiste en sistemas ciber físicos, computación integrada que usan la infraestructura de Internet y las aplicaciones y servicios que la utilizan. Se trata de una nueva tecnología que conecta casi todo lo que hacemos. Facilita un ecosistema interconectado de dispositivos y máquinas, lo que permite a los usuarios controlar sus dispositivos desde cualquier lugar. Hay muchos beneficios de esta nueva tecnología, como mejorar la productividad y reducir el impacto ambiental. IOT (Internet of Things) es un término amplio que se utiliza para la interconexión de objetos cotidianos con Internet o entre sí, contemplado en los estudios en informática. Estos dispositivos incluyen teléfonos inteligentes, automóviles, televisores, relojes, electrodomésticos y mucho más (Universidad Carlemany, 2022).

En Quiñones, se diseñó un sistema de monitoreo de variables medioambientales. Los nodos están formados por módulos de sensores, procesamiento y comunicación. Para el procesamiento se usan placas Arduino Uno a la que se acoplan los sensores. Para la comunicación se propone el uso de Wifi (2.4 GHz) en ambientes urbanos y DigiMesh (90 0MHz) para el intercambio de información a grandes distancias. El abastecimiento de energía está conformado por paneles solares de 5.2 W, baterías LiPo de 3.7V y 6600mAh y cargadores so-lares de 450mA. El prototipo diseñado se evaluó en tres plataformas de IoT: Ubidots, Phant y ThingSpeak (Santana, 2020, pág. 55).

El sistema de monitoreo para variables agronómicas basado en una red de sensores inalámbricas presentado en Caicedo emplea Zolertias Z1 como nodos sensores y Gateway. Estos dispositivos implementan el sistema operativo de código abierto Contiki, diseñado para sistemas de baja capacidad de procesamiento y consumo energético. Se emplea el Protocolo de Ruteo para Redes de bajo consumo (RPL), que tiene en cuenta la eficiencia energética, se adapta a TCP/IP y facilita la implementación de sensores independientemente la posición de los nodos. Los nodos se colocaron

equidistantes unos de otros, para lograr homogeneidad en la comunicación. Los datos se almacenan en un servidor MySQL, que emplea PHP para proveer una interfaz gráfica. La aplicación Web tiene control de acceso y visualiza los datos de temperatura y la humedad del suelo (Santana, 2020, pág. 55).

El método utilizado para obtener variables ambientales del predio forestal del Tecnológico de Estudios Superiores de Valle de Bravo será mediante el protocolo de red TCP web socket conectado a un servidor local en donde estará alojada nuestra página web mediante la aplicación web se despliegan datos en tiempo real para su visualización estos datos se obtienen directamente de una base de datos llenada por nuestro prototipo que será colocado en el sitio deseado.

2. Métodos.

En la presente investigación se implementó un modelo evolutivo para dar al usuario una vista preliminar del prototipo, esta es una vista rápida de las características principales del desarrollo. La elaboración de un prototipo sirve para obtener una retroalimentación rápida de los elementos necesarios para la elaboración del prototipo, por lo tanto, una vez obtenidos los primeros requerimientos de la estación meteorológica se inicia con la elaboración de un modelo operativo del producto esperado antes de construirlo realmente en donde se establece qué aspecto tendrá, cómo funcionará y la cantidad de materiales necesarios. Para ello los modelos pueden resultar tan simples como unos dibujos con lápiz y papel o tan complejo como el propio código operativo final. Para interfaces de hardware o estaciones de trabajo, el modelo puede consistir en maquetas de espuma, caucho, cartón o cartulina cuanto más próximo se encuentre el prototipo al producto real, mejor será el resultado obtenido. El prototipo debe ser construido en el menor tiempo posible, para ello se utilizaron diferentes softwares de diseño 3d así como aplicaciones de diseño electrónico, ya que un prototipo también puede ser modelado de manera virtual, el uso de estos programas resulta útil ya que se pueden determinar aspectos de tamaño, posicionamiento, componentes empleados y cantidad de material requerido todo esto sin la necesidad de tenerlo de manera física por otro lado también permite al desarrollador observar el comportamiento del modelo en distintas situaciones. En cuanto al dinero que se debe destinar a la creación de prototipo este debe ser el mínimo posible pues a partir de que el modelo virtual se encuentre funcionando ser cuando se inicia con el desarrollo de un prototipo funcional con los materiales y componentes utilizados en la primera etapa de modelado. Esto asegura que el prototipo sea de una mejor calidad, además de que se podrán resolver los problemas de diseño encontrados hasta ahora. Unas de las principales ventajas de utilizar el modelo evolutivo son las siguientes.

- Reduce el riesgo de construir productos que no satisfagan las necesidades del proyecto.
- Reduce costo y aumenta la probabilidad de éxito.
- Exige disponer de las herramientas adecuadas.
- Ofrece un mejor enfoque cuando el responsable del desarrollo está inseguro de la funcionalidad del prototipo.

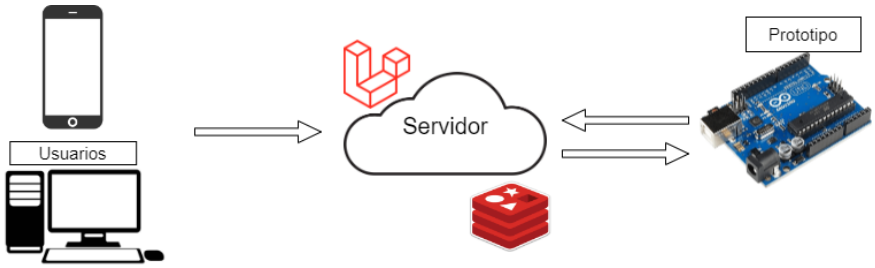


Figura 1. Diagrama utilizado para el diseño del sistema. (Elaboración propia).

3. Desarrollo.

Definición de requisitos y variables.

A continuación, se muestra la información que puede recolectar la estación meteorológica de manera directa a través de sus sensores, estos datos son tomados en tiempo real directamente del entorno en donde se coloca el prototipo esta información posteriormente es enviada a la página por medio de un api. Toda la información que se recolecte podrá ser consultada a través de gráficas en tiempo real o si se prefiere mediante un reporte en Excel este se generará automáticamente mediante la aplicación web, para crear el documento el usuario únicamente deberá especificar una fecha de inicio y una fecha final una vez que la página web obtenga estos rangos ya puede crear el archivo Excel, dentro de este archivo podemos encontrar información como: temperatura máxima, temperatura mínima, temperatura promedio, precipitación diaria, precipitación mensual, precipitación anual y en general toda la información que recolecta la estación meteorológica . La finalidad de estos reportes es que el usuario final pueda llevar un control más organizado de los datos ya que cuando se trabaja con prototipos IoT en tiempo real la cantidad de información que se genera suele ser bastante amplia lo que hace que la base de datos a simple vista pueda parecer saturada y desorganizada.

Tabla 1. Variables que medirá el prototipo.

Número	Variable	Tipo de dato
1	Velocidad del viento	m/s
2	Dirección del viento	norte, sur, este, oeste
3	Temperatura	ºC
4	Humedad relativa	%
5	Radiación Solar	$\mu m/m^2/s$
6	Precipitación	mm/día

Diseño del prototipo.

Tal y como se menciona en el apartado de métodos uno de los primeros pasos para la construcción de un prototipo es el modelaje de este, para ello se debe comprender que es un modelo. Un modelo se pude definir como el establecimiento de relaciones semánticas entre la teoría y los objetos en pocas palabras es la simplificación de la realidad, un modelo ayuda principalmente a simular estructuras o sistemas, muchos modelos permiten realizar simulaciones bastantes precisas. Tal es el caso de los modelos de simulación de circuitos electrónicos o la simulación de estructuras mecánicas en movimiento. En cuanto a la creación de prototipos este permite al programador entender las necesidades de código que tiene el arquetipo, así como orientarlo en las conexiones electrónicas y los requerimientos físicos del proyecto, así mismo un maquetado del proyecto ayuda a determinar las dimensiones que ocupara dentro del campo de investigación, por último, un modelado de prototipo favorece a la comprensión de su funcionamiento. Para lograr el diseño de prototipo se utilizó tinkercad este software Cad se basa en una geometría sólida constructiva (CSG), esto quiere decir que los modelos son creados a partir de la combinación de formas geométricas básicas dando como resultados maquetas complejas y correctamente diseñadas otro de los aspectos positivos de este programa es la disposición de recursos preo modelados que ya existen dentro de su librería.

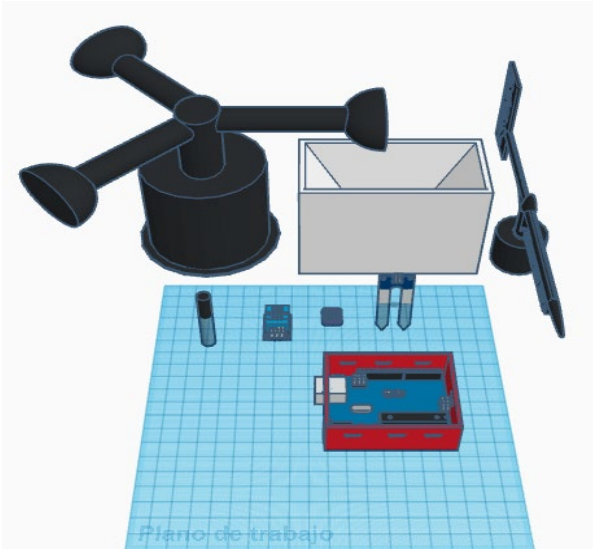


Figura 2. Diseño físico del prototipo a nivel escala. (Elaboración propia).

Una vez terminado el diseño 3d, se recurrió al software de simulación de electrónico Proteus la razón principal por la que se utilizó este software se debe a su capacidad de simular en tiempo real circuitos eléctricos basados en micro controladores haciendo uso de los diferentes componentes electrónicos que contiene dentro de sus diferentes librerías también ofrece la facilidad de agregar más elementos si así se requiere, dicho lo anterior, por otra parte Proteus también pueda simular diseños que incorporen PLDs y/o memorias ROM o RAM, y que para ello, utilice como entrada los ficheros JEDEC, BIN o HEX generados por cualquier herramienta software estos archivos son los que posteriormente son cargados a las placas de desarrollo por medio de un IDE. En cuanto a la creación de un circuito Proteus apoya al programador 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 ejecuta de manera exitosa se pude tomar el esquema eléctrico generado como base para hacer las conexiones en el prototipo real sin dañar los componentes físicos a causa de una incorrecta fluctuación energética o un cableado erróneo. El principal beneficio de simular un proyecto en este software es que los resultados obtenidos son los mismo que se generarían del prototipo una vez funcionando, otro de los beneficios se encuentra en el código utilizado para las pruebas ya que su misma estructura y lógica pueden ser incluidas en el prototipo final.

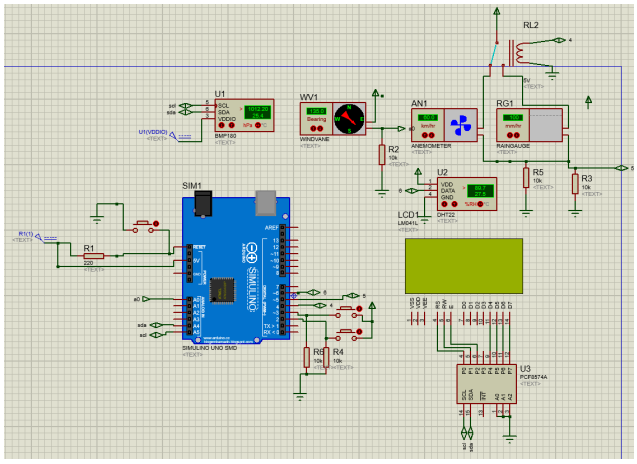


Figura 3. Simulación del circuito eléctrico. (Elaboración propia).

Modelaje y desarrollo del código.

En la figura 3 se presenta el código que se utilizó para comunicar el prototipo y la página web, la herramienta que permite la interconexión entre estos dos elementos lleva por nombre web api, utilizar este tipo de programación resulta útil cuando se quiere lograr la conexión entre dos sistemas cuyos lenguajes, arquitecturas, estructuras, impiden una comunicación directa, El API funge como una interfaz entre los diversos sistemas, ya que básicamente no importa el lenguajes o tipo de programa que lo consulte, por lo general, la función del api, es enviar y recibir información, en ocasiones con algunos procesos de por medio. En este caso el web api se invoca a través de un protocolo HTTP, una de las ventajas de usar este protocolo consiste en que es posible hacer peticiones desde cualquier lenguaje de programación, lo que hace a la web un medio ideal para conectar aplicaciones. Un api funciona de la siguiente manera: cuando ingresas una dirección web o sea una url desde un navegador el navegador envía una petición HTTP al servidor, que responde con código HTML entonces una Web API funciona muy parecido. Se hace una petición HTTP (generalmente desde algún lenguaje de programación), pero en vez de retornar una página HTML, el servidor retorna la información en una representación fácil de manipular en un lenguaje de programación (A. Giuliano , Martin-Lopez, Segura, Valencia-Cabrer, & Ruiz-Cortés, 2022). Las peticiones que fueron mencionadas anteriormente se realizan desde el propio programa de Arduino utilizando la librería wifi client la cual viene incluida por defecto dentro del ide de programación.

```
Serial.println("connected to server");

//Make a HTTP request:
client.println("GET /api/test_arduino?temperatura=150&humedad=150&humedad_suelo_porcentaje=150 HTTP/1.1");
client.println("Host: 192.168.1.64");
client.println("Connetion: close");
client.println();
```

Figura 4. Conexión a servidor local. Elaboración propia.

Una parte importante del prototipo es el funcionamiento de los sensores que tienen como tarea recopilar los datos climatológicos, la forma en que se configuran es diferente para cada uno de los componentes esto esté sujeto a diferentes factores tales como si el sensor es analógico, digital o de comunicación serial, así como la cantidad de energía eléctrica que se le esté suministrando , existen ocasiones en donde se debe usar una librería en específico para garantizar el funcionamiento del sensor. La mayoría de nuestro código se encuentra dentro del método Loop, en el ide de Arduino el Loop se encarga de repetir el código de manera indefinida todo esto ocurre al encenderse el Arduino para después ejecutar el método setup en el cual se encuentran las variables para que funcione nuestro segundo método, por lo tanto, la única manera de detener el método Loop es apagando o reiniciando el microcontrolador.

```
 //TEMPERATURA//
DHT.read11(DHT11_PIN);
Serial.print("Temperatura = ");
int temperatura =(DHT.temperature);
Serial.print(temperatura);
Serial.println(" C");

//HUMEDAD RELATIVA//
int humedad = (DHT.humidity);
Serial.print("Humedad = ");
Serial.print(humedad);
Serial.println(" %");

//HUMEDAD DEL SUELO//
double humedad_suelo=analogRead(pin_humedad8);
double humedad_suelo_porcentaje= (((humedad_suelo * 100)/730) - 100) * -1 ;
Serial.print("Humedad en el suelo = ");
Serial.print(humedad_suelo_porcentaje);
Serial.println(" %");

 //Radiacion solar//
int uvLevel = averageAnalogRead(UVOUT);
int refLevel = averageAnalogRead(REF_3V3);
//Use the 3.3V power pin as a reference to get a very accurate output value from sensor
float outputVoltage = 3.3 / refLevel * uvLevel;
```

Figura 5. Código de Arduino para los sensores. (Elaboración propia).

Una vez que lo sensores estén recibiendo información es momento de mandar todos estos datos hacia nuestro frame work de trabajo esto se consigue mediante la implementación del método get tal y como se observa en la figura 5 en donde a través de una ruta se hace referencia al método store del controlador principal. El método get se puede definir como la forma que tiene el navegador para comunicarse con el servidor mediante la dirección url, en este esquema los valores pares se unen con in signo de igual y se separan las variables con un signo de interrogación, cuando utilizamos este protocolo de comunicación es importante mencionar dos cosas : la primera es que las peticiones url se encuentras limitadas a un máximo de 2048 caracteres y por último el método get no puede ser utilizado para enviar datos binarios es decir imágenes, documentos, archivos de música, entre otros en caso de necesitar de estas funciones se debe de recurrir al método post.

```
7   Route::middleware('auth:sanctum')->get('/user', function (Request $request) {
8       return $request->user();
9   });
0   Route::get("/test_arduino", [SensorController::class, 'store']);
1
```

Figura 6. Implementación del método get por PHP. (Elaboración propia).

Ahora que los datos de la estación meteorológica pueden ser recibidos por la aplicación web de manera correcta, la información se almacena en la base de datos mediante la implementación de código php dentro del controlador en el método store así mismo es necesario el uso de Laravel eloquent el cual es un localizador de objetos relaciones mismo que nos permite mapear las estructura de una base de datos relacional y vincularlas a entidades lógicas esto permite que se realicen acciones sobre la base de datos tales como almacenar, editar, consultar y eliminar todo esto sin la necesidad de utilizar código SQL. Una de las principales ventajas de utilizar eloquent es que facilita el contacto del proyecto con una base de datos relacional donde solo se tiene que hacer un llamado al modelo de la entidad que se necesita y empezar a operar sobre ella desde el controlador.

```
public function store(Request $request)
{

    $temperatura = $request->temperatura;
    $humedad = $request->humedad;
    $humedad_suelo = $request->humedad_suelo_porcentaje;

    $sensores = Sensor::create([
        'temperatura' => $temperatura,
        'humedad' => $humedad,
        'humedad_suelo' => $humedad_suelo,
    ]);
```

Figura 7. Código para la inserción de información de la base de datos. (Elaboración propia).

La base de datos que se utilizó para almacenar toda la información dentro de la página web está basada en un modelo entidad relación la cual es una herramienta para modelo de datos que facilita la representación de una base de datos que en este caso consta de siete entidades débiles y una tabla fuerte. Los diagramas ER se usan comúnmente para diseñar o depurar bases de datos relacionales en ingeniería de software, sistemas de información comercial, educación e investigación. En ingeniería, el diagrama ER suele ser el primer paso para determinar los requisitos de un proyecto de sistemas de información (Yujra Cama, 2021). El diseño de la base de datos se llevó a cabo con el software draw.io debido a su fácil uso y versatilidad, las tablas se definieron en base a los sensores que se quieren utilizar en donde cada uno de ellos se utiliza para llenar un campo de nuestra tabla principal, algunos campos no necesariamente se llenan en tiempo real ya que se utilizarán consultas PHP para llenar la información restante, una base de datos correctamente diseñada nos permite obtener acceso a información actualizada y precisa. En este caso la base de datos es útil para conservar un registro histórico de todas las variables ambientales al paso del tiempo y observar los cambios que estas lleguen a tener.

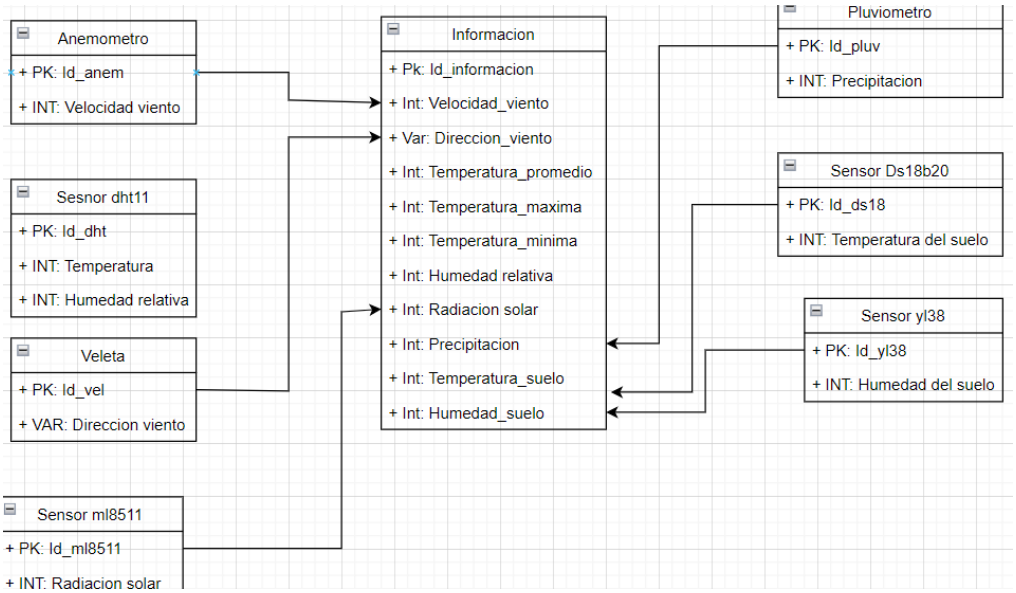


Figura 8. Propuesta de base de datos para la estación meteorológica. (Elaboración propia).

En el pasado, las páginas web eran estáticas, como las páginas de un libro. Las páginas estáticas muestran principalmente información en un diseño fijo y no muestran toda la información que esperaría de un sitio web moderno. JavaScript surgió como una tecnología del lado del navegador para hacer que las aplicaciones web sean más dinámicas. JavaScript permite que los navegadores respondan a las acciones del usuario y cambien el diseño del contenido en las páginas web. JavaScript es un lenguaje de programación del lado del cliente. Esto significa que las acciones se pueden realizar más rápido porque se ejecutan en el navegador en lugar del servidor. JavaScript se utiliza para hacer que la web sea más dinámica como parte del proceso de desarrollo de la interfaz de usuario. (aws, 2022) Con este lenguaje se puede lograr hacer interacciones, animaciones y peticiones al servidor sin necesidad de recargar la página. JavaScript del lado del servidor puede acceder a la base de datos, realizar diferentes operaciones lógicas y responder a varios eventos desencadenados por el sistema operativo del servidor. La ventaja principal del scripting del lado del servidor es que admite un alto nivel de personalización de la respuesta del sitio web según sus requisitos, sus derechos de acceso y las solicitudes de información provenientes del sitio web.

Por lo tanto, para modelar nuestra grafica se implementó la biblioteca de software Highcharts la cual es una librería escrita en JavaScript que permite la creación de gráficas. La librería ofrece un método rápido e interactivo para insertar graficas al sitio web, sus principales ventajas son flexibilidad en el código y facilidad de personalización. JavaScript es uno de los lenguajes de programación que más se utilizan en el desarrollo de aplicaciones web, ya que nos permite darle “movimiento” y dinamismo a la web.

```
<script src="{{asset("js/all.min.js")}}" crossorigin="anonymous"></script>
<script src="{{asset("js/bootstrap.bundle.min.js")}}" crossorigin="anonymous"></script>
<script src="{{asset("js/scripts.js")}}" crossorigin="anonymous"></script>
<script src="{{asset("js/highcharts.js")}}"></script>
<script src="{{asset("js/data.js")}}"></script>

<script type="text/javascript">
    //valores de los sensores
    var temperatura = {{json_encode( $temperatura)}};
    var humedad = {{json_encode($humedad)}};
    var humedad_suelo = {{json_encode($humedad_suelo)}};
```

Figura 9. Creación de la gráfica mediante java script. (Elaboración propia).

La forma principal que se utilizó para representar la información fue a través de graficas en tiempo real ya que esto hace ver a la página mucha más dinámica y visual caso contrario de que si se hubiera optado por mostrar los datos de manera estáticos y sin estilo, los aspectos mencionados anteriormente son importantes ya que se espera que el sitio sea consultado por diferentes usuarios de manera simultánea en donde podrán interactuar con las diferentes opciones y ventanas que tiene para ofrecer el sitio web . Por otro lado, la gráfica nos muestra diferentes tipos de datos, en el eje x encontramos la cantidad de registros que se han procesado hasta el momento Algunas de las funciones que se pueden realizar mediante la aplicación es la generación de reportes en Excel para ello se implementó un modal el cual es un es un contenedor que se despliega por encima del contenido de la página que se está visualizando sin la necesidad de cambiar de vista o de ruta la forma en que un modal es creado se puede observar en la figura 9 en donde dentro del mismo modal se colocaron dos campos input de tipo date esto para que el usuario pueda establecer una fecha de inicio y otra de término.

```
<div class="modal fade" id="miModal" tabindex="-1" aria-labelledby="exampleModalLabel" aria-hidden="true">
    <div class="modal-dialog">
        <div class="modal-content">
            <div class="modal-header">
                <h5 class="modal-title" id="exampleModalLabel">Modal title</h5>
                    <button type="button" class="btn-close" data-bs-dismiss="modal" aria-label="Close"></button>
            </div>
            <form method="post" action="{{url("/prueba_fecha")}}" role="form" enctype="multipart/form-data">
            @csrf
            <div class="modal-body">
                <label>Seleccione una fecha de inicio</label>
                <input type="date" id="fecha_inicio" name="fecha_inicio"></input>
                <label>Seleccione una fecha de termino</label>
                <input type="date" id="fecha_termino" name="fecha_termino"></input>

            </div>
            <div class="modal-footer">
                <button type="button" class="btn btn-secondary" data-bs-dismiss="modal">Close</button>
                <button type="submit" class="btn btn-primary">Save changes</button>
```

Figura 10. Creación del modal de reportes. (Elaboración propia).

El periodo que el usuario establece es la información más importante para la creación del reporte ya que a través de los campos fecha se envía la información al controlador y de ahí mediante un constructor se inserta al método dentro del método lo único que queda por hacer es realizar una consulta a la base de datos con las condiciones establecidas y este nos descargará de manera automática un archivo .csv al ordenador todo esto es gracias a la función Excel download que viene incluida dentro de la dependencia Laravel-Excel dicho servicio es el que permite enviar las colecciones de una vista a un documento de tipo .csv.

```
public function fecha(Request $request)
{
    $fecha_inicio=$request->fecha_inicio;
    $fecha_termino=$request->fecha_termino;
    return Excel::download(new DatosExport($fecha_inicio,$fecha_termino),'prueba.xlsx');
```

Figura 11. Controlador utilizado para la creación de archivos Excel. (Elaboración propia).

Resultados.

Como resultado de la metodología se obtiene un prototipo funcional el cual está basado principalmente en dos placas de desarrollo las cuales son Arduino uno y Arduino wifi shield dichos microcontroladores pueden considerarse como el cerebro del proyecto ya que es a través de ellos que se puede controlar a los distintos sensores que tienen conectados a sus puertos, además el conjunto de estos dos componentes hace posible él envió de información climatológica hacia la página web. El prototipo está construido principalmente de acrílico y tubos de PVC debido a su resistencia dentro de diferentes tipos de clima así mismo el prototipo fue sellado mediante silicón para evitar el ingreso del agua el cual

posteriormente crea humedad y que en caso de llegar al cableado puede producir cortocircuitos, fallos en las conexiones eléctricas que pueden estropear los elementos electrónicos y provocar que el Arduino se queme, los daños pueden incluso requerir la sustitución de toda la conexión eléctrica, suponiendo esto un gran desembolso económico.

Figura 12. Implementación del prototipo. (Elaboración propia).

Otro producto obtenido a partir de la investigación es la creación de una plataforma digital para visualizar la información de una estación meteorológica, actualmente esta página solo puede ser consultada de manera local ya que aún no se encuentra en un servidor conectado a internet sin embargo su compatibilidad la hace ideal para que cualquier usuario pueda consultar la información que requiera. Otra función con la que cuenta la plataforma es que en caso de que se necesite conocer datos de días pasados se puede recurrir a la función de reporte en donde se proporcionará un archivo Excel con la información solicitada ya que esta aplicación se encuentra totalmente comunicada con la base de datos la cual almacena de manera constante todos los hechos que se producen cerca del prototipo.

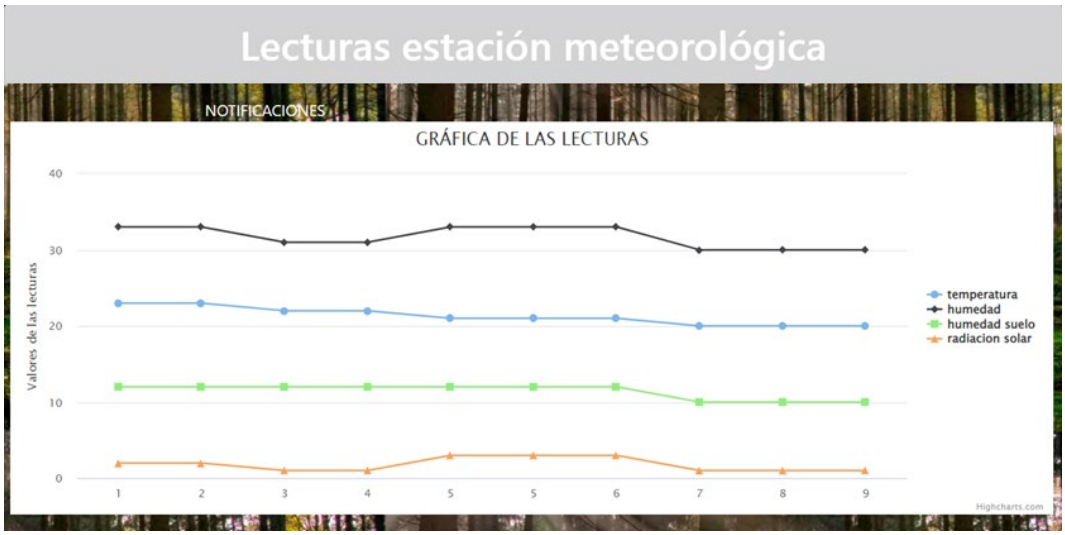


Figura 13. Página principal. (Elaboración propia).

De acuerdo con la investigación que se realizó, los resultados que obtuvimos de la ejecución de esta etapa son las siguientes.

- El prototipo realiza sus lecturas en el entorno de manera continua por lo que cuando no hay cambios significativos la información que se recibe pude considerarse repetitiva y tediosa, aunque esto se puede solucionar modificando el tiempo de respuesta al prototipo.
- El prototipo se encuentra limitado por la cantidad de pines que posee, así como la capacidad que tiene para energizar los componentes en caso de requerir sensores más robustos.
- En su mayoría las meteorológicas, se dedican mayormente a la obtención de la información sin preocuparse por como guardar o visualizar estos datos.

Conclusión.

Al llevar a cabo la investigación podemos concluir que es un dispositivo factible el cual tiene bastantes áreas de oportunidad en cuanto a autonomía y diseño pero a pesar de estar deficiencias pude igualar los resultados de un estación meteorológica comercial por un bajo presupuesto dicho producto puede interesar tanto a estudiantes como pequeñas empresas que deseen conocer las variables abióticas de un área en específico contando con la ventaja de poder consultar esta información de manera remota.

El implementar este tipo de proyectos impulsa al TESVB y a la comunidad estudiantil a abrir sus puertas hacia la industria 4.0 la cual ha traído consigo muchos beneficios el más importante de ellos es la automatización de procesos de manera remota lo que se traduce directamente como una reducción de costes ya que se disminuye la utilización de recursos humanos para realizar una tarea. Así mismo el internet de las cosas permite intercambiar información de forma rápida y en tiempo real esto conlleva a un mejor uso de los recursos económicos por lo que se llega a apreciar una mayor sostenibilidad ya que se utilizan solo los recursos que son realmente necesarios.

En caso de colocar el prototipo dentro las instalaciones del tecnológico ayudaran a sistematizar la información de los recursos naturales con que se cuenta en el predio forestal, dicha sistematización permitirá generar estrategias de manejo para conservar y recuperar áreas degradadas en base a toda la información histórica que quedará registrada en el banco de datos, la información recaudada podría ser revisada en un futuro por un analista de datos y de esta manera ayudar en la toma de decisiones oportunas para la conservación de flora y fauna, así como la restauración de áreas degradas dentro del predio. Por otro lado, al encontrase todos estos datos dentro de una plataforma digital puede ser consultada por los mismos estudiantes compartiendo así toda la comunidad universitaria para generar consciencia del cuidado del bosque y los servicios ambientales que nos brinda agua, aire limpio, amortiguamiento de la temperatura, captura y almacén de carbono. Este proyecto al irse ampliando con el paso del tiempo puede ser de utilidad dentro del ámbito científico en donde se podrá utilizar esta información para la generación de estadísticas, artículos científicos y seguimiento de los cambios en las variables ambientales que presente el predio al pasar del tiempo.

Referencias bibliográficas.

A. Giuliano, M., Martin-Lopez, A., Segura, S., Valencia-Cabrer, L., & Ruiz-Cortés, A. (17 de septiembre de 2022). *Pruebas de APIs REST guiadas por Aprendizaje Activo.* biblioteca.sistedes.es, 1-14.

aws. (15 de diciembre de 2022). *aws.* Obtenido de https://aws.amazon.com/es/what-is/javascript/.

Guerrero Aguirre, Á., & Ramos Giraldo, P. J. (2014). *Sistema embebido de bajo costo para visión.* redalyc.org, 163-173.

Molales-Hernández, J. C., Carrillo-Morales, F. M., Cornejo-López, V.-M. V., Tellez-López, J., & Farfán-Molina, L. M. (2013). *Campo de viento y temperatura en Bahía de Banderas (México): análisis espacial y temporal.* Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía(81), 7-17.

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, 53-62.

Universidad Carlemany. (2022). *Internet de las cosas: definición y ejemplos.* Obtenido de https://www.universitatcarlemany.com/actualidad/internet-de-las-cosas-definicion-y-ejemplos.

Yujra Cama, Z. (2021). *Desarrollo de una Herramienta CASE para el Diseño de Diagramas Entidad–Relación Extendido y su mapeo al Modelo Relacional Orientado a Estudiantes en el contexto*. Revista PGI, 11-30.

Información de los autores.

César Primero Huerta es Ingeniero en Sistemas Computacionales por el Tecnológico de Estudios Superiores de Valle de Bravo, Estado de México, cuenta con Maestría en Ingeniería en Sistemas Computacionales por el Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec. Tiene la distinción de Perfil Deseable ante PRODEP y es Líder del Cuerpo Académico en Formación "Procesamiento de datos con industria 4.0" del Tecnológico de Estudios Superiores de Valle de Bravo.

Mariana Carolyn Cruz Mendoza es Ingeniero en Sistemas Computacionales por el Tecnológico de Estudios Superiores de Valle de Bravo, Estado de México, cuenta con Maestría en Ingeniería en Sistemas Computacionales por el Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec. Tiene la distinción de Perfil Deseable ante PRODEP y es miembro del cuerpo académico en formación "procesamiento de datos con industria 4.0" del Tecnológico de Estudios Superiores de Valle de Bravo.

Ulises Porcayo Carbajal es estudiante del programa de Ingeniería en Sistemas Computacionales en el Tecnológico de Estudios Superiores de Valle de Bravo.

René García Martínez es Ingeniero Agroindustrial por la Universidad Autónoma Chapingo (2009), Maestro en Ciencias Agrícolas (2013) y Doctor en Ciencias Agrícolas por el Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas, Campus Texcoco, Edo. Méx. (2021). Actualmente labora como docente en la División de Ingeniería Forestal del Tecnológico de Estudios Superiores de Valle de Bravo. Forma parte de la Red Temática del Programa Mexicano del Carbono del CONACyT, Red Mexicana de Fisiología Vegetal y Red Mexicana para la Enseñanza de la Ciencia del Suelo. Es autor y revisor de artículos científicos de revistas indexadas en el CONACyT. Su trabajo se desarrolla en torno a la producción agrícola, agroindustrial y manejo de los recursos naturales.

Técnicas de visión artificial y su aplicación en el sector salud. Caso práctico: Conteo de huevecillos mosquito Aedes Aegypti.

Artificial vision techniques and their application in the health sector. Practical case: Aedes Aegypti mosquito egg count.

Gil Santana Esparza* (1).
Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico Superior de Pánuco.
gil.santana@itspanuco.edu.mx.

Armando Hernández Machuca (2). TecNM, I. T. S. de Pánuco, armando.hernandez@itspanuco.edu.mx.

*corresponding author.

Artículo recibido en febrero 25, 2023; aceptado en abril 05, 2023.

Resumen.

El presente artículo muestra el resultado de aplicar la técnica de procesamiento de imágenes en la visión artificial, derivado del proyecto en el cual uno de los objetivos fue desarrollar un algoritmo computacional para detección y conteo de huevecillos del mosquito Aedes Aegypti en ovitrampas del sector salud, aplicando la metodología para análisis automatizado de imágenes a través de visión artificial. Se presenta como resultado final un programa computacional que recibe como entrada una imagen de un pellón de ovitrampa, dicha imagen es procesada con el algoritmo que analiza y detecta los huevecillos presentes en el pellón, para proporcionar de salida la cantidad de huevecillos detectados en la imagen. Para finalizar, se concluye que el proceso automático del conteo de huevecillos con técnicas de visión artificial proporciona información inmediata y confiable que permite al sector salud tomar decisiones oportunas para implementar acciones de respuesta a la comunidad circundante de la región para prevenir la propagación del dengue.

Palabras clave: Procesamiento de imágenes, sector salud, visión artificial.

Abstract.

This article shows the result of applying the image processing technique in artificial vision, derived from the project whose objective was to develop a computational algorithm for detection and counting of Aedes Aegypti mosquito eggs in ovitraps in the health sector, applying the methodology for analysis. automated imaging through artificial vision. The final result is a computer program that receives as input an image of an ovitrap puff, said image is processed with the algorithm that analyzes and detects the eggs present in the puff, to provide output with the number of eggs detected in the image. . Finally, it is concluded that the automatic egg count process with artificial vision techniques provides immediate and reliable information that allows the health sector to make timely decisions to implement response actions to the surrounding community in the region to prevent the spread of dengue.

Keywords: Artificial vision, health sector, image processing.

1. Introducción.

Al observar la naturaleza nos damos cuenta de que las criaturas que dentro de ella habitan son capaces de realizar tareas que parece que lo hacen de manera perfecta. Dichas tareas no serían posibles si estas criaturas no contaran con los sentidos que les permitieran percibir su respectivo medio ambiente, así como las capacidades para poder procesar estas informaciones de manera conveniente. En lo particular, la visión es uno de los sentidos con el que casi cualquier criatura cuenta. Este sentido le permite a la criatura visualizar el mundo circundante facilitándole a la vez tomar las decisiones que más le convengan. Es decir, la percepción visual es necesaria no sólo por que ver es divertido, sino porque es necesaria para poder tener una idea mejor de lo que una acción puede llegar a representar (Russel, S. y Norving, P., 2004).

Podemos definir, entonces, percepción visual humana como la habilidad para procesar, interpretar y analizar información recibida del espectro de la luz visible mediante nuestros ojos. Sin embargo, con las nuevas tecnologías, esta definición se podría ampliar a otras longitudes de onda distintas de la luz visible, y esta nueva definición se aplicaría también a la percepción visual por computadora (Chacón, M. et al., 2015).

El dotar a una máquina de las capacidades para percibir y analizar ha sido, desde hace más de 50 años, uno de los retos científicos y tecnológicos con que la comunidad científica se ha enfrentado. Estas capacidades deberían quedar integradas en lo que actualmente se conoce como un sistema de visión artificial.

La visión por computadora puede ser definida como la capacidad con que una máquina debería contar para ser capaz de tratar y analizar una o más imágenes de su entorno, con el objeto de que dicha máquina pueda desarrollar de forma automática una tarea dada (Rodríguez, R. y Sossa, J., 2012).

Así también, el tratamiento o procesamiento digital de imágenes (TDI o PDI) es una de las etapas primarias del proceso de la visión por computadora. Se puede definir como un conjunto de procedimientos que se realizan sobre una imagen para su almacenamiento, transmisión o tratamiento. El PDI recibe como entrada una imagen y produce como salida otra imagen con las mismas dimensiones que la imagen de entrada, además puede ser utilizado para entregar un resultado de más alto nivel como podría ser la identidad de los objetos presentes en dicha imagen de entrada o incluso una interpretación de alto nivel de dicha imagen (Rodríguez, R. y Sossa, J., 2012).

Se puede decir también, que el procesamiento de imágenes es un conjunto de técnicas que toma una imagen de entrada y genera otra de salida. Y esto se puede hacer: Pixel a pixel: en el que cada pixel de la imagen de salida depende únicamente de un pixel de la imagen de entrada. O bien, por áreas de pixeles vecinos: en el que cada pixel de la imagen de salida depende de un conjunto de pixeles vecinos anexos a un determinado pixel de la imagen de entrada (Domínguez, T., 2021a).

Y dentro de las técnicas del procesamiento de imágenes se encuentra la segmentación, en la cual se puede aplicar filtrado basado en umbral como son el umbral fijo y el umbral adaptativo. En el umbral fijo, el umbral se representa con un valor entero en el rango de 0 a 255. El umbral adaptativo tiene variación de valor en cada punto, para calcularlo se toma un área determinada alrededor del punto de la imagen origen y se obtiene la media de la intensidad de los puntos que lo rodean, agregando un margen de seguridad. También se encuentran los filtros lineales, en los cuales para el cálculo de nivel de intensidad de cada pixel de la imagen destino, se utiliza una función lineal aplicada sobre el correspondiente pixel de la imagen origen. Algunos de los filtros lineales son, el filtro paso bajo que sirve para suavizar la imagen; el filtro paso alto, que se usa para realzar las zonas de la imagen aumentando su contraste; filtro de detección de bordes, que permiten identificar objetos con propiedades similares. Y por otro lado, se encuentran los filtros morfológicos, que procesan la imagen basándose en su forma (Domínguez, T., 2021b).

De tal manera que, el análisis de imágenes por computadora es un procedimiento que tiene como objetivo procesar, identificar e interpretar de forma automática los aspectos más relevantes presentes en una imagen que ha sido previamente digitalizada. Para ello, es necesario conocer la problemática abordada por el análisis automatizado de imágenes que tiene que ver con (Rodríguez, R. y Sossa, J., 2012):

a) El reconocimiento de objetos: consiste en la determinación en forma automática de la identidad de los objetos en una imagen a partir de un conjunto de rasgos descriptivos extraídos a partir de una o más imágenes de dicho objeto. Desde el punto de vista de la clasificación, el reconocimiento de objetos puede ser visto como el problema de encontrar las clases a las cuales pertenecen cada uno de los objetos que se encuentran en la imagen.
b) Detección de objetos: tiene que ver con la determinación de si un objeto dado se encuentra o no en una imagen. Para esto se puede utilizar, una descripción del objeto a detectar o una imagen recortada de dicho objeto.

Derivado de lo anterior, en el presente artículo se abordan los conceptos, elementos y técnicas computacionales de los sistemas de visión artificial con la intención de crear aplicaciones para uso habitual en los campos de la vida moderna, en este caso, desarrollando un algoritmo para detección y conteo de huevecillos del mosquito Aedes Aegypti en ovitrampas tratando de impactar con ello en el sector salud proporcionando información útil que apoye las estrategias de disminución del mosquito y en consecuencia con la disminución de la enfermedad transmitida (dengue).

2. Métodos.

Con base al análisis situacional previo, realizado en conjunto con personal de la Jurisdicción Sanitaria No.1 de Pánuco, Veracruz, en el cual se conoció el proceso de vigilancia y monitoreo de las ovitrampas instaladas en la zona, se ha detectado la necesidad de vigilar y cuantificar la cantidad de huevecillos producidos por el mosquito Aedes Aegypti transmisor de la enfermedad del dengue. El hecho de cuantificar los huevecillos captados en las ovitrampas le proporciona al sector salud información para determinar las estrategias a implementar para combatir la proliferación de dicho mosquito. Sin embargo, se percibe que este proceso de vigilancia y cuantificación se realiza de forma manual, por lo cual sería importante realizarlo con base a tecnologías emergentes que coadyuven en esta tarea para aumentar la optimización del tiempo y los niveles de confianza en el conteo y monitoreo. Para realizar lo anterior se hizo la propuesta de la técnica de visión artificial, estableciendo el periodo de enero a diciembre del 2021 como marco temporal para el desarrollo y validación de la herramienta computacional con técnicas de visión artificial para lograr el objetivo planteado.

Para ello, se ha optado en seguir las etapas para el análisis automatizado de imágenes mostrado en la Figura 1.

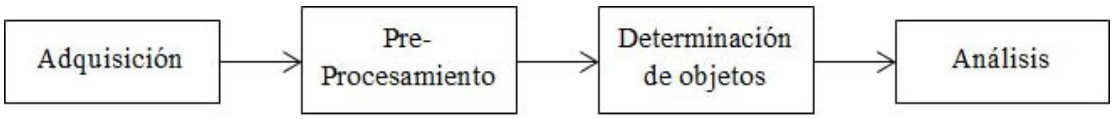


Figura 1. Etapas en un sistema de análisis de imágenes. Adaptado de Chacón, M. et al. (2015).

En la Figura 1, en la adquisición a través del hardware se obtiene una imagen digital que se almacena normalmente a través de algún formato característico de imágenes (TIFF, BMP, JPEG, etc.), de tal manera que la interpretación de la imagen se representa desde el punto de vista de su tratamiento computacional como una matriz numérica de dimensión MxN, el contenido de esa matriz se refiere a valores enteros situados en localizaciones espaciales (x,y) denominados pixeles (Pajares, G. y De la Cruz, J. 2008). En el pre-procesamiento, se aplican acciones sobre la imagen que definen a la escena, las cuales corresponden al suavizado, umbralización, eliminación de ruido, análisis de textura, etc. En la determinación de objetos, se tienen acciones como definición de límites, definición de bordes, regiones, superficies, que están relacionadas con generar objetos presentes en la imagen. En el análisis, se entablan relaciones entre objetos para realizar la interpretación o descripción de la escena (Chacón, M. et al., 2015).

Se ha tomado como punto de partida el hecho de que, para una computadora, las imágenes no son más que una sucesión de puntos, o pixeles, dispuestos en filas y columnas sobre una pantalla. Cada uno de dichos pixeles se identifica por sus coordenadas y el nivel de intensidad con el que se visualiza. En las imágenes en blanco y negro

dicho nivel de intensidad es un valor en el rango 0 – 255, siendo 0 la oscuridad absoluta y 255 la máxima luminosidad. Entre medias estaría toda la escala de grises. En las imágenes en color cada pixel se compone de tres valores, correspondientes a la intensidad de los tres colores primarios: rojo, verde y azul. De tal manera que para el desarrollo del proyecto, del cual surge el presente artículo, se han aplicado los aportes conceptuales de los diversos autores consultados así como las cuatro fases: adquisición, pre-procesamiento, determinación de objetos y análisis de imágenes del mundo real.

3. Desarrollo.

En la adquisición, el mundo analógico de luces y colores que rodea a la imagen se ha traducido a datos binarios compuestos de ceros y unos. En el pre-procesamiento de la imagen se ha realizado extracción de información útil de ésta, aplicando funciones con las que se ha realizado el filtrado para centrarse en los objetos de interés. En la determinación de objetos, se han detectado los bordes descubriendo patrones de sus características determinando las superficies. En el análisis de la imagen y con base también en funciones y librerías del lenguaje se ha partido del paso anterior para realizar el reconocimiento de los objetos, identificándolos y haciendo el conteo de los mismos. El Algoritmo 1, presenta las líneas de código en lenguaje *Processing* de todas las acciones redactadas en las cuatro fases.

Adquisición.
Para la adquisición, como elemento *hardware*, se ha utilizado una cámara web convencional conectada a una laptop, la cámara de un dispositivo móvil *android* y una cámara microscópica 1000x. Y como elemento *software* se ha utilizado el lenguaje de programación *Processing* versión 3.5.4 acompañado de la librería de software *OpenCV*, que han permitido en su conjunto, desarrollar una aplicación de visión artificial en tiempo real. Para ello, se aplicó la clase *PImage* para la representación en la pantalla, obteniendo con dicha clase la información necesaria del ancho, alto y la matriz de valores de los pixeles de las imágenes tratadas. Así también, se utilizó la función *loadImage()* para crear objetos para la clase *PImage* trabajando en este caso, el formato jpg. Un ejemplo de esta fase de adquisición se muestra en la Figura 2 que contiene en formato jpg un pellón recolectado por el sector salud con huevecillos del mosquito Aedes Aegypti, y que se ha utilizado para aplicar el algoritmo de visión artificial desarrollado.

Figura 2. Pellón “A” recolectado por el Sector Salud con huevecillos del mosquito Aedes Aegypti. Capturada la imagen con cámara web convencional.

Pre-procesamiento.
Dentro de las técnicas que se aplicaron en el proyecto para el procesamiento de imagen se encuentra la binarización, en la cual lo que se hizo fue componer la imagen destino a partir de los pixeles de la imagen origen cuyo valor de

intensidad ha superado un determinado valor en el rango de 0 a 255. En este caso, la imagen destino será de color blanco en las zonas de la imagen origen cuyos pixeles tengan un valor mayor que el del umbral, dejando el resto en negro, logrando con la binarización que la imagen destino esté compuesta de blancos y negros puros (no hay grises). La aplicación de esta técnica en el desarrollo del proyecto fue muy útil ya que ha permitido seleccionar las regiones de la imagen que contienen los objetos sobre los que se requiere centrar la atención, descartando el resto, de tal manera que con dicha técnica se ha logrado un proceso de separación que se conoce técnicamente como segmentación. Para lograr lo anterior, se aplicó el tipo de filtrado basado en umbral fijo con valor de 80, como se muestra en la Figura 3.

Figura 3. Pellón "B". Segmentación con umbral fijo en valor de 80. Capturada la imagen con una cámara microscópica digital 1000x.

Determinación de objetos.

Una vez aplicada la binarización de la imagen origen, se procedió a localizar los contornos de la imagen, y en última instancia, los objetos que contienen, para lo cual se creó un *ArrayList* (lista de datos para almacenar cada objeto de interés) con los contornos identificados aplicando los métodos de la clase *Contour* de *OpenCV*, dando como resultado la identificación como se muestra en la Figura 4.

Figura 4. Pellón "B". Identificación de contornos de los huevecillos.

Una vez que ha sido posible identificar los posibles contornos pertenecientes a los huevecillos del mosquito Aedes Aegypti, y tomando en cuenta que, en este caso, lo que se busca es el conteo de los huevecillos, se determinó que la mejor técnica para discriminar y evitar falsos positivos, se aplicaría la identificación final aplicando cálculo de áreas con base a un análisis previo de rangos en los cuales se encuentran los tamaños de los huevecillos. Y para ello, se determinaron áreas rectangulares, aplicando el método *getBoundingBox()* para detectar las coordenadas de la esquina superior izquierda, así como al ancho y alto del rectángulo resultante, almacenando cada resultado en el *ArrayList*, dando como resultado lo mostrado en la Figura 5.

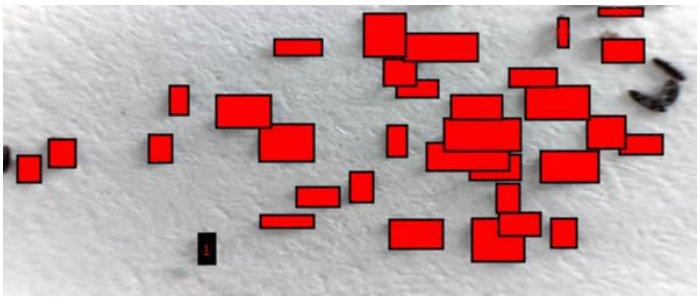


Figura 5. Pellón "B". Identificación de áreas rectangulares.

Análisis.
Tomando como sugerencia las aportaciones de personal calificado del sector salud, que aportó datos estadísticos en relación al dato del área promedio y rango de tamaños reales de los huevecillos a contar, se procedió a recorrer el *ArrayList* resultante comparando cada área individual contra el rango de áreas probables, clasificando los tamaños de cada huevecillo como Chico o Mediano. Obteniendo los resultados mostrados en la Figura 6.

Figura 6. Pellón "B". Conteo de huevecillos.

Posteriormente, se procedió a probar el algoritmo resultante con diversos pellones proporcionados por el sector salud, como el mostrado en la Figura 7 y Figura 8, en las cuales se aprecia el conteo por tamaño y el conteo total de huevecillos.

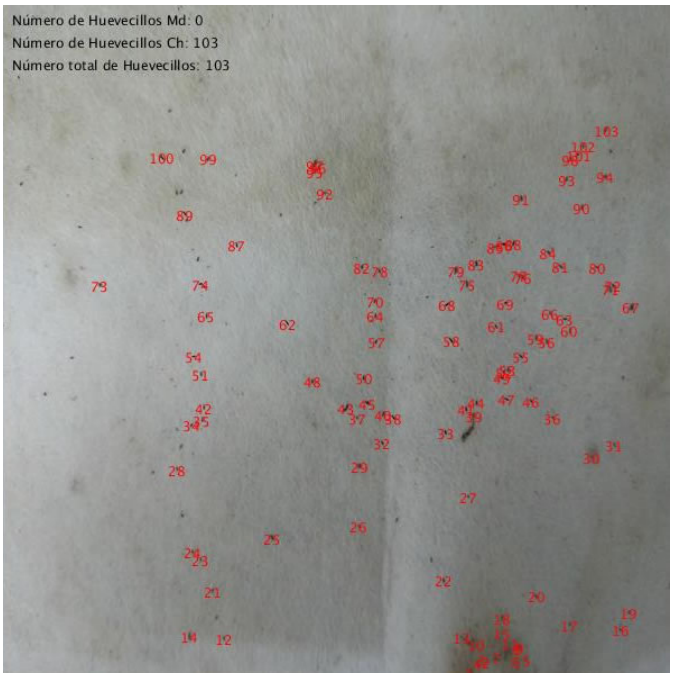


Figura 7. Pellón "A". Conteo de huevecillos sin resaltar el contorno.

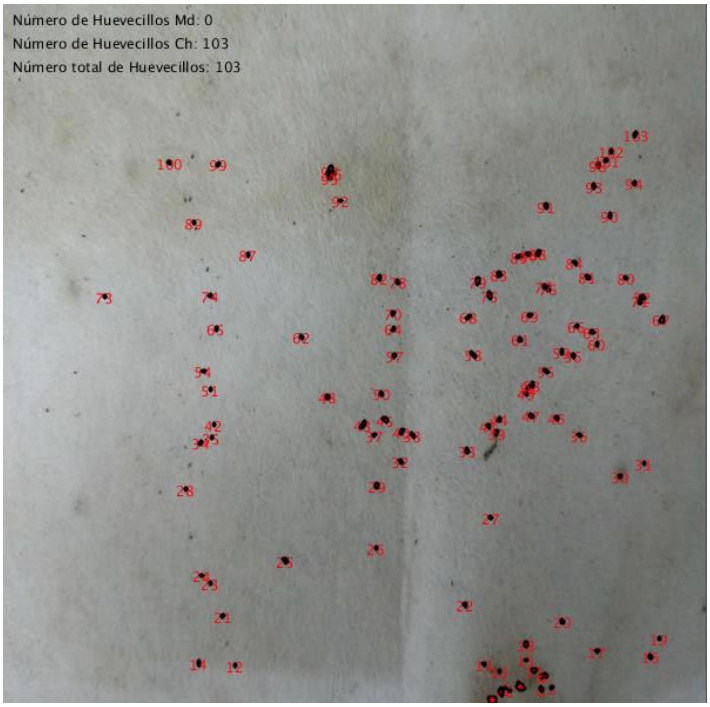


Figura 8. Pellón "A". Conteo de huevecillos resaltando el contorno.

El algoritmo general que representa la idea del desarrollo se muestra a continuación:

Algoritmo1. Código en *Processing* v.3.5.4 que implementa visión artificial para conteo de huevecillos.

```
import gab.opencv.*;
import java.awt.Rectangle;

PImage img, imgUmbral;
OpenCV imgOpencv;

ArrayList<Contour> contornos;
Rectangle rectangulo; //variable para enmarcar cada objeto
String tipoHuevecillo="";

float AREA_MINIMA = 100;
float AREA_MAXIMA = 2000;
float AREAmd = 500;
float AREAch = 100;
int numeroHuevCh, numeroHuevMd;

void setup()
{
  img = loadImage("huevecillos.jpg");
  size(850, 200);

  imgOpencv = new OpenCV(this, img);

  strokeWeight(2);
  textSize(12);

  imgOpencv.blur(20); //filtro paso bajo
  imgOpencv.threshold(80); //filtro de umbral fijo
  imgUmbral = imgOpencv.getOutput();
  contornos = imgOpencv.findContours();
}

void draw()
{
  numeroHuevCh = 0;
  numeroHuevMd = 0;
  scale(0.7);
  image(img, 0, 0);
  image(imgUmbral,img.width,0);

  for (Contour contorno : contornos) //recorre los contornos identificados
  {
    if(contorno.area() > AREA_MINIMA && contorno.area() < AREA_MAXIMA)
    {
      if(contorno.area() > AREAmd)
      {
        tipoHuevecillo = "Md";
        numeroHuevMd++;
      }
      else if(contorno.area() > AREAch)
      {
        tipoHuevecillo = "Ch";
        numeroHuevCh++;
      }

      rectangulo = contorno.getBoundingBox(); //contiene los contornos-rectángulos
```

```
                identificados
      rect(rectangulo.x, rectangulo.y, rectangulo.width, rectangulo.height); //dibuja o
                                                    enmarca cada objeto en un rectángulo


      fill(255, 0, 0);
      textAlign(CENTER, CENTER);
      text(tipoHuevecillo, rectangulo.x+rectangulo.width/2,
                                                      rectangulo.y+rectangulo.height/2);
      contorno.draw(); //dibuja el contorno de los objetos identificados
    }
  }
  textAlign(LEFT);
  fill(0);
  text("Número de Huevecillos Md: "+str(numeroHuevMd), 10, 20);
  text("Número de Huevecillos Ch: "+str(numeroHuevCh), 10, 40);
}
```

Conclusiones.

Con base a lo anterior, se resalta el hecho de que el conteo de huevecillos aplicando técnicas de visión artificial se realiza de manera más precisa en comparación con el método manual que actualmente sigue personal de la Jurisdicción Sanitaria, el cual consiste en contar a simple vista y manualmente cada huevecillo presente en el pellón. En algunos casos, para agilizar el conteo manual se divide el pellón en cuadrantes y se obtiene un promedio de huevecillos por cuadrante para así obtener un conteo total. Por otro lado, se resalta el margen de error, con la técnica de visión artificial se tiene que, por cada 100 huevecillos hay un margen de error de 2 huevecillos no contados, esto debido a variaciones en la imagen procesada o por empalme de los huevecillos contabilizando una sola ocurrencia. Y en forma manual, no está completamente detectado, debido a que son diferentes personas las que hacen el conteo y eso implica diferentes sesgos de visión y conteo, además de que el margen de error del conteo por promedio, puede ser mucho mayor y no está estandarizado. La velocidad de conteo manual es de varios días dependiendo de la cantidad de pellones, y la velocidad de conteo con visión artificial es inmediata. Se concluye que el proceso automático del conteo de huevecillos con técnicas de visión artificial puede proporcionar información automática y confiable en poco tiempo que permita al personal de la Jurisdicción Sanitaria tomar decisiones oportunas para implementar acciones de respuesta a la comunidad circundante con la intención de disminuir la propagación del mosquito Aedes Aegypti y los posibles casos de enfermedad (dengue) en la población.

Agradecimientos.

Los autores agradecen al Tecnológico Nacional de México por el financiamiento del proyecto 11289.21-PD (“Construcción de plataforma digital para vigilancia y monitoreo de ovitrampas”) de la Convocatoria de Investigación Científica y Tecnológica 2021. Así como a la Jurisdicción Sanitaria No.1 de Pánuco, Ver. por el apoyo para el análisis de campo.

Referencias bibliográficas.

Chacón, M., Sandoval, R. y Vega, J. (2015). *Percepción visual aplicada a la robótica.* Cd. de México, México: Alfaomega Grupo Editor, S.A. de C.V.

Domínguez, T. (2021a). *Processing*. Cd. de México, México: Alfaomega Grupo Editor, S.A. de C.V.

Domínguez, T. (2021b). *Visión artificial.* Madrid, España: Marcombo, S.L.

Pajares, G. y De la Cruz, J. (2008). *Ejercicios resueltos de visión por computador*. Cd. de México, México: Alfaomega Grupo Editor, S.A. de C.V.

Rodríguez, R. y Sossa, J. (2012). *Procesamiento y análisis digital de imágenes*. Cd. de México, México: Alfaomega Grupo Editor, S.A. de C.V.

Rusell, S. y Norving, P. (2004). Inteligencia artificial. Un enfoque moderno. Madrid, España: Pearson Prentice Hall.

Información de los autores.

Gil Santana Esparza es Ingeniero en Sistemas Computacionales por el Instituto Tecnológico de Cd. Madero, Maestro en Comunicación Académica por la Universidad Autónoma de Tamaulipas, Maestro en Dirección de Ingeniería de Software por la Universidad ISU, Doctor en Educación por la Universidad del Golfo. Es docente en el área de Ingeniería en Sistemas Computacionales del Instituto Tecnológico Superior de Pánuco. Con Reconocimiento a Perfil Deseable Prodep. Participante en proyectos de investigación tanto financiados como internos como titular y colaborador. Asesor de proyectos académicos de Innovación Tecnológica. Ponente en congresos multidisciplinarios de investigación.

Armando Hernández Machuca es Ingeniero en Sistemas Computacionales por el Instituto Tecnológico Superior de Pánuco, Maestro en Sistemas de Información por la Universidad Autónoma de Tamaulipas. Es docente en el área de Ingeniería en Sistemas Computacionales del Instituto Tecnológico Superior de Pánuco. Con Reconocimiento a Perfil Deseable Prodep. Participante en proyectos de investigación tanto financiados como internos como titular y colaborador. Asesor de proyectos académicos de Innovación Tecnológica. Ponente en congresos multidisciplinarios de investigación.

Sistema receptor y clasificador de botellas y latas con registro de usuarios vía wifi.

Receiving and sorting system for bottles and cans with user registration via Wi-Fi.

Raúl Moreno Rincón* (1).
Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez.
raull.mr@tuxtla.tecnm.mx.

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

Álvaro Hernández Sol (3). I. T. de Tuxtla Gutiérrez, alvaro.hs@tuxtla.tecnm.mx.

Joel Gómez Pérez (4). I. T. de Tuxtla Gutiérrez, joel.gp@tuxtla.tecnm.mx.

Christian Giovanni Rodríguez De La Cruz (5). Estudiante I. T. de Tuxtla Gutiérrez, L19270687@tuxtla.tecnm.mx.

*corresponding author.

Artículo recibido en noviembre 24, 2023; aceptado en diciembre 11, 2023.

Resumen.

El proyecto consiste en el diseño y construcción de un prototipo de sistema para recolectar botellas de PET y latas de aluminio que ayude a controlar la cantidad de estos contaminantes que llegan a los ríos y océanos, incentivando a las personas a la recolección a través de premios. Este proyecto está enfocado a la industria de apoyo a la ecología, la carencia de tecnología en este campo crea la necesidad de innovación e implementación de sistemas, buscando alternativas que ayuden a convencer al público a unirse a esta cruzada. Por ello se diseñó un sistema recolector y clasificador de botellas y latas con capacidad para registrar a las personas que están colaborando y llevar un conteo de la cantidad que están agregando al sistema. Teniendo como aliciente un proceso de acumulación de puntos proporcional al conteo que llevan y que pudiera ser canjeables por algún premio, en el caso académico, una retribución por créditos académicos complementarios, que se reflejará entre los alumnos que recolecten y lleven a depositar cada botella o lata en este sistema. La acumulación de puntos se encontrará en un servidor virtual que será alimentada, consultado y administrado vía wifi para tener acceso a ella en cualquier día, hora y lugar tanto para agregar botellas y latas como para consultar el acumulado de puntos y la lista de incentivos.

Palabras claves: Botellas de PET, contaminantes, incentivos, servidor virtual, wifi.

Abstract.

The project consists of the design and construction of a prototype system to collect PET bottles and aluminum cans that helps control the amount of these pollutants that reach rivers and oceans, encouraging people to collect through prizes. This project is focused on the ecology support industry, the lack of technology in this field creates the need for innovation and implementation of systems, looking for alternatives that help convince the public to join this crusade. For this reason, a bottle and can collecting and sorting system was designed with the capacity to register the people who are collaborating and keep a count of the amount they are adding to the system. Having as an incentive a process

of accumulating points proportional to the count they have and that could be exchanged for a prize, in the academic case, a remuneration for complementary academic credits, which will be reflected among the students who collect and deposit each bottle or can in this system. The accumulation of points will be found on a virtual server that will be fed, consulted, and managed via Wi-Fi to have access to it at any day, time, and place, both to add bottles and cans and to consult the accumulated points and the list of incentives.

Keywords: Incentives, PET bottles, pollutants, virtual server, Wi-Fi.

1. Introducción.

Contaminación por botellas de plástico: En un enfoque mundial. Un millón de botellas por minuto son compradas en el mundo. Esto está ocasionando una crisis ambiental. Cada mexicano consume en promedio 48 kilos de plásticos al año, de acuerdo con datos de la propia Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. La contaminación de los ríos y océanos con plásticos pone en riesgo la vida salvaje marina, por tanto, si queremos hacer algo para evitarlo, necesitamos incrementar el reciclaje de las botellas y latas, es decir, utilizar un esquema de depósitos para retorno de estas y generar la cultura de reciclaje, con la finalidad de reducir el problema de contaminación. Existen países que han avanzado en la mitigación de este problema tal como Noruega donde el 96 % de las botellas son recuperadas, (Basco. et al 2018)

En 2019, en México la demanda de PET fue de 900,000 toneladas, 75 % de vPET y 25 % de rPET, pero la resina reciclada está desplazando a la virgen, al menos en México. Las proyecciones para 2020, de acuerdo con Fernando Rosas García, director comercial de Alpek Polyester México, es que el mercado general de PET crecerá 3 %, en particular por la demanda de rPET principalmente para aplicaciones de botella a botella.

Uno de los retos más importantes, en la visión del directivo de Alpek Polyester para la industria de reciclaje de PET es la recolección. Si bien México hoy cuenta con una tasa de 60 %, que es la más alta de América, a medida que se va acercando a 80 % o 90 % será más complejo incrementar el porcentaje porque se tiene que buscar el residuo en lugares más distantes, y crear nuevos centros de acopio. Se prevé que las exportaciones mexicanas de PET se reduzcan a fin de abastecer las nuevas capacidades en el país, pero también se espera que México comience a importar particularmente botella desde países de Centroamérica, aunque para ello se enfrentará mayor complejidad, (EPLAN, 2023).

Con la intensión de contribuir con la participación del TECNM Campus Tuxtla Gutiérrez, en estos desafíos y principalmente en el ECO-RETO que se lleva a cabo en el estado de Chiapas, debido a que específicamente en este estado se presenta todos los años una alta contaminación del río que atraviesa el cañón del sumidero, la cual proviene de las diferentes poblaciones que lo rodean y partiendo con la idea de promover acciones para que los estudiantes y público en general participen en la recolección de botellas y latas, se realizó este proyecto de desarrollo tecnológico.

2. Métodos.

Diseño, construcción e implementación de hardware del sistema.

El sistema se centra en una caja de acrílico transparente, y dentro de ella se diseño una banda transportadora en donde en un extremo toca a una pared de la caja en el centro y es en ella en donde se realizó un orificio del tamaño suficiente para introducir las botellas de PET o latas y depositarlas al inicio de la banda. A un tercio de la longitud de la banda se ubica una estación de trabajo en donde un sensor de metal determina si el objeto es una lata de aluminio, en caso de que lo sea, un actuador lineal eléctrico empuja a la lata fuera de la banda y esta cae a un recipiente almacenador de latas, si no es una lata continua su recorrido. A 2/3 de la longitud de la banda se tiene otra estación de trabajo en donde un sensor de PET detecta si el objeto transportado es una botella de PET, en caso de que lo sea, un actuador lineal eléctrico empuja a la botella fuera de la banda y esta cae a un recipiente almacenador de botellas de PET, si no es una botella de PET, el objeto continuo su recorrido hasta llegar al otro extremo, en donde cae por gravedad a un recipiente de desechos. La figura 1 muestra a la banda mencionada dentro de la caja de acrílico. Como la banda fue diseñada y

construida para nuestra necesidad especifica, se diseñaron accesorios de sujeción y un juego de rieles para evitar el pandeo de ésta, el diseño fue realizado en SolidWorks e impreso con PLA, ver figura 2, (SolidWorks. 2023).

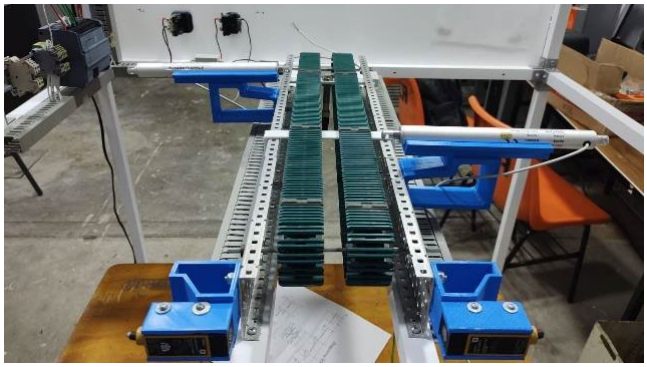


Figura 1. Banda transportadora.

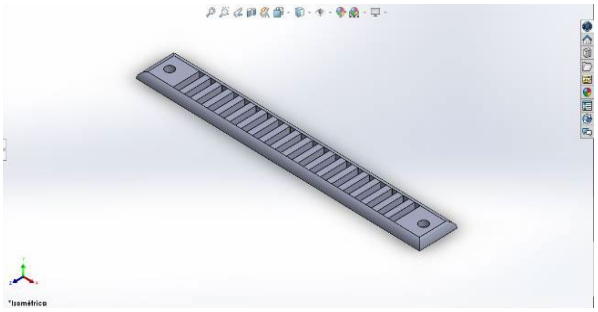


Figura 2. Diseño de los rieles.

También se diseñaron e imprimieron rampas de dirección para cada estación de trabajo (Aluminio y PET), las cuales fueron montadas a lo largo de los laterales de la banda transportadora. Estas rampas fueron diseñadas con la finalidad de ajustar la dirección de los envases al ser expulsados, figura 3.

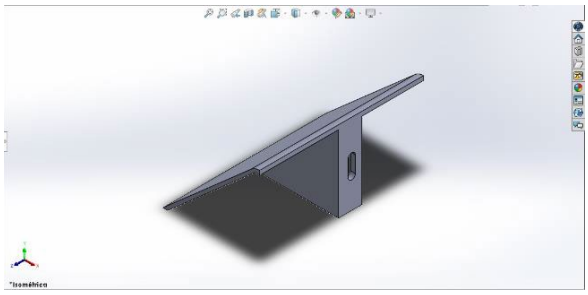


Figura 3. Rampas de dirección.

Determinación e implementación de actuadores para el proceso.

Con respecto a los actuadores encargados en quitar de la banda a los objetos que cumplen con lo que marca el sensor de cada estación de trabajo, estos se diseñaron en SolidWork y se imprimieron con PETG, su movimiento se debe a servomotores MG995 de 180° que son controlados por un Arduino nano.

Con la intención de convertir el movimiento rotativo del servomotor de 180° en un movimiento lineal, se determinó un actuador lineal formado por un servomotor MG995 de 180°, un engrane y un piñón, determinando que una medida de 12.8 cm del actuador lineal sería adecuada para asegurar la expulsión efectiva del envase mediante el desplazamiento del piñón impulsado por el engrane (que es el ancho de la banda transportadora).

Con el objetivo de alcanzar esta medida, se calculó un diámetro de engrane de 82 mm. Este cálculo se basó en el principio de la circunferencia, donde multiplicando el diámetro por π (pi) se obtiene una circunferencia de 257.6 mm. Y dado que el servomotor gira solo 180 grados, se dividió esta medida entre 2, resultando en una longitud de 128.8 mm, equivalente a los necesarios 12.8 cm requeridos para el desplazamiento del piñón. Esta configuración asegura que el envase sea expulsado de manera eficiente durante el proceso de clasificación, ver figura 4 y 5.

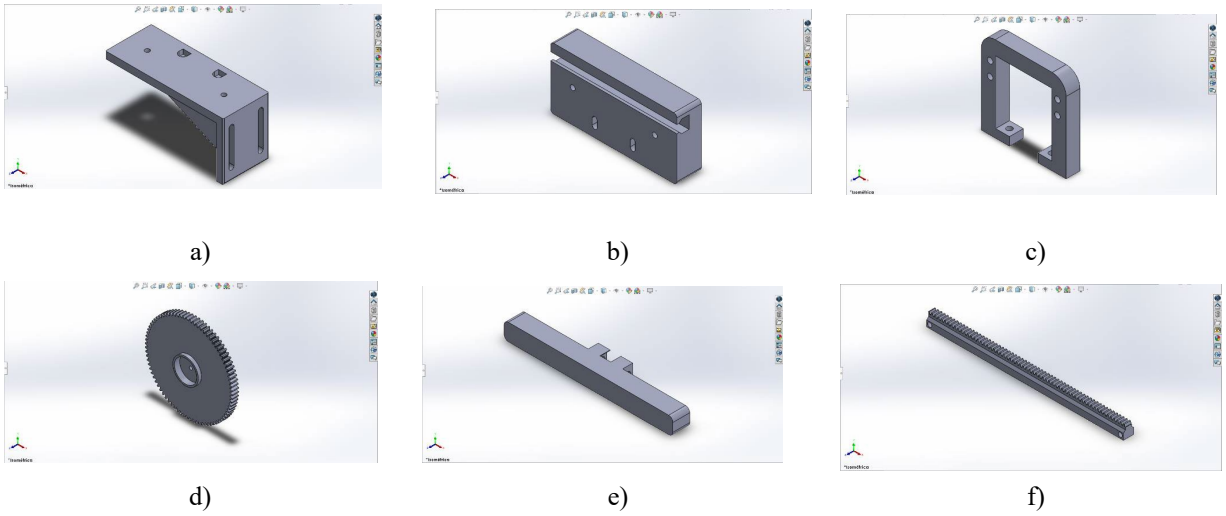


Figura 4. Partes del actuador lineal: a) Base, b) Corredera, c) Soporte, d) Engrane, e) vástago y f) piñón**.**

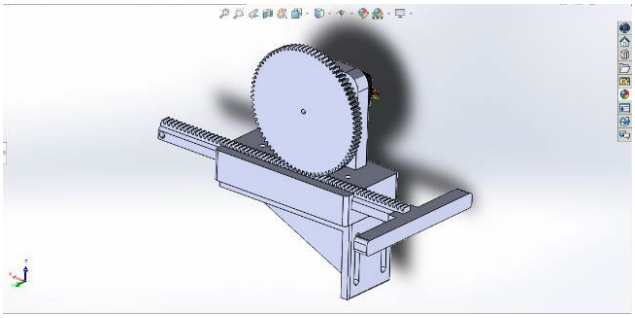


Figura 5. Ensamble del actuador lineal.

En la figura 6 podemos observar el diagrama de flujo del programa del Arduino nano que controla los dos servomotores correspondientes a los actuadores lineales de la estación de latas y la estación de botellas de PET. El Arduino nano recibe del controlador principal (PLC Siemens 1200) 2 pulsos, uno para cada servomotor (LucidChart. 2023).

Cuando el sensor de una estación de trabajo reconoce que el objeto es del material de esa estación envía un pulso al controlador principal el cual detendrá la banda transportadora y enviará un pulso en alto al servo correspondiente para que el piñón avance y saque de la banda al objeto, después de un tiempo determinado corta el pulso para que el piñón regrese y activa nuevamente la banda.

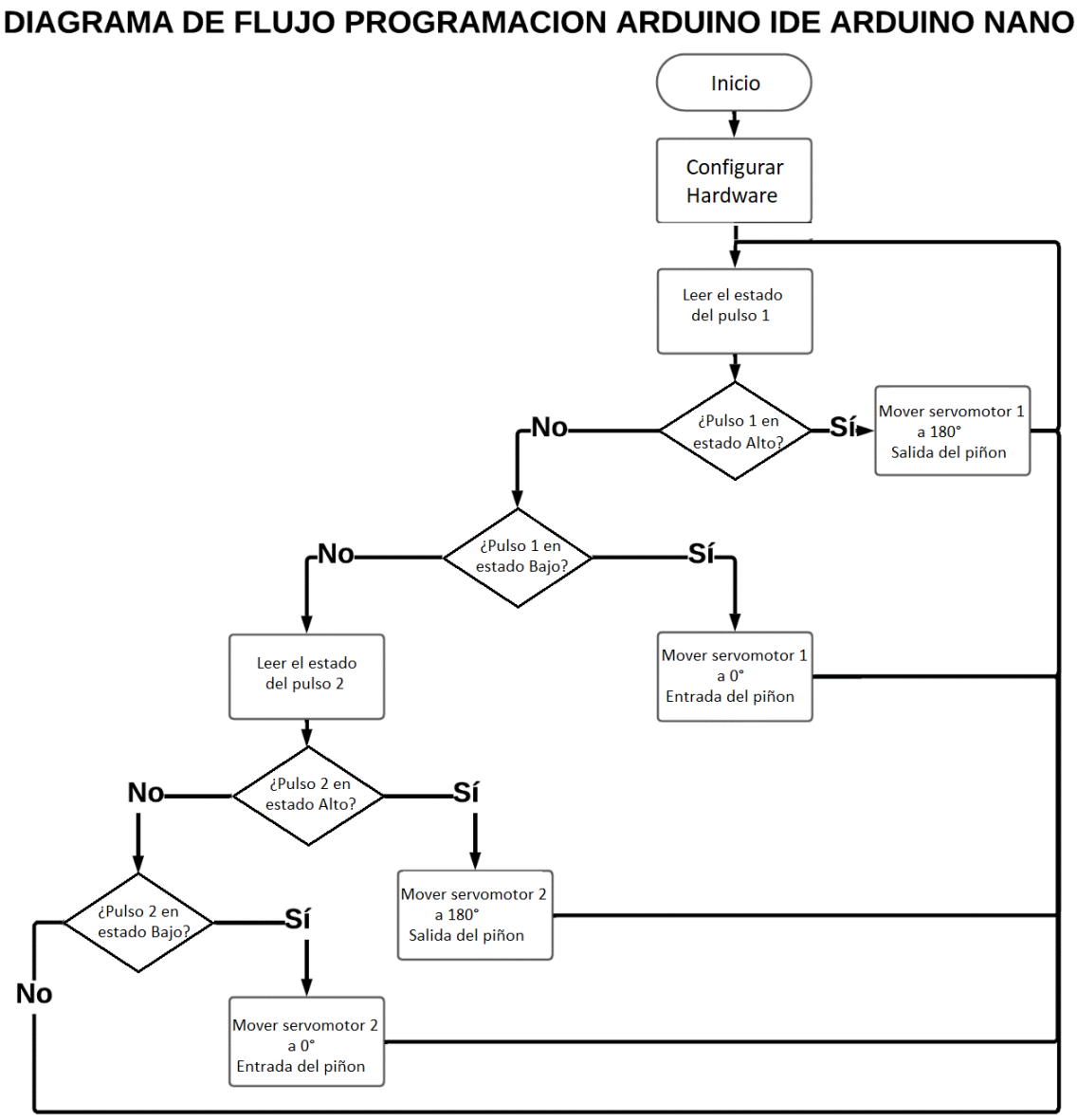


Figura 6. Diagrama de flujo del Arduino nano.

Determinación de Sensores para el proceso.

La banda tiene 4 sensores:

- El primer sensor es fotoeléctrico tipo barrera de la marca Omron (Transmisor E3S-5LB4-T y el receptor es el E3S-5DB4-T) con capacidad para detectar al objeto en cualquier posición y tiene como función detectar la entrada de objetos al inicio de la banda, ver figura 7.
- En la primera estación se tiene un sensor inductivo de la marca IFM (IFT202), el cual tiene capacidad para detectar metales y su función es verificar si el objeto es una lata para expulsarlo de la banda. Ver figura 7.

- En la segunda estación se tiene un sensor fotoeléctrico de salida PNP de la marca Omron (E3Z-LS81), el cual puede ser ajustado para detectar PET y su función es verificar si el objeto es una botella de PET para expulsarlo de la banda, ver figura 7.
- En el extremo final de la banda se tiene un sensor igual al sensor que tenemos al inicio de la banda y su función es detectar la salida de los objetos que no cumplieron con los requisitos de las estaciones 1 y 2, ver figura 7.

Los 4 sensores están conectados directamente al controlador principal.

a) Sensor de barrera. **b)** Sensor de Metal. **c)** Sensor de PET.

Figura 7. Imágenes de sensores utilizados en la banda.

Sistema de comunicación WIFI, registro de usuarios y administración del puntaje de participación.

Ante la necesidad de tener una buena gestión de base de datos, se optó por utilizar el microcontrolador ESP32 el cual cuenta con un módulo de wifi incorporado, lo que facilita la transferencia de datos con el servidor y se optó utilizar Micro Python como lenguaje de programación por sencillez y eficiencia.

Con la finalidad de apoyar el acceso a los usuarios se decidió utilizar tarjetas personalizadas con su clave de acceso por lo que se incorporó un lector de tarjetas (RFID RC522) y una pantalla para comunicarse con el usuario del avance del proceso, ambos conectados al controlador ESP32. Ver figura 8, (LucidChart. 2023).

La base de datos se diseñó con la finalidad de gestionar un sistema de seguimiento de ingresos de materiales reciclables, en el cual se registran detalles sobre los ingresos realizados por usuarios, los tipos de materiales reciclables, y la información general de los usuarios involucrados en el proceso de reciclaje, en este caso personal y estudiantes de la institución. La base de datos está compuesta por cuatro tablas principales: DETALLE_INGRESO, INGRESOS, MATERIALES y USUARIOS, (IFM, 2023).

Tabla del DETALLE_INGRESO: Almacena el detalle especifico de cada ingreso al sistema de captura de objetos. Contiene el identificador del ingreso, identificador del material de los objetos ingresados, identificador de la cantidad de objetos ingresados (la suma de los objetos del mismo material ingresados, si se metieron de diferentes materiales generara dos registros) y el identificador del usuario. Ver figura 9.

Tabla INGRESOS: Esta tabla almacena información general sobre los ingresos de materiales reciclables. Los campos incluyen: Identificador del movimiento de ingreso, fecha en la que se realizó el ingreso, total puntos obtenidos en este ingreso y el identificador del usuario. Ver figura 10.

Tabla MATERIALES: En esta tabla se almacenan los tipos de materiales reciclables. Los campos son: Identificador único del material, nombre del material, descripción del material, valor del material en términos de puntos y enlace a una imagen que representa el material. Ver figura 11.

Tabla USUARIOS: Esta tabla contiene información sobre los usuarios que realizan los ingresos. Contiene la información personal que lo identifique, como son Identificador único del usuario, número de control o etiqueta identificadora única, nombre del usuario, apellido paterno del usuario, apellido materno del usuario, rol o posición del usuario en el sistema y estado del usuario en el sistema (activo o inactivo). Ver figura 12.

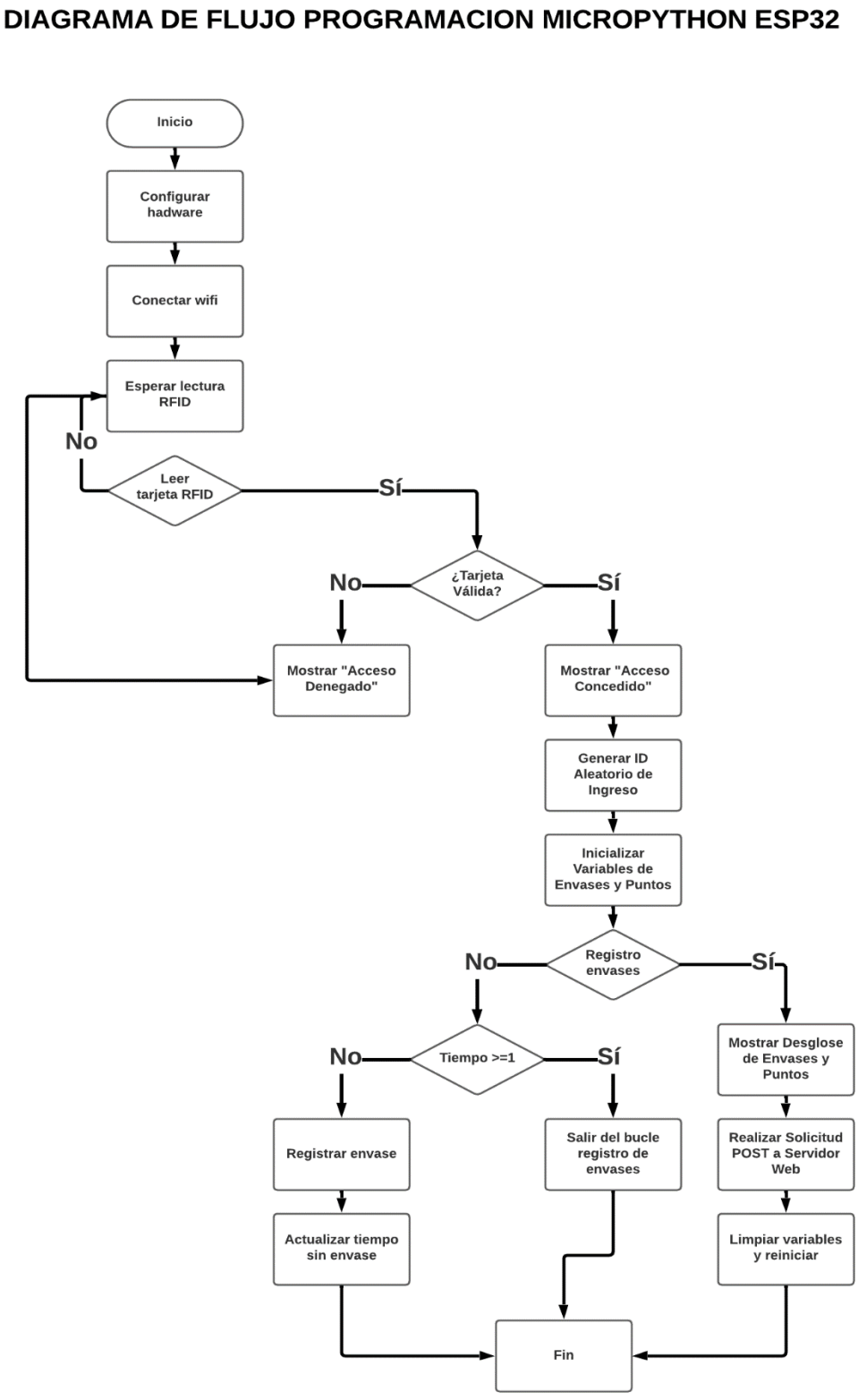


Figura 8. Diagrama de flujo del programa del microcontrolador ESP32.

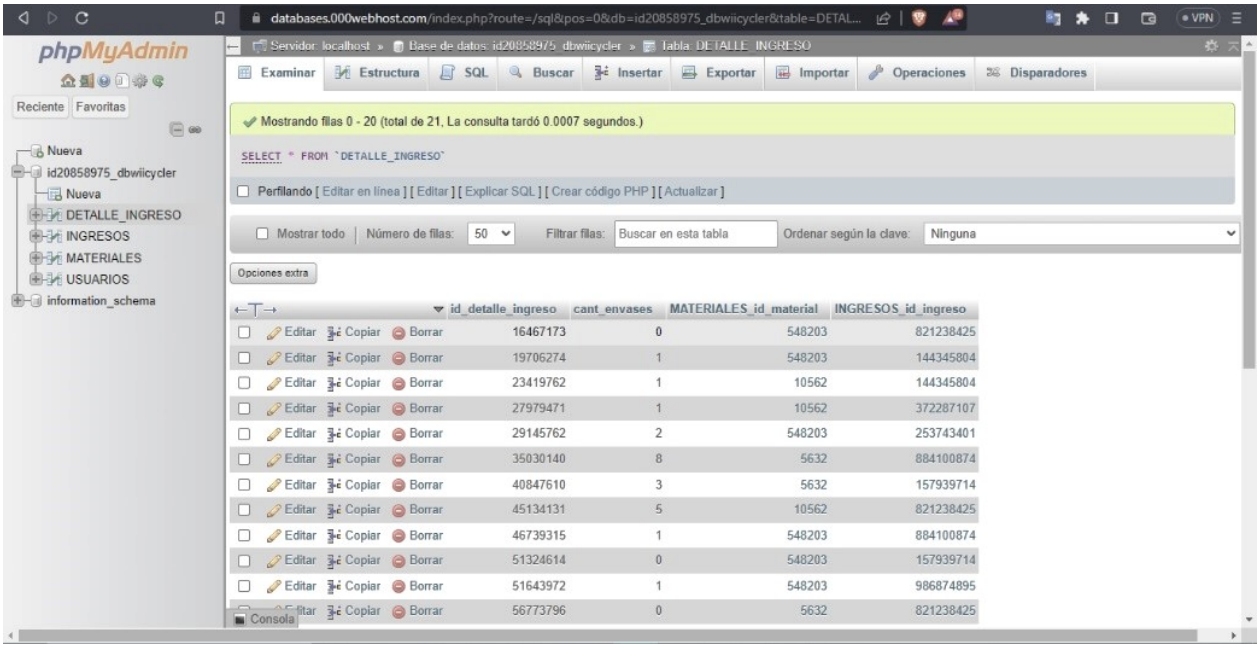


Figura 9. Tabla del detalle de ingreso.

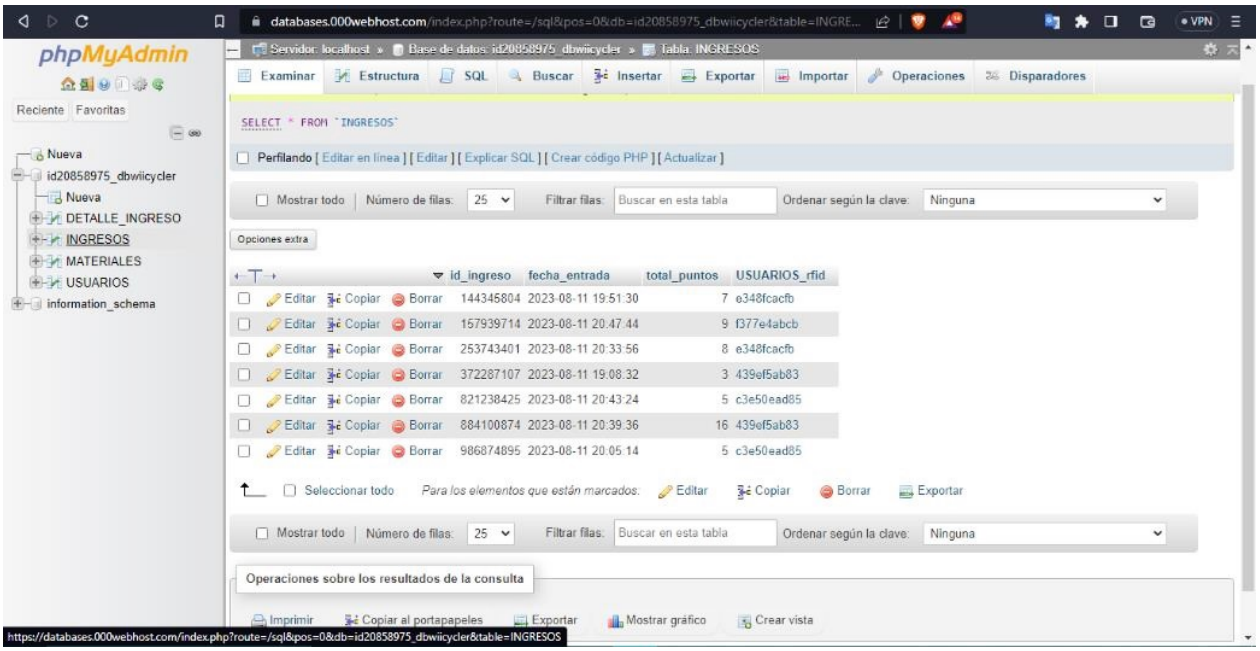


Figura 10. Tabla de ingreso.

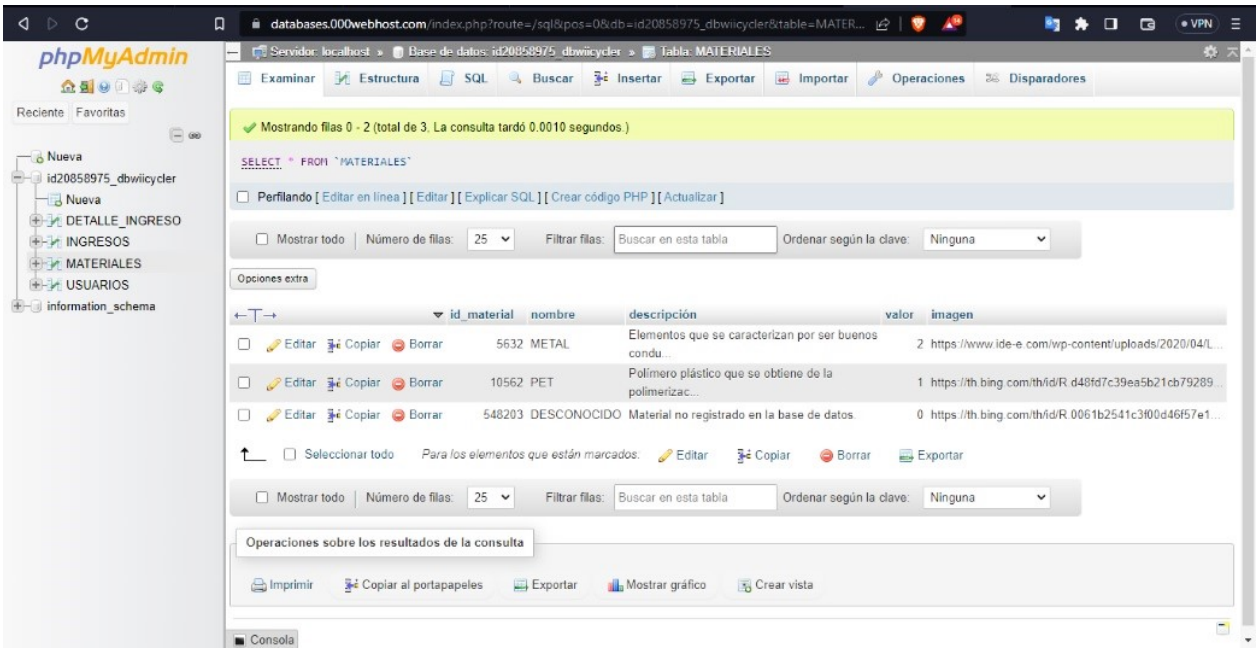


Figura 11. Tabla de materiales.

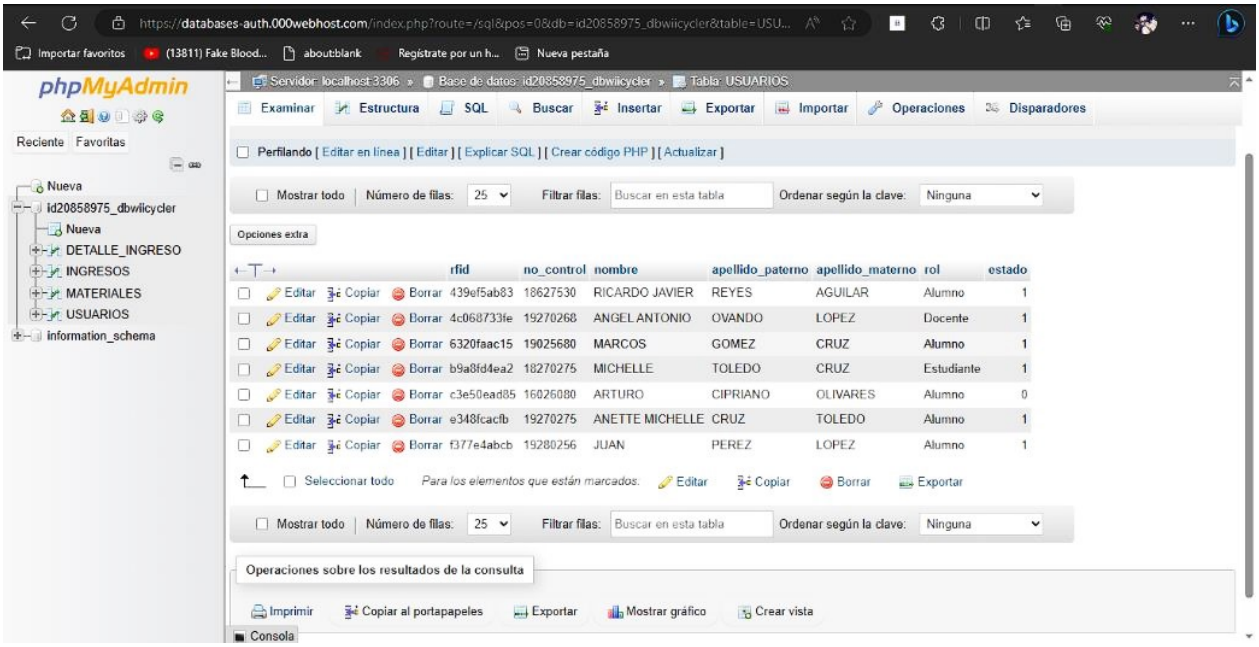


Figura 12. Tabla de usuarios.

El controlador principal es el PLC Siemens 1200.

Al controlador principal llegan 6 señales; la señal de un pulsador de inicio, la señal de un pulsador de paro, la señal del sensor de barrera al inicio de la banda (detector de objetos que entran a la banda), la señal del sensor de metal (detector de los objetos de lata que transporta la banda), en la estación para latas, la señal del sensor de PET (detector

de las botellas de PET que transporta la banda) en la estación de botellas de PET y la señal del sensor de barrera al final de la banda (detector de objetos que salen de la banda sin ser identificados).

El controlador principal entrega 7 señales; una señal para alimentar al motor de la banda y que también entra al controlador ESP32 para indicar que el sistema esta activado, una señal que entra en el Arduino nano como la señal de pulso de activación para el piñón que expulsa al objeto en la estación de latas y que también entra al controlador ESP32 para el conteo de latas, una señal que entra en el Arduino nano como la señal de pulso de activación para el piñón que expulsa al objeto en la estación de botellas de PET y que también entra al controlador ESP32 para el conteo de botellas de PET, una señal que entra al controlador ESP32 para el conteo de objetos no identificados y 3 señales que van a una torreta tipo semáforo (de colores verde, amarillo y rojo) que indica la etapa en la que se encuentra el sistema durante su funcionamiento.

Cuando activamos el sistema por medio del botón de inicio y aplicando la tarjeta del usuario la torreta se pone en rojo y el sistema se activa, al introducir el objeto por la ventanilla y este es detectado por el sensor de barrera al inicio de la banda, el motor se activa y la torreta se pone en verde, cuando el objeto es reconocido por alguno de los sensores de las estaciones de trabajo (metal o PET) el motor se detiene, la torreta se pone en amarillo y el piñón correspondiente sale a quitar el objeto de la banda, posteriormente el piñón regresa y el motor se activa para que los objetos que han sido introducidos alcancen las estaciones de trabajo. Si después de un tiempo predefinido no se introduce mas objetos, el motor se desactiva, la torreta se pone en rojo y el controlador ESP32 cierra el conteo, transmite la información y cancelando al usuario. Aunque el sistema sigue activado es necesario aplicar nuevamente una tarjeta de usuario para que, al meter un objeto a la banda, el motor vuelva a activarse, la torreta ponerse en verde e iniciamos de nuevo Ver la figura 15, (LucidChart. 2023).

En esta etapa también fue necesario diseñar e imprimir diferentes componentes de apoyo, como son; Un shell para una conexión automática entre el ESP32, el Arduino nano y una serie de reguladores de 24 V cd. a 5 V cd. para el motor y de 24 V cd. a 3.3 V cd. para acoplamiento de la señal que sale del controlador principal (Plc Siemens 1200) al controlador ESP32, una carcasa para el lector de tarjetas, etc. Ver figuras 13 y 14, (SolidWorks. 2023).

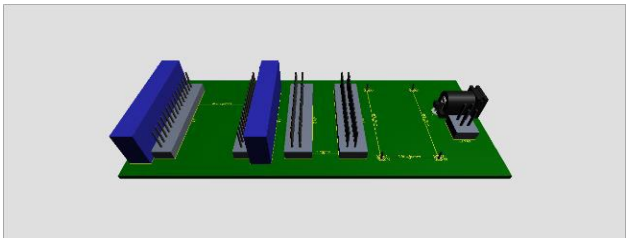


Figura 13. Shell para el ESP32 – Arduino nano – Reguladores de voltaje.

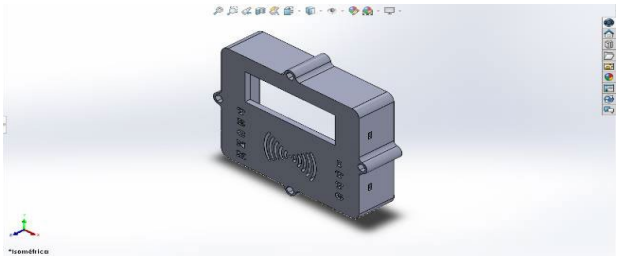


Figura 14. Carcasa para el RFID RC522.

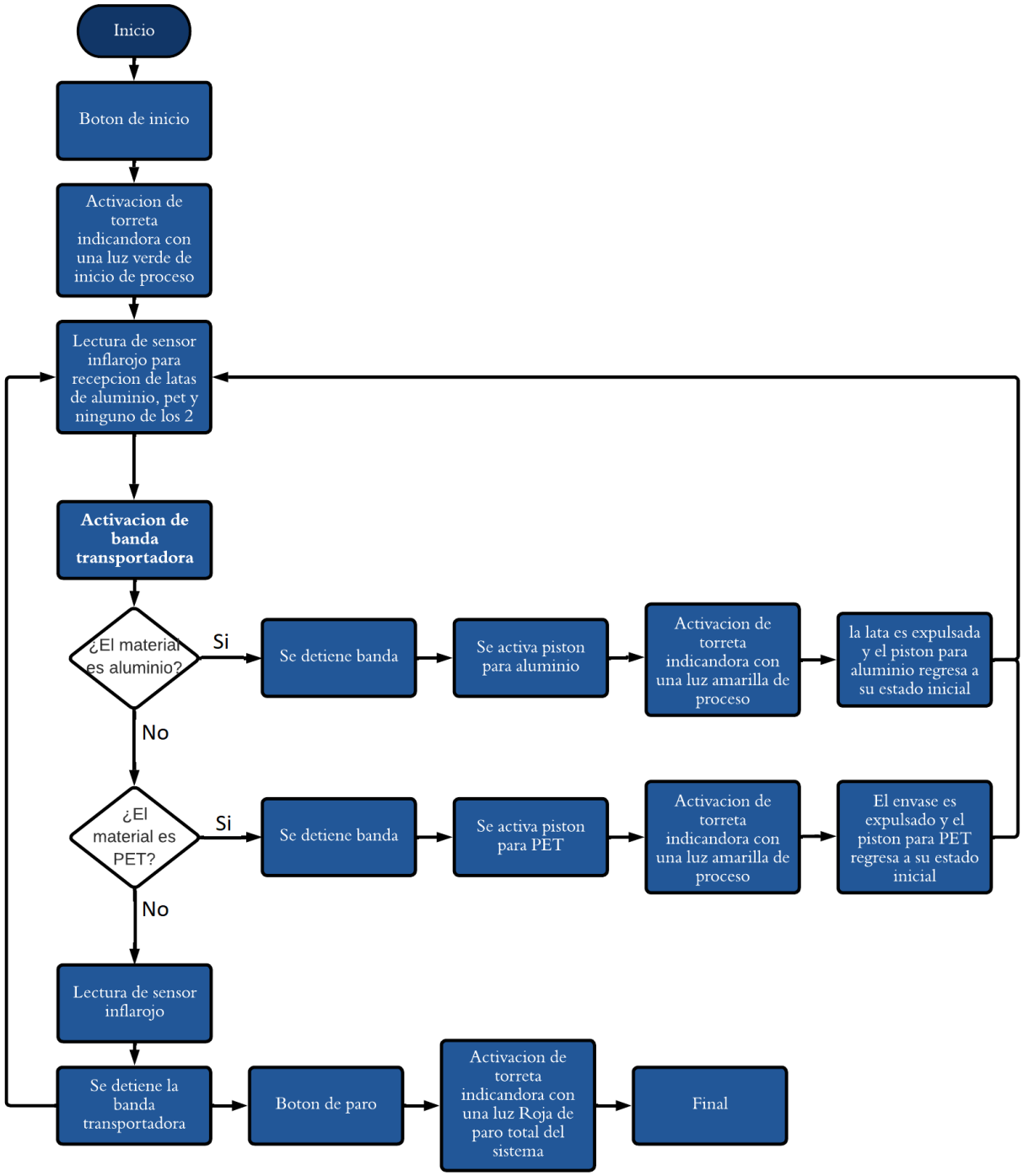
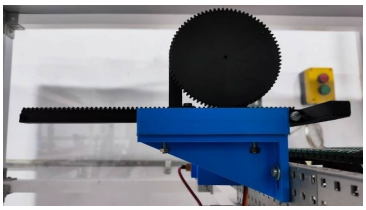


Figura 15. Diagrama de flujo del programa del controlador principal (PLC Siemens 1200).

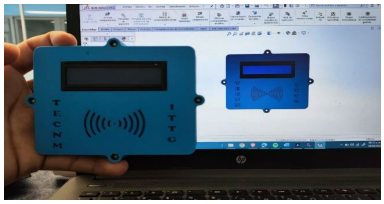
3. Desarrollo.

Teniendo los diseños se inició la impresión y ensamble de los actuadores lineales, la carcasa del RFID RC522, el Shell para el ESP32-Arduino, los rieles de la banda, los columpios de cada estación y las demás piezas de acoplamiento que fuero necesitándose.



1) Actuador lineal.

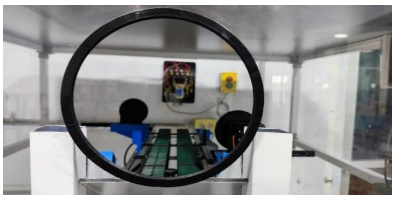
2) Shell ESP32-Arduino.



3) Carcasa del RFID RC522.

Figura 16. Impresiones de piezas de ensamblaje.

Se continuó con la caja de acrílico que soportará el sistema completo y la banda transportadora, haciendo adecuaciones necesarias; figura 17.



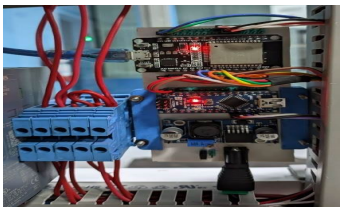
1) Construyendo la caja.

2) Construyendo la rampa.

3) Colocando las bases de sensor.

Figura 17. Construyendo la caja y la banda.

Ensamblando del sistema completo y haciendo las adecuaciones necesarias; figura 18.



1) Ensamblado el Shell.

2) Instalando y Conectando el PLC.

3) Sistema completo.

Figura 18. Ensamblando el sistema completo.

Una vez que teníamos funcionando el sistema completo del clasificador de latas y botellas de PET se realizaron los diagramas eléctricos de los elementos más significativos del sistema. Ver figura 19a y 19b.

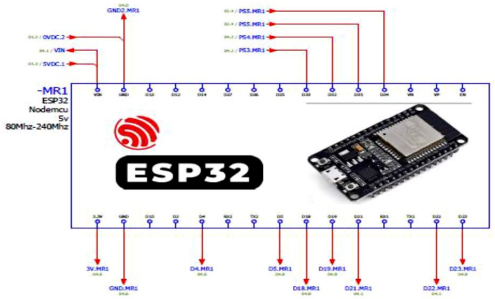
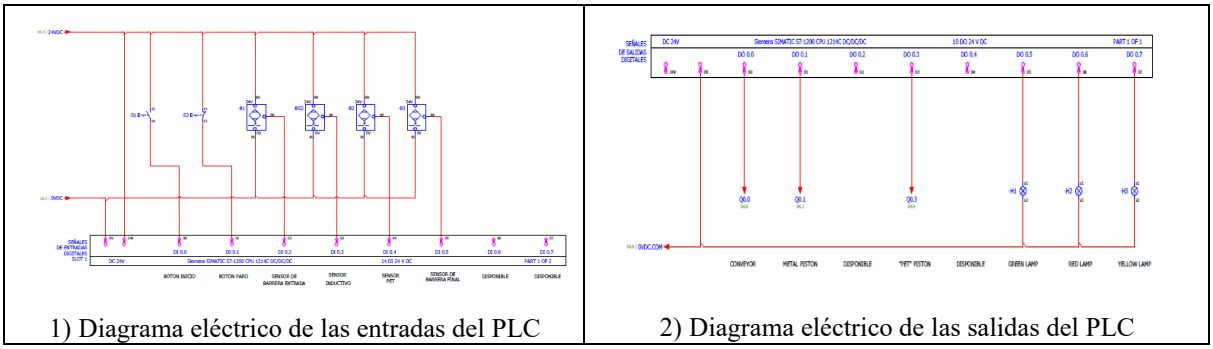


Figura 19a. Diagrama eléctrico de conexión del Esp32.



1) Diagrama eléctrico de las entradas del PLC

2) Diagrama eléctrico de las salidas del PLC

Figura 19b. Diagrama eléctrico de conexión del PLC.

Por ultimo se generó el esquema eléctrico del sistema, para mayos comprensión y mantenimiento.

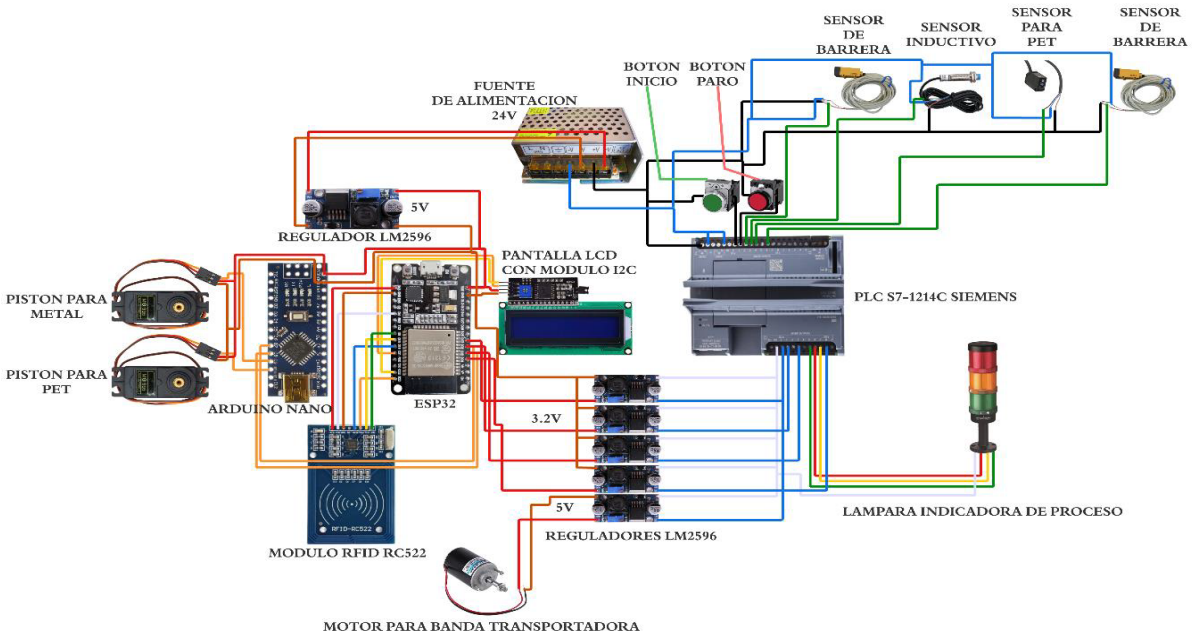


Figura 20. Esquema eléctrico del sistema.

Conclusiones.

Se concluyó el proyecto exitosamente, durante el periodo considerado, En este proyecto, se diseñó un sistema innovador que automatiza la clasificación de envases y latas mediante un PLC Siemens 1200 y registra a los usuarios utilizando un módulo ESP32 programado en MicroPython. Este sistema ofrece una solución eficiente y precisa para separar diferentes tipos de materiales, como metal y PET, contribuyendo al reciclaje y la gestión sostenible de residuos.

La interacción entre sensores y actuadores controlados por el PLC garantiza que cada envase sea reconocido y procesado según su composición. Los usuarios se registran fácilmente a través de tarjetas RFID, y el sistema les asigna puntos según los materiales que introduzcan. Estos datos se almacenan en una base de datos centralizada, accesible a través de una plataforma web, lo que permite un seguimiento transparente de los ingresos y fomenta la participación de los usuarios en prácticas ecológicas.

Propuesta de mejoras:

- En esta fase de desarrollo el proyecto no incluye del todo manejo de errores ni medidas de seguridad, por lo que en una fase de implementación posterior se debería considerar añadir estas características para garantizar un funcionamiento adecuado y seguro.
- Diseñar una interfaz gráfica atractiva e intuitiva para el usuario.
- Añadir catálogo de premios a canjear que permitan dar a conocerlos para promover la participación y con ello el desarrollo de competencias en el ámbito ecológico de los usuarios.

Referencias bibliográficas.

Basco, A. I., Beliz, G., Coatz, D., & Garnero, P. (2018). Industria 4.0: fabricando el futuro. https://doi.org/10.18235/0001229.

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

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

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

SolidWorks. (2023). Qué es y para qué sirve Solidworks. Recuperado 01 de Agosto de 2023, https://solid-bi.es/solidworks/.

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.

Joel Gómez Pérez, es Ingeniero en Electrónica por el Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez (ITTG), graduado en 2005; Maestro en Ciencias en Ingeniería Mecatrónica por el Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez (ITTG), graduado en 2013. Ha colaborado con diversas universidades; entre ellas la Universidad del Valle de México, Universidad Politécnica de Chiapas (UPCH) en el área de Ingeniería Mecatrónica, Biomédica, Energía; entre otros. Actualmente es profesor de tiempo completo en el Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez desde 2010. Es profesor con perfil deseable PRODEP desde 2017 y jefe de laboratorio de Física en el departamento de Ciencias Básicas.

Christian Giovanni Rodríguez De La Cruz es estudiante de octavo semestre de Ingeniería en Electrónica por el Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez (ITTG). Ha realizado diversos proyectos como parte de su formación, actualmente se encuentra participando en el proyecto “Sistema Receptor y Clasificador de botellas y latas con registro de usuarios vía wifi.” como residente. Está Certificado en SolidWorks Associate.

Sistema SCADA con software *Ignition* para monitoreo y registro de parámetros críticos de un motor de inducción trifásico.

SCADA system with Ignition software for monitoring and recording of critical parameters of a three-phase induction motor.

Aldo Esteban Aguilar Castillejos* (1).
Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez.
aldo.ac@tuxtla.tecnm.mx.

Osbaldo Ysaac García Ramos (2). I. T. de Tuxtla Gutiérrez, ogarcia@tuxtla.tecnm.mx.

José Ángel Zepeda Hernández (3). I. T. de Tuxtla Gutiérrez, jzepeda@tuxtla.tecnm.mx.

Vicente León Orozco (4). I. T. de Tuxtla Gutiérrez, vicente.lo@tuxtla.tecnm.mx.

Carlos Ramón Alfonzo Santiago (5). I. T. de Tuxtla Gutiérrez, carlos.as@tuxtla.tecnm.mx.

Marcos Josafat Gómez Cruz (6). Estudiante del I. T. de Tuxtla Gutiérrez, l19270263@tuxtla.tecnm.mx.

*corresponding author.

Artículo recibido en noviembre 14, 2023; aceptado en diciembre 07, 2023.

Resumen.

Este articulo presenta el diseño e implementación de un sistema para visualizar y almacenar las variables críticas de un motor de Inducción Trifásico en un sistema SCADA diseñado en la plataforma Ignition de Inductive Automation el monitoreo y registro de variables está integrado por subsistemas que permiten establecer una comunicación mediante industrial Ethernet, I/O Link y OPC/UA. Se consideran las variables de temperatura de armadura, velocidad de rotación, vibración/choque y torque ejercido por el motor de inducción. La finalidad de obtener estos datos mediante sensores industriales es compararlos con valores de condiciones de operación normal y bajo estrés, para tomar decisiones sobre el funcionamiento del equipo, mismos que repercuten en la eficiencia, factor de potencia y otras fallas que puedan presentarse en los motores de inducción trifásicos.

Palabras claves: *Ignition*, *IO link*, motor de inducción, SCADA.

Abstract.

This article presents the design and implementation of a system for visualizing and recording the critical variables of a three-phase induction motor in a SCADA system designed on the Ignition platform by Inductive Automation. The monitoring and logging of variables are integrated by subsystems that allow establishing communication through industrial Ethernet, I/O Link, and OPC/UA. The considered variables include armature temperature, rotation speed, vibration/shock, and torque exerted by the induction motor. The purpose of obtaining this data through industrial sensors is to compare them with values of normal operating conditions and under stress, in order to make decisions

about the equipment's operation, which impact efficiency, power factor, and other faults that may occur in three-phase induction motors.

Keywords: Ignition, induction motor, IO link, SCADA.

1. Introducción.

Gracias a la digitalización de los procesos productivos, la Industria ha sido capaz de administrar y controlar cada etapa de la producción sin la intervención continua de un ingeniero.

Los sistemas SCADA potencian todo el aspecto de gobernanza y gestión dentro de la automatización industrial. Gracias a este tipo soluciones, se pueden supervisar o controlar las diferentes métricas que afectan al funcionamiento de la planta. En la actualidad, la tecnología SCADA ha desarrollado diferentes versiones mediante las que se pueden controlar y supervisar todo el proceso industrial. Se trata de los sistemas PLC o DCS, que se pueden combinar mediante una red Ethernet (Martínez, Sergio. 2017).

Las innovaciones tecnológicas de los próximos años podrían permitir la automatización de una gran cantidad de tareas en los procesos productivos, lo cual afectaría, a su vez, la composición y los niveles del empleo, así como sus remuneraciones. McKinsey (2017) estima que la automatización podría afectar hasta un 10% de la población ocupada en México para el año 2030. Usando sistemas SCADA, las organizaciones pueden controlar sus procesos industriales tanto local como remotamente, e interactuar directamente con componentes como motores, bombas y sensores desde el panel de una ubicación centralizada. A veces, estos sistemas pueden controlar los equipos automáticamente basándose en los datos que se recopilan. Los sistemas SCADA también permiten a las organizaciones monitorizar y realizar informes de sus procesos a partir de datos en tiempo real y archivar estos datos para su posterior procesamiento y evaluación (Copadata, 2022).

Dado que el mantenimiento predictivo es el que más beneficios reporta a la industria automatizada. Las empresas tratan de optimizar la función de mantenimiento con la finalidad de conseguir los mayores niveles de disponibilidad y fiabilidad al menor coste posible mediante la combinación de estrategias correctivas, preventivas y predictivas. De ahí las grandes oportunidades de mejora que todavía existen en el área de mantenimiento (GDM news, 2021).

Por ello, es fundamental que el sector educativo impulse la formación de habilidades y competencias enfocadas a la automatización y sistemas SCADA para generar herramientas predictivas y mejorar el mantenimiento, para facilitar una inserción exitosa de los egresados a los diferentes sectores laborales y empresariales, sobre todo en las regiones más rezagadas del país en cuanto al nivel de capital humano de su población.

2. Métodos.

Para la realización del diseño e implementación del sistema SCADA, se siguieron las siguientes etapas:

Investigación y análisis sobre el software Ignition: Un estudio exhaustivo de los temas para la correcta configuración y establecimiento de la comunicación industrial entre el PLC y los sensores que se utilizarán en el sistema de monitoreo.

Diseño y configuración de la red industrial Profinet con IO-Link: Se desarrollará la red industrial PROFINET del sistema, considerando los datos de los sensores y el maestro IO-Link, cableado, conectores y configuración del PLC, tomando como referencia el trabajo presentado por (García, 2022); adecuando toda esta información para el software Ignition.

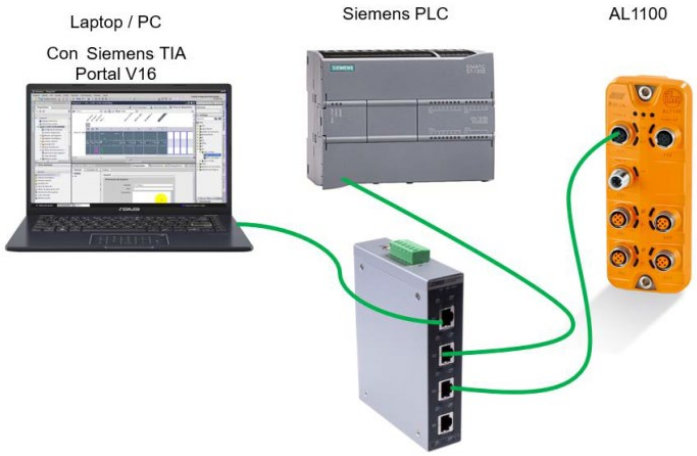


Figura 1. Red Profinet y conexión IO-Link (García, 2022).

Diseño de sistema SCADA con la plataforma Ignition de Inductive Automation mediante OPC/UA: A partir de la información que se obtiene de la etapa 2, se realizará el diseño de la interfaz para el monitoreo de variables desde el software Ignition.

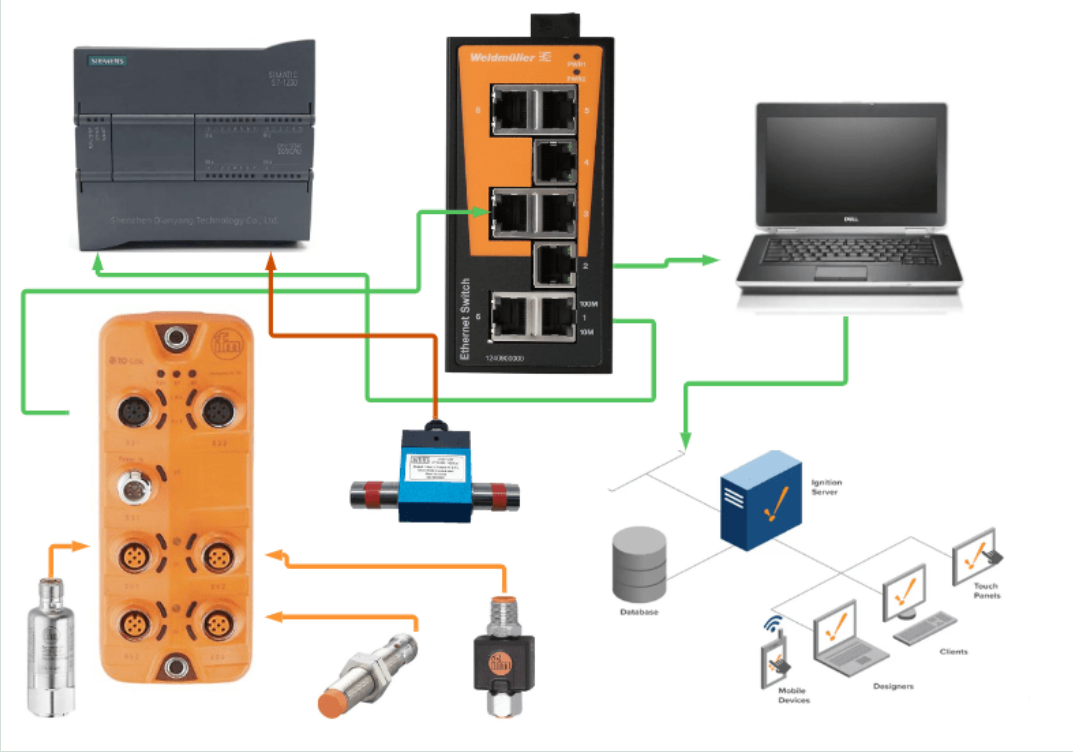


Figura 2. Arquitectura estándar de la plataforma Ignition, OPC/UA y conexión del sistema (elaboración propia).

3. Desarrollo.

Utilizando la información recopilada de la investigación bibliográfica, se optó por tomar como referencia el trabajo presentado por (Aguilar, 2022) en donde se presentó el diseño y construcción de un banco de pruebas de motores de inducción utilizando sensores industriales de temperatura, velocidad y vibración, cuyos parámetros son transmitidos mediante una interfaz IO-Link a un Controlador Lógico Programable S7-1200 Siemens.

Diseño y configuración de la red industrial Profinet con IO-Link.

La configuración de la red fue realizada con el procedimiento descrito por (García, 2022), utilizando un Switch Ethernet para la conexión del PLC con el Master IO-Link de la marca IFM 1300; se contemplaron los direccionamientos IP que utilizan clase C IP para el PLC y el maestro IO-Link, con las direcciones sugeridas como una IP fija en la computadora (192.168.0.30), en el PLC (192.168.0.10) y en el maestro IO-Link (192.168.0.11). El diseño de la red PROFINET presentado en dicho procedimiento es el siguiente:

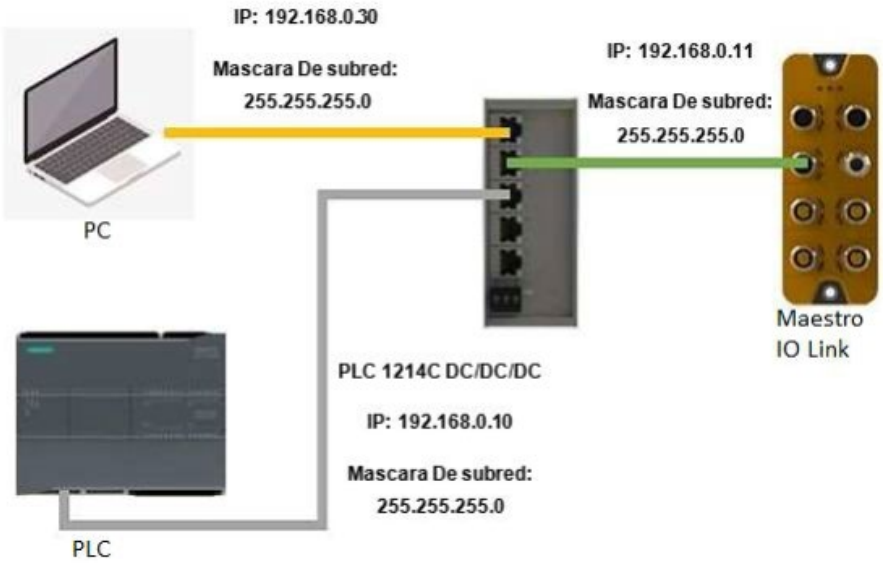


Figura 3. Red PROFINET (García, 2022).

Estableciendo las direcciones de acuerdo con la siguiente tabla:

Tabla 1. Direcciones IP y máscaras de subred.

Dispositivo	Dirección IP	Máscara de subred
PC	192.168.0.30	255.255.255.0
PLC	192.168.0.10	255.255.255.0
Master IO-Link	192.168.0.11	255.255.255.0

Diseño de sistema SCADA con la plataforma Ignition de Inductive Automation mediante OPC/UA.

Para establecer comunicación del controlador a Ignition, al instalar el software se selecciona de forma predeterminada el módulo OPC/UA. Para dar paso a esto, se ingresa a la aplicación web que está en el navegador, http://localhost:8088.

Desde este entorno se configura la puerta de enlace, seleccionando en configuración e iniciando sesión, dirigiéndose a Config>OPC UA>Devices. Para agregar una nueva conexión de dispositivo, se da click en el vínculo “crear nuevo dispositivo”, donde se seleccionará el controlador a utilizar, en el caso de este proyecto: Siemens S7-1200.

Para la conexión es importante declarar el Hostname como la dirección IP del PLC y el Local Address que es la IP de la computadora.

Con esto realizado, se pueden comenzar las pruebas de diseño de la aplicación SCADA, ejecutando el Designer Launcher. El lanzador explorará y enumerará todas las puertas de enlace disponibles que estén en la red. Seleccionando el localhost y Agregando el diseñador.

Al añadir el diseñador, se creará un nuevo proyecto con los datos pertinentes, en donde fue seleccionado “opcua-module” como configuración de conexión. Una vez creado, se podrá comenzar a diseñar en Perspective o Vision desde la interfaz del diseñador, como se muestra en la figura 4.

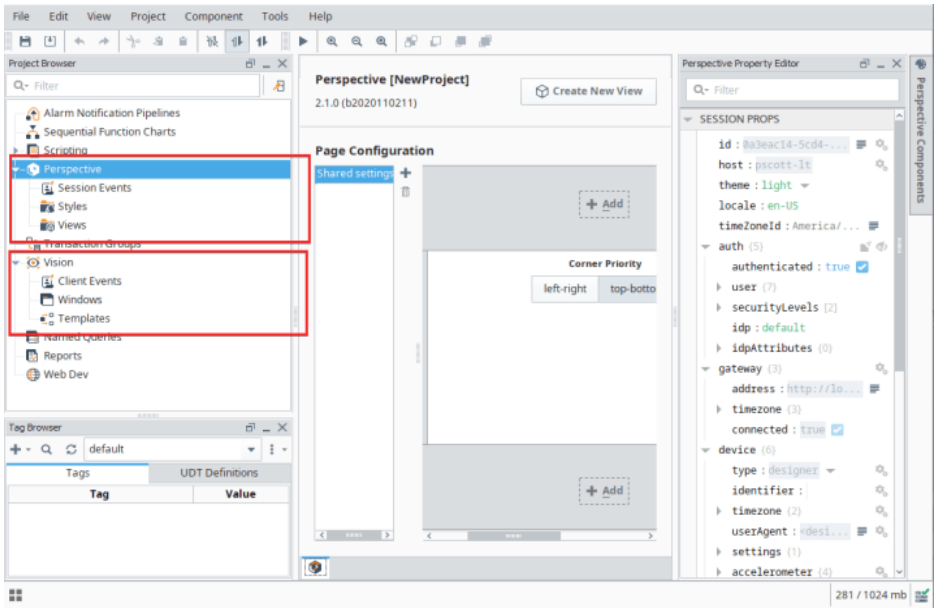


Figura 4. Interfaz de diseño de Ignition Designer (Perspective, Vision).

En *Perspective*, se agregan componentes a las vistas. En Vision, se agregan componentes a Windows. Para hacer las pruebas de lectura y adquisición de datos es necesario comenzar a diseñar en Vision, creando una ventana para una interfaz hombre-máquina interactiva, mediante el explorador de proyectos y seleccionando en Windows, asignando un nombre a la ventana (PRUEBA DE LECTURA).

Para la creación de Tags (Etiquetas) en Tag Browser, mediante en el ícono “+”. Donde es posible crear carpetas para llevar de manera ordenada los Tags de control-conexión y lectura de cada sensor.

Figura 5. Creación de carpetas para organización de Tags.

Para elegir el tipo de Tag se selecciona New Standard Tag en donde nos aparecerán los tipos de etiquetas que se pueden utilizar, por ejemplo, OPC Tag.

La creación de las etiquetas requiere de dos elementos importantes, que deben considerarse de acuerdo con estas directrices:

- OPC Server: Selección del protocolo de comunicación que se utiliza, siendo Ignition OPC UA Server.
- OPC Item Path: La ruta de acceso al registro del PLC, la nomenclatura especifica del PLC de la marca SIEMENS, requiere uso de corchetes con el nombre de la conexión que se estableció en la configuración del localhost del PLC, seguido de la dirección de etiqueta que sería donde está la variable, por ejemplo [nombre del dispositivo]IW60.

Para la creación de la TAG de conexión (CONNECTION), se utilizaron las siguientes propiedades:

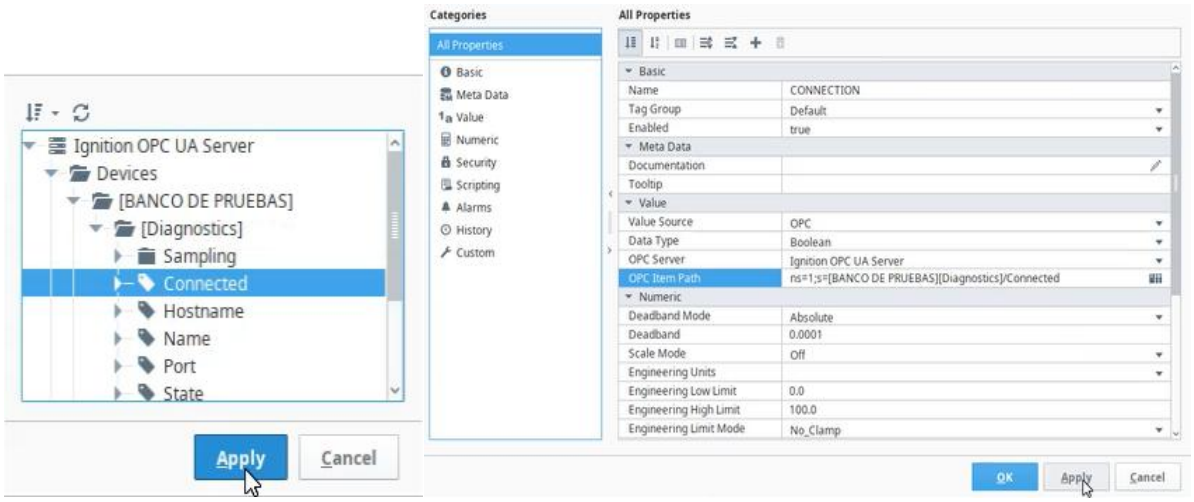


Figura 6. Creación del Tag CONNECTION y sus propiedades.

Para incluir la IP del dispositivo en OPC Item Path damos un click y desplegamos Ignition OPC> Devices> BANCO DE PRUEBAS> Diagnostics, damos click en Hostname y click en Apply.

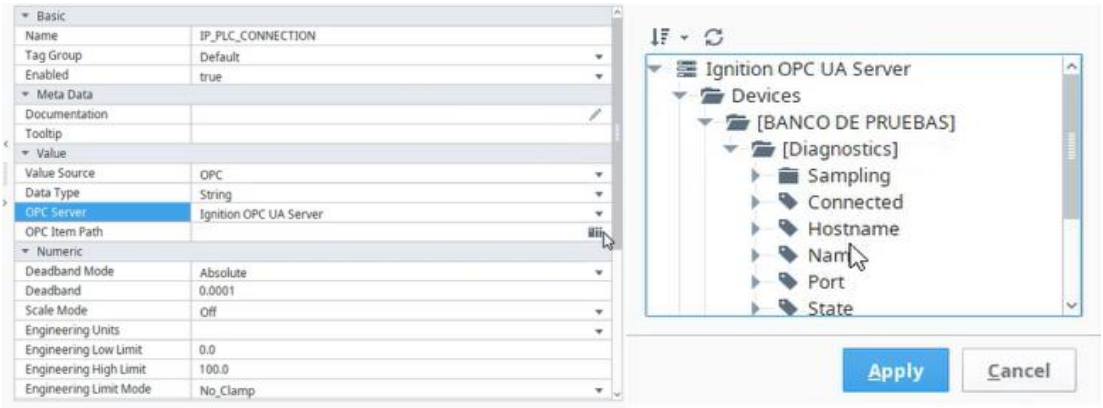


Figura 7. Configuración de la etiqueta IP_PLC_CONNECTION.

Abrir la carpeta de control y conexión aparecerá la nueva etiqueta creada.

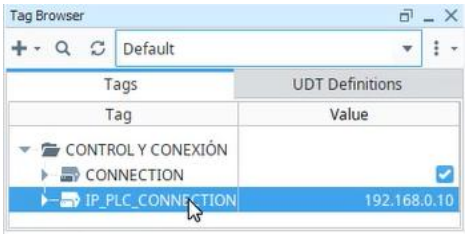


Figura 8. Visualización de la etiqueta IP_PLC_CONNECTION.

Se siguió el mismo procedimiento para crear las etiquetas necesarias, siguiendo el ejemplo de la etiqueta de IP_PLC_CONNECTION.

En el explorador de proyectos se abre la ventana PRUEBA DE LECTURA creada anteriormente para la visualización de las Tags, click en la etiqueta CONNECTION y se arrastra a la hoja de visualización.

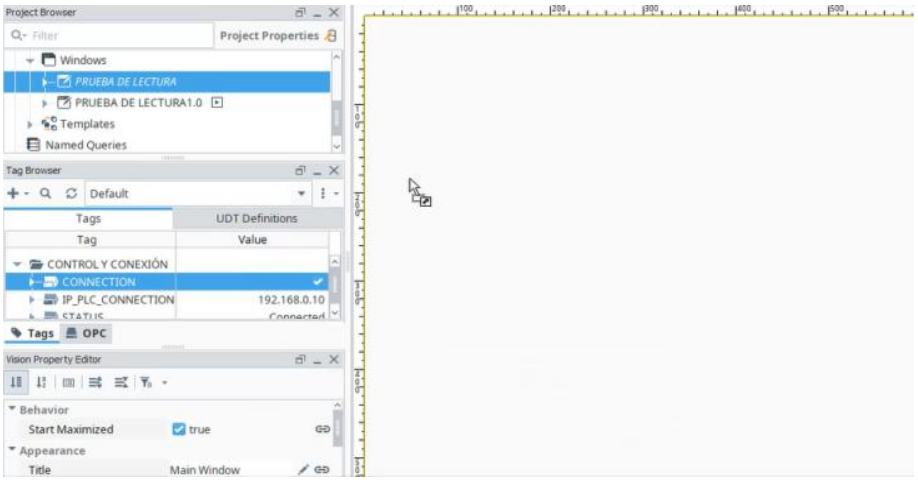


Figura 9. Añadiendo las TAGS a la hoja de visualización.

Al soltar arrojará una ventana que indicará como se quiere visualizar nuestra etiqueta, eligiendo un Display> Multistate Indicator.

Figura 10. Tipo de indicador.

De forma similar se crearon las etiquetas de control del motor, START, STOP, GIRO, STOP_GIRO, SENTIDO_HORARIO, SENTIDO_ANTIHORARIO:

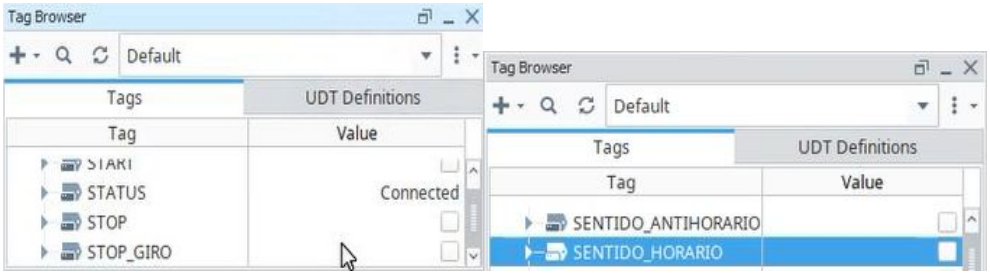


Figura 11. Creación de las etiquetas START, STOP, GIRO, STOP_GIRO, SENTIDO_HORARIO, SENTIDO_ANTIHORARIO.

En el menú principal, se selecciona “Components” para agregar los botones de control y agregarlos a la interfaz:

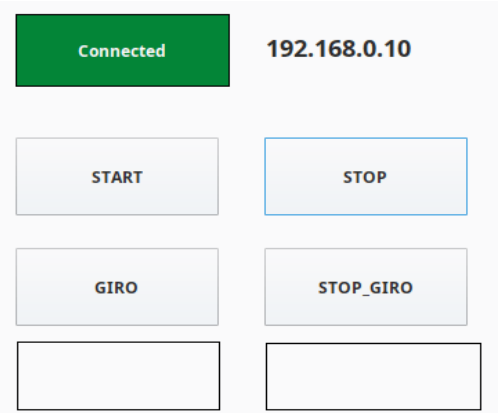


Figura 12. Botones de control en la interfaz.

La visualización de los diversos sensores puede ser personalizada al gusto del usuario, por lo que se presentará el procedimiento para añadir en la interfaz el sensor de temperatura TP3231 de la marca ifm efector, añadiendo a la ventana principal mediante “Components”/Thermometer e insertando el ícono:

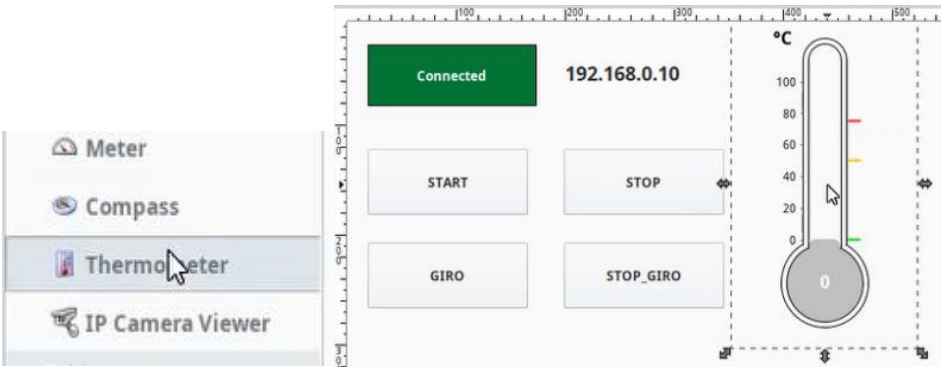


Figura 13. Inserción del indicador para medición de temperatura.

Y a su vez es posible insertar un "Numeric Label", para indicar numéricamente el valor de temperatura.

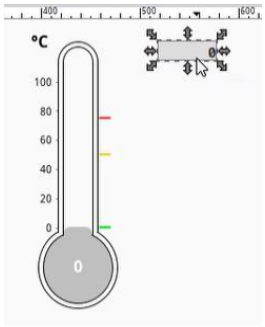


Figura 14. Indicador numérico para la lectura de temperatura.

La creación de la etiqueta del sensor de temperatura TP3231, maneja las direcciones como entrada (Input) tipo palabra (Word) (IW) que corresponden con los datos que manda el PLC en la dirección del sensor de temperatura IW68. Esto creando de manera previa una carpeta dentro de los Tags que únicamente incluya las variables de este dispositivo.

Tabla 2. Datos para la etiqueta TEMPERATURA_TP3231.

Name	TEMPERATURA_TP3231
Value Source	OPC
Date Type	Float
OPC Server	Ignition OPC UA Server
OPC ítem Path	[BANCO DE PRUEBAS]IW68

En el explorador de etiquetas podemos ver la lectura que nos está arrojando.

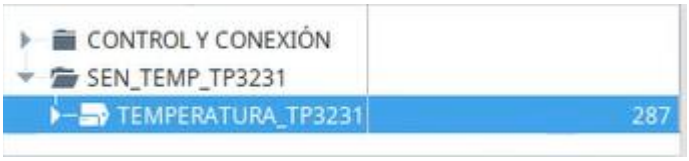


Figura 15. Visualización de la etiqueta creada TEMPERATURA_TP3231.

Al revisar el datasheet del sensor se indica que es necesario multiplicar por una gradiente de 0.1, entonces en Ignition debe crearse una etiqueta de expresión para hacer esta operación.

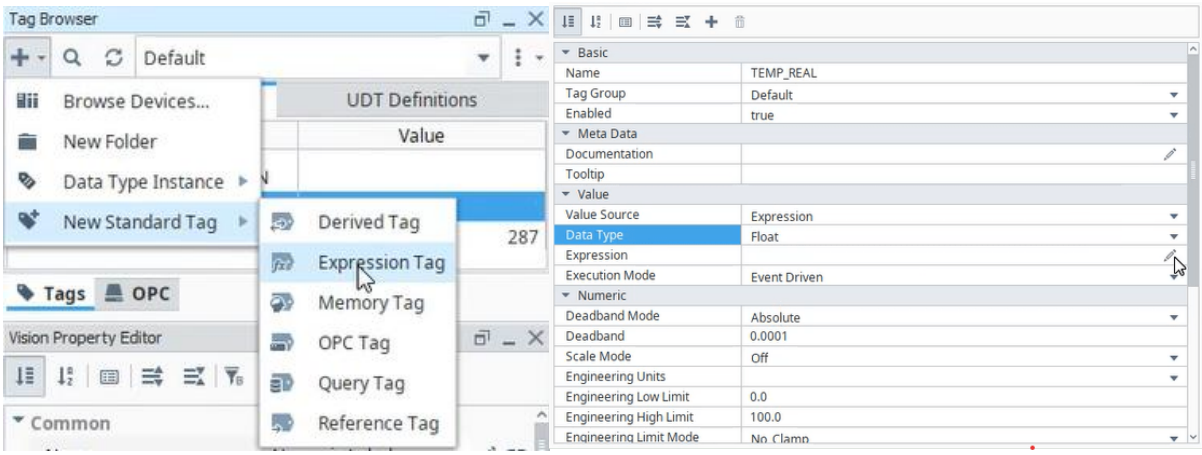


Figura 16. Proceso de creación de una Expression Tag para agregar la gradiente.

Para modificar la expresión, se selecciona el símbolo de lápiz, agregando "+" una operación "Mathematical", copiando previamente la etiqueta del sensor de temperatura (dar click en Copy path) e introducirlo entre los signos de llave, multiplicando finalmente por la gradiente:

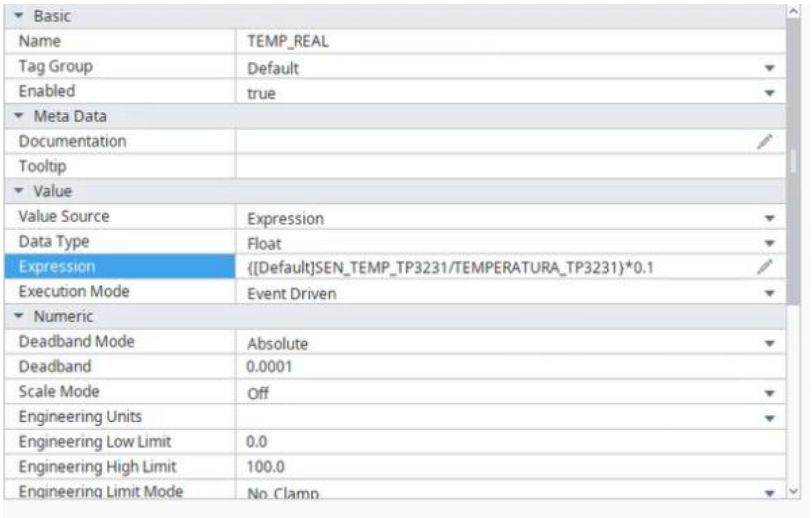


Figura 17. Creación de la etiqueta TEMP_REAL con Expression Tag.

Como paso final, se selecciona la etiqueta creada y se arrastra hacia el termómetro y el indicador numérico, quedando de la siguiente forma:

Figura 18. Visualización de lectura del sensor de temperatura (TP_3231).

El procedimiento presentado se repite para cualquier variable que pueda obtenerse de los sensores restantes, presentándose en la Tabla 3 las que fueron asignadas a ellos, omitiendo los parámetros extras que incluyen dichos dispositivos (p.e. Fatiga, Cresta, Fricción, etc):

Tabla 3. Datos para la etiqueta TEMPERATURA_TP3231.

Name	VELOCIDAD	VIBR_CHOQUE
Value Source	OPC	OPC
Date Type	Float	Float
OPC Server	Ignition OPC UA Server	Ignition OPC UA Server
OPC ítem Path	[BANCO DE PRUEBAS]IW104	[BANCO DE PRUEBAS]IW75

La interfaz SCADA de prueba de los sensores se presenta en la figura siguiente, con lo que se cotejaron los valores leídos con respecto a los que fueron obtenidos de cada uno de los dispositivos.

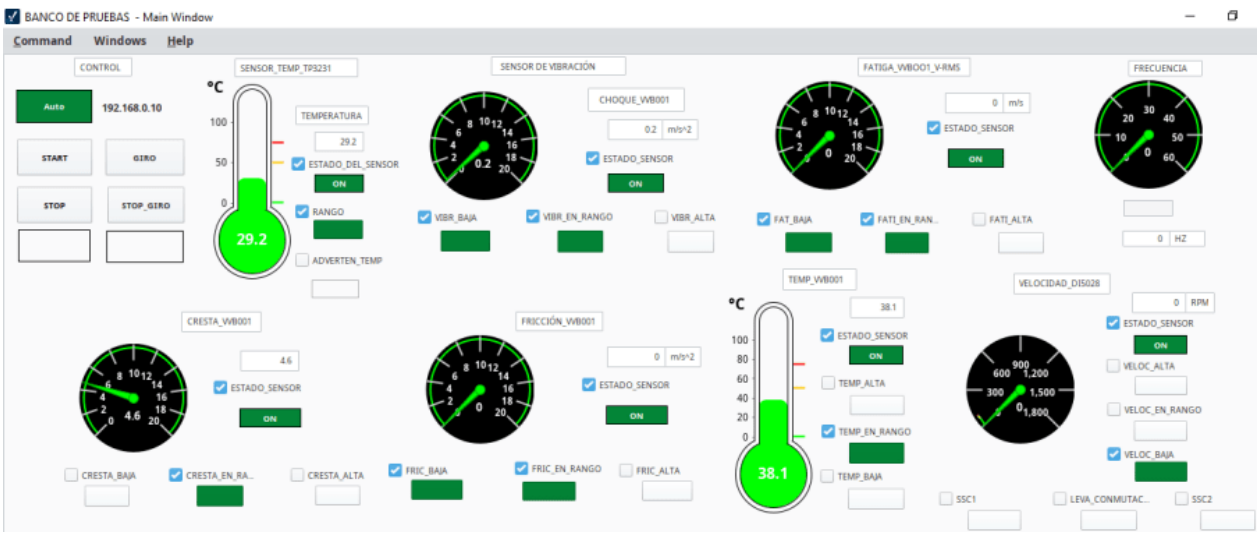


Figura 19. Interfaz de prueba de sensores de temperatura, vibración y velocidad (SCADA)**.**

Resultados.

Con la ejecución de los procedimientos previamente descritos se efectuó la edición pertinente de cada indicador y creación de la interfaz, para poder visualizar de manera adecuada cada uno de los parámetros.

El diseño final del sistema cuenta con 10 secciones y 9 subsecciones de navegación, los cuales pueden visualizarse en la figura 20.

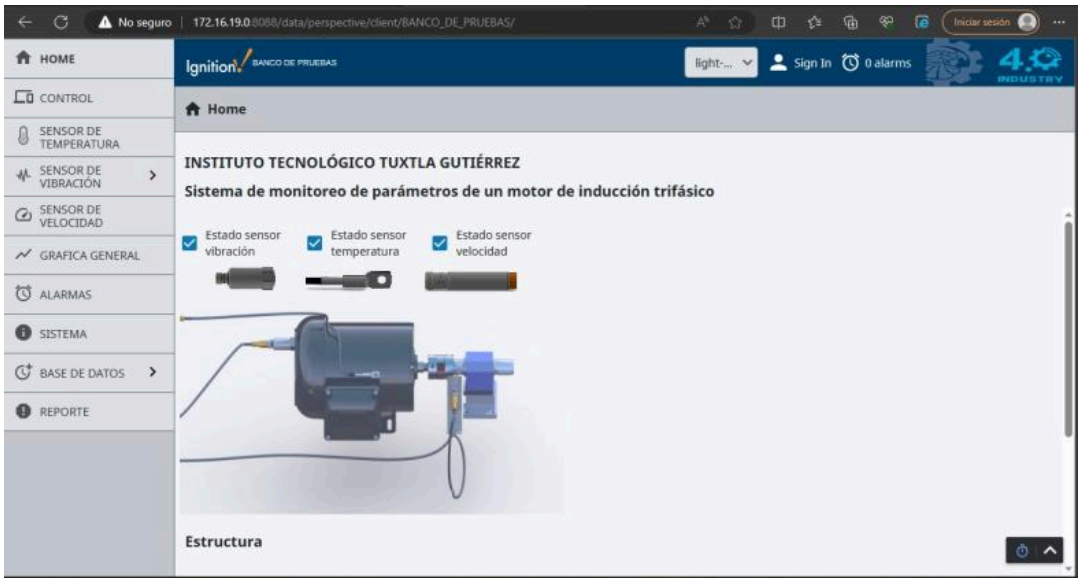


Figura 20. Interfaz SCADA en Ignition para el monitoreo de parámetros de un motor de inducción trifásico.

Dentro de la sección de CONTROL es posible iniciar o detener el funcionamiento del motor de manera precisa, permitiendo gestionar las operaciones de manera efectiva según los requerimientos específicos del proceso industrial (sentido de giro, frecuencia, arranque y paro).

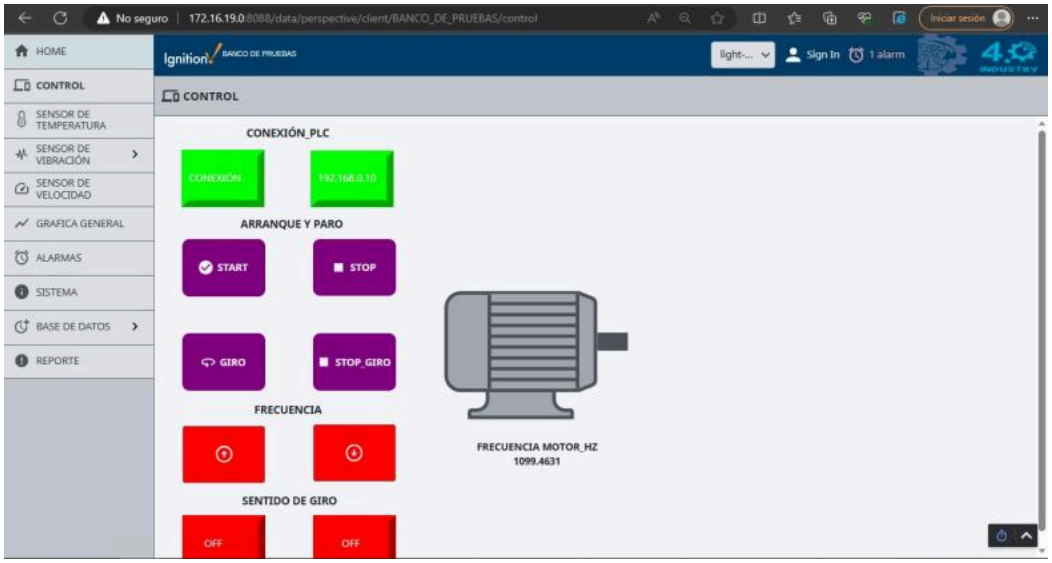


Figura 21. Visualización de la sección de CONTROL en el sistema SCADA.

Cada parámetro crítico cuenta con secciones específicas para la visualización de información, como el SENSOR DE VELOCIDAD que es presentado en la Figura 22, incluyendo la velocidad del eje del motor en RPM y la frecuencia de control (Hz) que recibe mediante el sistema.

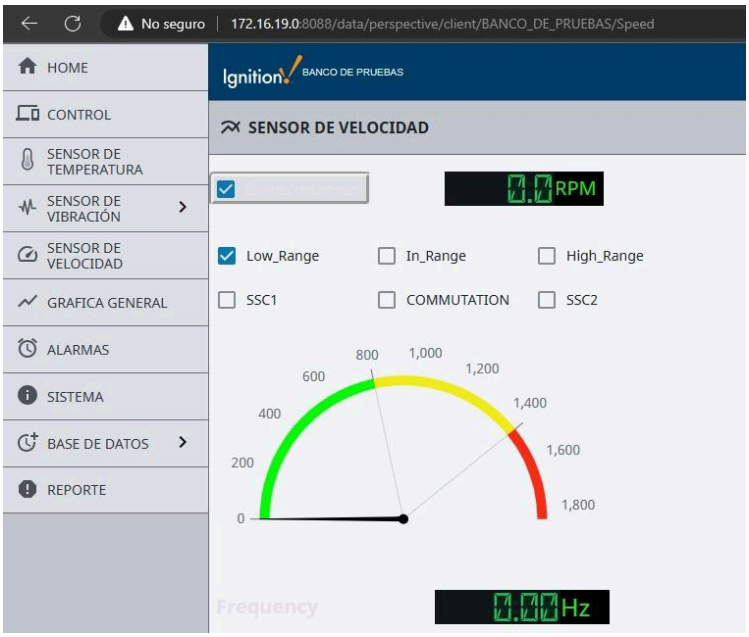


Figura 22. Visualización de la sección de SENSOR DE VELOCIDAD en el sistema SCADA.

A su vez, todas las variables son concentradas en una sección denominada GRAFICA GENERAL, donde es posible obtener información clave, brindando un panorama integral de los datos, lo que es especialmente valioso para tomar decisiones, generar bases de datos y comprender patrones o tendencias a lo largo del tiempo.

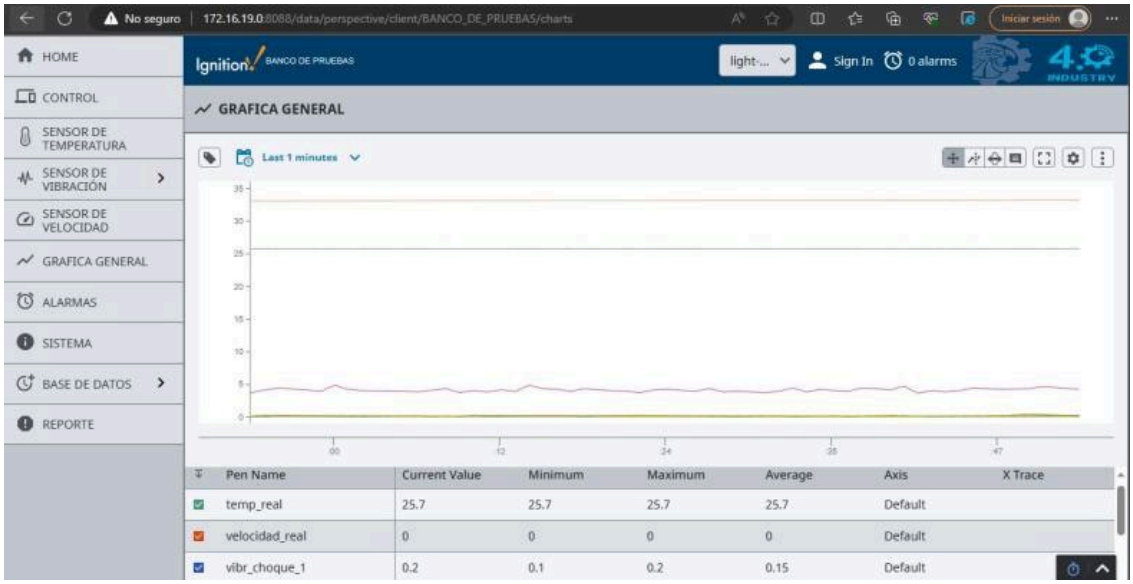


Figura 23. Visualización de la sección de GRAFICA GENERAL en el sistema SCADA.

Créditos.

Los autores agradecen al Tecnológico Nacional de México por el financiamiento del proyecto 17826.23-P ("Sistema SCADA con software Ignition para adquisición de parámetros críticos de un motor de inducción trifásico"), de la convocatoria de apoyo a proyectos de desarrollo tecnológico e innovación 2023 y las facilidades del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez para la realización de este trabajo.

Conclusiones.

Se presentó el proceso de diseño e implementación de un sistema SCADA con el software Ignition que permite el control, visualización y registro de variables críticas obtenidas mediante el uso de un banco de pruebas de motores de inducción trifásico.

El objetivo del proyecto consistió en medir y monitorear los parámetros críticos, que se espera contribuya a los procesos de enseñanza de sistemas de monitoreo, control y análisis de datos en la institución, brindando una solución efectiva y versátil al permitir crear aplicaciones industriales atractivas y con capacidad de respuesta móvil, aportando a la optimización de los procesos industriales y a la generación de sistemas predictivos en las áreas de investigación.

El diseño final del sistema cuenta con 10 secciones y 9 subsecciones de navegación, implementados mediante la versión de prueba del software Ignition, con una interfaz de usuario intuitiva y amigable que proporciona información en tiempo real sobre los parámetros clave del motor, como temperatura, velocidad, vibración, frecuencia (TS2229, VVB001, DI5028) y estado operativo de cada dispositivo.

Referencias bibliográficas.

Aguilar, A. E., García, Y. O., Zepeda Hernández, J. Á., Hernández, Á., & Moreno, R. (2022). *Diseño y construcción de un banco de pruebas de motores de inducción con interfaz de comunicación IO-Link.* Revistatecnologiadigital.com. ISSN 2007-9400, Índice: LatIndex folio: 23658. Retrieved December 2, 2023, from https://www.revistatecnologiadigital.com/pdf/12_005_diseno_construccion_banco_pruebas_motores_inducción_interfaz_comunicacion_IO_link.pdf

Copadata (2021). *¿Qué es SCADA?.* Recuperado 11 de enero de 2022, de https://www.copadata.com/es/productos/zenon-software-platform/visualizacion-control/que-es-scada/

García, Y. O., Aguilar, A. E., Tecnológico, Zepeda Hernández, J. Á., Hernández, Á., Moreno, R., & Gómez

GDM news, 2021. *"LA IMPORTANCIA DEL MANTENIMIENTO PREDICTIVO."* General Driver Motor. June 24, 2021.

Martínez, Sergio. (2018). *"Qué es el sistema SCADA e importancia en la Industria 4.0."* Oasys. March 30, 2017. https://oasys-sw.com/que-son-sistemas-scada-industria-40/

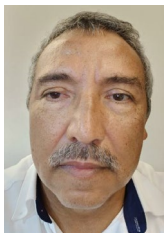
McKinsey Global Institute (2017). *Jobs Lost, Jobs Gained: Workforce Transitions in a time of Automatization*. Mckinsey Global Institute Report. December, 2018.

Información de los autores.

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'.

José Ángel Zepeda Hernández, es Ingeniero Industrial en Eléctrica y Maestro en Ciencias en Ingeniería Mecatrónica, egresado del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez ITTG. Es profesor de tiempo completo en el área de Ingeniería Electrónica del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez e investigador desde 1999, Imparte cátedra en el área de Ingeniería Electrónica y la Maestría en Ciencias en Ingeniería Mecatrónica en el ITTG, donde imparte las asignaturas de Diseño con Transistores y Electrónica Básica respectivamente. Líder del cuerpo académico en formación "Sistemas de control inteligentes".



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.

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.

Marcos Josafat Gómez Cruz, estudiante del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez, pasante de la carrera ingeniería electrónica con especialidad en mecatrónica, con campos de interés: sistemas SCADA, sensores y automatización.

Una aproximación de identificación del modus operandi de los tratantes de personas en redes sociales virtuales.

An approach to identify the modus operandi of human traffickers in virtual social networks.

Luis Enrique Colmenares Guillén* (1).
Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, México.
enrique.colmenares@correo.buap.mx.

Andrea García García (2), Estudiante de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla,
andrea.garciaga@alumno.buap.mx.

Carmen Cerón Garnica (3), Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, carmen.ceron@correo.buap.mx.

María Concepción Pérez de Celis Herrero (4), Benemérita Universidad Autónoma de Puebla.
maria.perezdecelis@correo.buap.mx.

*corresponding author.

Artículo recibido en junio 05, 2023; aceptado en junio 19, 2023.

Resumen.

En este trabajo de investigación se realizó un análisis para identificar a los tratantes de personas en la ciudad de Puebla México, durante el periodo de la pandemia COVID 19, se observó que las modalidades de captación de las víctimas evolucionaron, haciendo uso de las redes sociales como medio de captación. Se utilizaron las metodologías: deductivas, cuantitativas, cualitativas y análisis, y así, generar una aproximación del modus operandi que se identificó con el uso de redes sociales para detectar los posibles tratantes de personas. Todo esto, con el objetivo de obtener información y se reconozcan los medios de operación de este tipo de delincuencia y así, poder considerar las medidas apropiadas para la prevención.

Palabras clave: Modus operandi, redes sociales virtuales, tráfico humano.

Abstract.

In the research work, an analysis was carried out to identify human traffickers in the city of Puebla, Mexico, during the period of the COVID 19 pandemic, it was observed that the modalities of recruitment of victims evolved, making use of social networks as a means of recruitment. Deductive, quantitative, qualitative and analytical methodologies were used to generate an approximation of the modus operandi, which was identified through the use of social networks to detect possible human traffickers. All this, with the objective of obtaining information and recognizing the means of operation of this type of crime and thus be able to consider appropriate measures for prevention.

Keywords: Human traffickers. modus operandi, virtual-social-networks.

1. Introducción.

Según el protocolo para prevenir, reprimir y sancionar la trata de personas, especialmente mujeres y niños, que complementa la Convención de las Naciones Unidas contra la Delincuencia Organizada se entenderá como la captación, transporte, traslado, entre otras, recurriendo a la amenaza o al uso de la fuerza u otras formas de coacción para obtener el consentimiento de una persona que tenga autoridad sobre otra, con fines de explotación (ONU, 2000). Por otra parte, según la FGR, la trata de personas utiliza las redes sociales como herramienta ventajosa y eficaz para enganchar y explotar a las víctimas en cualquiera de sus modalidades dependiendo de sus características (FGR, 2018).

De acuerdo con el secretariado ejecutivo del sistema nacional de seguridad pública (SESNSP), de enero a noviembre del 2020 fueron rescatadas 620 víctimas de trata de personas en el país, lo que significó 56.3 por mes y 1.8 por día, y por otra parte en el reporte bianual "trata de personas, México 2019-2020" se reportó que los victimarios modificaron sus modus operandi ya que utilizaron las redes sociales en un 22% de los casos como medio para enganchar a personas vulnerables, mientras que antes de la contingencia sanitaria representaba menos del 10%. Complementando a estos índices en el informe se menciona que las ofertas falsas de trabajo representaron el 47% de los métodos de captación y el enamoramiento el 29%.

El consejo ciudadano reconoce que las victimas más vulnerables en este periodo fueron mujeres, adultos jóvenes y menores de edad.

Modalidades de la trata de personas.

Dentro de las modalidades sobre la trata de personas se encontraron las siguientes:

- Prostitución ajena: es la comercialización, organizada o no, de una persona como mercancía sexual a cambio de una remuneración en efectivo o en especie.
- Pornografía infantil y adolescente: es la representación visual o auditiva, real o compuesta, de una persona menor de edad, para el placer sexual del usuario o usuaria.
- Turismo sexual: representa la explotación sexual comercial de personas en un país determinado y en cualquiera de sus dos modalidades, por parte de extranjeros que visitan dicho país en calidad de turistas o de nacionales que se trasladan de una región a otra dentro de su mismo país. Incluye la promoción del país como destino accesible para el ejercicio impune de esta actividad, por parte de nacionales o extranjeros.
- Explotación laboral: son sometidas a condiciones laborales inhumanas de explotación bajo coacción o amenazas.
- Venta de niños y adopciones ilegales: las adopciones fraudulentas son otra modalidad de trata de personas
- Tráfico y venta ilegal de órganos: a las personas se les despoja de uno o más de sus órganos, tejidos o mediante engaños, secuestros y adopciones incontroladas y esos órganos son luego vendidos ilegalmente
- Esclavitud: él ser humano es privado de todos sus derechos fundamentales, individuales y sociales. La persona se convierte en objeto de comercio y sometida a la voluntad de sus amos.
- Servidumbre: es un estado de dependencia o sometimiento en el que el victimario obliga a la víctima a realizar actos, trabajos o servicios con el uso del engaño, amenazas y otras formas de violencia.
- Matrimonio servil o forzado: se refiere a mujeres mayores o menores de edad que se dan en "matrimonio" a un acreedor como pago de una deuda o son vendidas por un precio establecido.

Antecedentes históricos de la trata de personas.

Fue entre finales del siglo XIX e inicios del XX que este tema se volvió relevante, específicamente por el término "trata de blancas", de acuerdo a la comisión nacional de los derechos humanos (2012) el "concepto que se utilizaba para hacer referencia a la movilidad y comercio de mujeres blancas, europeas y americanas, con objeto de explotarlas sexualmente" (CNDH, 2021); el término ahora ha quedado rebasado y oficialmente ya no se usa dado que el perfil victimal actualmente no incluye solo mujeres, ni que sean de una nacionalidad en específico, ni se centra en el abuso

sexual; la modalidad de la trata de personas se ha diversificado, se reclutan hombres, mujeres de todas las edades, de distinto tono de piel y origen.

En 1949 se firmó el convenio para la represión de la trata de personas y la explotación de la prostitución de la organización de las naciones unidas (ONU, 1949), es importante resaltar que fue la primera vez que se nombró trata de personas y no de “blancas”, pues para ese momento ya era evidente que las víctimas no eran solo mujeres, no tenían como único fin el sexual.

En el año 2002 se estableció los principios y directrices recomendados sobre los derechos humanos y la trata de personas (OACDH, 2002); además, periódicamente se hacen informes para conocer la situación. En el año 2013, la asamblea general de las naciones unidas (ONU, 2013) decidió que cada 31 de julio de cada año sería el día mundial contra la trata, con el fin de crear mayor conciencia de la situación de las víctimas de la trata de personas y de promover y proteger sus derechos (ONU, 2013); la conmemoración de este día inició oficialmente en el 2014, siguiendo hasta la fecha.

Ahora bien, México es lugar de origen, tránsito y destino de trata, por lo que las cifras de mujeres y niños desaparecidas resultan alarmantes. Por el número de víctimas en nuestro país, se ha estimado que ocupa el quinto lugar en el mundo en referencia a la trata de personas.

El foco principal es la región centro, que abarca a la ciudad de México, el estado de México, Puebla, Tlaxcala, Morelos, Michoacán e Hidalgo. Todos suman 1,309 víctimas de trata de 2015 a los primeros cuatro meses de 2021.

La otra región que preocupa a las organizaciones es el norte (Baja California, Baja California Sur, Chihuahua, Coahuila, Durango, Nuevo León, Sonora, Sinaloa y Tamaulipas), por ser una de las más dinámicas debido a su frontera con estados unidos y las políticas migratorias, por lo que converge un vínculo estrecho entre el tráfico de personas y la trata.

Según Galván (2021) esta zona del país registra 648 víctimas de trata de 2015 a 2021. Además, durante la presentación del informe, la investigadora Zulema Escalante enfatizó que es "preocupante" el incremento en los estados de Baja California y Nuevo León.

De acuerdo con el diagnóstico sobre la situación de la trata de personas en México, CNDH (2019), emitido por la comisión nacional de derechos humanos en el 2013, Puebla se posiciona como zona de incidencia, captación y de traslado al igual que de explotación de víctimas de trata de personas.

De acuerdo de los datos proporcionados por la fiscalía general de estado de puebla, CNDH (2019), dentro del 2012 al 2017 se registraron las víctimas de trata de personas. Colocándose puebla dentro de los estados con mayor número de víctimas por trata. A demás puebla se colocó en primer lugar de los estados en averiguaciones relacionadas a esta.

En lo que respecta a la suplantación de identidad con fines de trata la asociación mexicana de internet (AMIPCI), en México señala que, durante los últimos años, el país ha experimentado un incremento notable en el número de usuarios de Internet, alcanzando su pico más alto de los últimos 8 años con un 9.3%. La población digital en México alcanza los 96.87 millones de internautas en México, lo cual representa el 80.8% de la población de 6 años o más (Asociación Mexicana de Internet, 2022).

Según los datos, México pasó de 415 víctimas de trata en 2015 a 550 en 2020, siendo esta la cifra más alta en la historia reciente del país. De 2016 a 2018, los promedios eran de poco más de 300 casos; el aumento comenzó a verse a partir de 2019.

En el año 2019, la comisión nacional de derechos humanos presentó su diagnóstico sobre la situación de la trata de personas (CNDH, 2019), en el que señala que en el mundo 40.3 millones fueron víctimas de trata, de ellas, 24.9 millones por trabajo forzoso y 15.4 millones por matrimonio forzoso.

Normatividad.

Dentro de la normatividad que se encuentra en el ámbito internacional existe lo siguiente:

- 1948 - Declaración Universal de los Derechos Humanos (ONU, 1948): como su nombre lo indica establece los derechos fundamentales de todas las personas, en éstos mismos se basan el resto de los documentos internacionales sobre la trata.
- 1949 - Convenio para la represión de la trata de personas y de la explotación de la prostitución ajena (ONU, 1949): Hace énfasis en tomar medidas para evitar que emigrantes e inmigrantes sean obligados a prostituirse.
- 1957 - Convenio 105 de la Organización Internacional del Trabajo relativo a la abolición del trabajo forzoso (OIT,1957): enfocada en dar lineamientos necesarios para cumplir con lo establecido en la convención sobre la Esclavitud.
- 1994 - Convención Interamericana para prevenir, sancionar y erradicar la violencia contra la mujer "Convención de Belem do Pará" (OEA, 1994): incluye explícitamente la trata de personas como violencia contra la mujer ya que daña su dignidad, vulnera sus derechos y limita su libertad.
- 2006 - Directrices sobre Protección Internacional (ACNUR, 2006): busca garantizar apoyar a las víctimas o posibles víctimas de trata de persona, especialmente cuando están en condición de refugiados.
- 2010 - Plan de Acción Mundial de las Naciones Unidas para Combatir la Trata de Personas (ONU, 2010): Vuelve a llamar a los Estados parte para unir esfuerzos y enfrentar la trata, buscando el bienestar de las víctimas con apego a sus derechos humanos, también que de manera provisional se cree un Fondo Voluntario Fiduciario para las víctimas del tráfico, enfocado principalmente en mujeres y niños.
- 2014 - Declaración Interamericana para Enfrentar la Trata de Personas “Declaración de Brasilia” (OEA, 2014): Destaca que las políticas públicas que se implementen para la trata deben actualizarse constantemente y ser creadas teniendo en cuenta los factores de riesgo que pueden volver a una persona víctima de ese delito.

Así mismo dentro del ámbito nacional se tiene la normatividad nacional de diferentes leyes y reglamentos que castigan y persiguen este tipo de delitos, además de acciones que se emplean contra dicho delito, entre los cuales están:

- Reglamento de la Ley General para la Prevención del Delito de Trata de Personas y para la Protección y Asistencia de sus víctimas del Estado de Puebla.
- Ley Federal Contra la Delincuencia Organizada.
- Campaña de Prevención de la Trata de Personas en Comunidades Rurales e Indígenas.
- Jornada de Prevención en el Marco de la Campaña Nacional de Prevención de la Trata de Personas en Comunidades Rurales e Indígenas Campaña Nacional de Prevención de la Trata de Personas “Libertad sin engaños, ni promesas falsas”.

El Consejo Ciudadano de seguridad y Justicia del Estado de Puebla en el 2019 reportó un aproximado de mil 412 víctimas de trata rescatadas. El municipio de Puebla fue donde se rescataron el mayor número de víctimas, como segundo municipio con mayor número de víctimas rescatadas se posicionó Tehuacán.

Vulnerabilidad victimal de trata.

La vulnerabilidad victimal se encuentra desigualmente repartida ya sea por consideraciones biológicas (edad, género, diversidad funcional, enfermedad, entre otras), personales, o por condiciones sociales, económicas, culturales y contextuales.” (Sociedad Vasca de Victimología, 2015).

Ahora bien, esto no significa que si una persona o un grupo de personas tiene alguna característica del perfil victimal de algún delito inexorablemente es o será víctima, es decir, en el delito de trata de personas hay más víctimas mujeres, eso no quiere decir que todo el género femenino va a ser víctima de trata, pero sí que tienen un mayor riesgo de serlo respecto a los hombres.

2. Métodos.

Para la presente investigación se hizo uso de diversos métodos que ayudaron a la recopilación de información necesaria para esta investigación, estos son:

- Deductivo: se entiende como el proceso de análisis de información que utiliza el razonamiento lógico y la deducción. Así mismo se basa en ir de lo general a lo particular y especifico.
- Cuantitativo: se entiende como la recopilación y análisis de números sobre un tema en específico. Este método hace uso de las matemáticas y la estadística.
- Cualitativo: se entiende como aquella metodología que busca la descripción de las cualidades de un fenómeno.
- Analítico: se emplea para la separación e identificación de los componentes del fenómeno y de este modo estudiar por separado los componentes de dicho fenómeno.

Técnicas.

Del mismo modo se hizo uso de algunas técnicas que ayudaron a realización de este documento como:

- Observación indirecta: Técnica que se utiliza para observar un fenómeno determinado mediante algunos otros elementos como lo son entrevistas, cuestionarios, recapitulación de información por otros medios de cierto fenómeno a estudiar.
- Documental: Proceso orientado a la recapitulación de información contenida en documentos en cualquiera de sus formas (físico, digital, etc.).

Encuesta: Técnica para la recapitulación de información sobre cierto fenómeno en una población, espacio y tiempo determinado; el formato de la encuesta aplicada se realizo en un enlace en línea.

3. Desarrollo.

Fases de la trata de personas y modus operandi.

La trata de personas se compone de tres fases delictivas las cuales se describen a continuación:

Fase uno: captación.

Consiste en reclutar a la víctima; inicia desde que se elige a la posible víctima como ya se mencionó, de acuerdo con las características que los clientes solicitan, el tipo de explotación para la que será usada, además de edad, lugar de origen, escolaridad, entre otros. Posteriormente esta fase se puede dividir de la siguiente manera:

Cada tratante elegirá el método para enganchar a la víctima, uno de éstos puede ser los métodos de captación no violentos en colectivo o individuales (Organización Internacional para las Migraciones, 2011), que “En el nuevo siglo, las formas más comunes se desarrollan utilizando los mecanismos de comunicación electrónicos, vía correo, “chat”, o dentro de portales cibernéticos. Las personas buscan mejores oportunidades de trabajo, estudio, afecto, atención personal, reconocimiento, mayores recursos económicos, salir de la violencia en sus propios hogares y comunidades y otras condiciones de mejoría.” (Organización Internacional para las Migraciones, 2011).

En la categoría de acercamiento no violento colectivo, un ejemplo común es que los tratantes publiquen ofertas laborales en redes sociales, con ellas se pretende reclutar víctimas, usan como principal enganche ofrecer un salario mayor al de empresas o instituciones legalmente constituidas por un puesto similar, buscan ser muy tentadoras prometiendo aumentar el salario unos meses después de trabajar, en la publicación no ofrecen información sobre la empresa que supuestamente contrata, los correos que pide mandar información no institucionales, sino que hacen énfasis en solicitar un buen desarrollo económico.

La fiscalía de Nuevo León en su Manual para la atención y detención de trata de personas (2019) (CEDHNL y FGJ de Nuevo León, 2019), incluye el formato de una publicación que es común en redes sociales y puede ser usado para este delito, además de marcar los puntos claves que la conforman, puedes revisar más de esta información en "Manual para la Atención y Detección de Trata de Personas. (p. 19). 2012 comisión Estatal de Derechos Humanos de Nuevo León y la fiscalía general de Nuevo León. 2019".

Ahora bien, respecto a los métodos de acercamiento individual no violento deben ser personalizados por lo que es común que quien intente enganchar a la víctima sea algún compañero de trabajo, escuela, algún club, éstos al conocer las necesidades que tiene la persona pueden ofrecerle todo tipo de situaciones para "ayudarla" como vincularla con empleadores, escuelas, inscribirlas a becas, ofrecerles retiros, que finalmente resulta ser parte de una red de tratantes; además el acercamiento no violento es lento ya que se debe ganar la confianza de la víctima y puede durar hasta meses, no obstante sigue siendo usada por los tratantes porque garantizan que "el producto" llegue a su destino en buenas condiciones dado que no usa violencia y es menos riesgoso para él porque la víctima se traslada voluntariamente a donde se le indique siempre y cuando siga creyendo en el engaño.

Puede parecer que los métodos individuales ocurren únicamente de manera presencial, pero las redes sociales también han permitido que el reclutador se acerque a las víctimas, haciendo uso de las aplicaciones y páginas web dedicadas a conocer personas con fines románticos, abriendo así la puerta a uno de los modus operandi de captación más usado que es el enamoramiento.

El enamoramiento es un proceso que envuelve a las personas en una variedad de emociones positivas, sin embargo, cuando este sentir es utilizado como un medio para atrapar a alguien, manipularlo y convertirlo en un objeto para su explotación, se transforma en un yugo tormentoso.

Esto es peligroso en muchos aspectos, ya que ponen en riesgo la integridad física, psicológica, sexual, económica y patrimonial de la persona que se encuentra en esta situación; asimismo, este tipo de relaciones pueden ser un medio para que los tratantes enganchen a sus víctimas, realizando acciones para cubrir las necesidades afectivas de éstas últimas, ocultando diversas formas de explotación.

- Si me amas como yo te amo, me ayudarás sin importar lo que debas hacer.
- Soy la única persona que realmente te ama en este mundo, no quisiera dejarte, pero si no me ayudas con este trabajo, tendré que irme lejos.

Generalmente este tipo de métodos de captación se enfocan en atraer a menores de edad que se encuentra entre la niñez y la adolescencia, etapa frágil en la cual se descubren en la afirmación de su personalidad, gustos y creencias, buscando una mayor independencia en la toma de sus decisiones, lo cual puede generar conflictos y distanciamientos familiares, al no sentirse comprendidos.

Los delincuentes (que generalmente son personas mayores de edad), se aprovechan de la vulnerabilidad de los menores, ofreciéndoles palabras de aliento que reafirman su autoestima y confianza, haciéndoles sentir protegidos y amados; les ofrecen una vida llena de aventura y amor, abordando a la posible víctima con regalos, salidas y alejando poco a poco de su familia y amigos, hasta el punto en el que escapa creyendo vivir una verdadera historia de amor.

Métodos de acercamiento violento.

Los métodos de acercamiento violento no son sutiles, busca someter a la víctima de manera inmediata amenazándola con dañar a su familia y/o a ella, chantaje, violencia física y emocional, reducir su voluntad mediante el uso de drogas, entre otros por lo que la víctima se ve obligada a ceder ante el victimario.

Algunas de las formas por la que se somete a la víctima de forma violenta son los chantajes y/o amenazas, las cuales pueden ir desde diferentes grados.

Sexting.

El uso de las redes sociales ha sido un medio del cual también ha sido aprovechado por personas que hacen mal uso, entre estos males está lo que se denomina "sexting" que ha ido en aumento en los últimos años. El sexting consiste en el intercambio de contenido) con temática sexual vía las redes sociales de vídeos o imágenes. Al estar interactuando con otra persona en el envío y recepción de contenido sexual, aún si hay o no el consentimiento, se llega a identificar a la persona que es quien aparece en el contenido lo cual se presta a las amenazas de difusión del contenido.

Segunda fase: traslado.

Significa llevar a la víctima al lugar donde será explotada, aquí es importante recordar que, a diferencia del tráfico ilegal de personas, la trata se puede dar incluso en la misma ciudad de donde es oriunda la víctima, es decir, no hace falta salir del país.

Aclarado lo anterior podemos decir que el tiempo de traslado, así como las rutas y medios de transporte varían dependiendo de la localización del lugar de explotación y el lugar donde obtuvieron a la víctima.

Los tratantes pueden hacer uso de rutas que se ocupan para otra clase de delitos como tráfico ilegal de armas o drogas con ayuda de transportes que va desde lanchas hasta aviones, los medios de transporte utilizados como son los automóviles llevan placas falsas, también podrían ir pintadas con logos de cualquier empresa para simular que transportan productos y no seres humanos.

También las víctimas pueden ser obligadas a utilizar alguna ruta de transporte común, con esto, se refiere a abordar en aeropuertos, centrales de autobuses, entre otros, claro, en estos casos son vigilados por el tratante encargado de transportarlos.

Una última variante es que la víctima, aún sin sospechar que será explotada; por voluntad propia utilice algún medio de transporte para dirigirse con sus tratantes, la persona cree que se va directamente al lugar donde le prometieron un trabajo, una beca o un enamorado esperándole.

Dado que algunos destinos requieren rutas largas, dentro de esta misma fase se encuentra contemplados los momentos donde se tendrá que hacer una pausa del viaje; se vuelve importante ocultar a la víctima hasta que llegue el momento de continuar, para ello los tratantes cuentan con casas de seguridad, fincas, bodegas, cobertizos, centros de masajes, hoteles, entre otros.

Tercera fase: explotación.

Se refiere a la forma en que los tratantes usarán a la víctima para obtener diversos beneficios:

- La prostitución ajena u otras formas de explotación sexual: es una expresión de la violencia de género cuyas víctimas son, mayoritariamente, niños, adolescentes y mujeres jóvenes. Se puede presentar en diferentes formas: prostitución forzada, pornografía, pedofilia, turismo sexual, embarazos forzados.
- La explotación laboral: este tipo de trata incluye tanto a niños y adolescentes, como a personas adultas. Los espacios donde se da este tipo de explotación pueden ser: fábricas, agricultura, minería, servicio doméstico, restaurantes, establecimientos comerciales en condiciones de explotación; es decir, teniendo bajos salarios, jornadas extenuantes, sin contratos ni pago de vacaciones, indemnizaciones u otro tipo de derechos laborales y donde, además, están presentes los otros elementos constitutivos de la trata
- El trabajo o servicios forzados: el trabajo que se realiza de manera involuntaria y bajo amenaza de una pena cualquiera. Se refiere a situaciones en las cuales personas están forzadas a trabajar mediante el uso de violencia o intimidación, o por medios más sutiles como una deuda manipulada, retención de documentos de identidad o amenazas de denuncia a las autoridades de inmigración.

- La mendicidad forzosa: es cuando una persona obtiene un beneficio por obligar a alguien a pedir limosna, a fin de generar lástima y compasión. Las víctimas deben completar una suma de dinero específica que entregan al explotador en cada jornada, de lo contrario son castigadas.
- Actividades delictivas: las víctimas son utilizadas por grupos criminales para realizar actividades delictivas como el robo, sicariato, lavado de dinero y/o el transporte o venta de estupefacientes. Las principales víctimas suelen ser niños, adolescentes, mujeres embarazadas o personas de la tercera edad, quienes, en última instancia son realmente las expuestas y ponen en peligro su libertad e integridad física.
- El matrimonio forzoso o servil: constituye el establecimiento forzado de una relación de pareja. Ocurre con mayor frecuencia cuando se realiza con un niño, adolescente, o con una persona ajena al contexto cultural, para, en su calidad de cónyuge, ser utilizado/a, en servidumbre doméstica, explotación sexual por parte de terceros, y/o para procrear. De acuerdo con la UNODC (2015), es posible contemplar los siguientes casos:
- Cuando una persona, sin que la asista el derecho a oponerse, es prometida o dada en matrimonio a cambio de una contrapartida en dinero o en especie entregada a sus padres, a su tutor, a su familia o a cualquier otra persona o grupo de personas.
- Cuando el cónyuge/conviviente, la familia o el clan del cónyuge/conviviente tienen el derecho de cederla a un tercero a título oneroso o de otra manera.
- Cuando la mujer, que a la muerte de su marido/conviviente, puede ser transmitida por herencia a otra persona.
- Tráfico de órganos, tejidos y células de seres humanos: Ocurre cuando la víctima es trasladada con el objetivo de extraerle sus órganos, fluidos, tejidos o células de manera forzada para destinarlos al comercio, ya sea para ser trasplantados o para realizar procesos de fertilización humana. Actualmente en muchas legislaciones internas está en discusión si este es o no un fin de la trata.
- Adopciones ilegales: Se consideran trata todos los casos en que los niños son ubicados en familias sin pasar por el trámite del sistema regular de adopción. Así la familia receptora ofrezca un ambiente saludable para el niño o niña, la entrega se hace al margen de un contexto de protección que siga el principio de interés superior del niño/a y el de prevalencia. En la mayor parte de los casos, los niños son sustraídos de sus hogares, sus identidades suplantadas y entregados por una suma elevada de dinero. Esta situación se agrava cuando el niño o niña es explotado por la "familia receptora" en actividades como la mendicidad, la servidumbre o la explotación sexual.

La recolección de información del Estado de Puebla sobre uso de las redes sociales digitales, el uso por parte de los tratantes de personas como medio de captación, índices de ciberdelitos, índices de trata de personas en México, identificación de publicaciones para captar a víctimas.

Población encuestada.

El propósito de la encuesta fue únicamente para conocer la experiencia de los usuarios en redes sociales con respecto los delitos cibernéticos en nuestro entorno como universitarios y las preguntas más significativas se desglosan a continuación:

Se considera importante esta pregunta porque la mayoría de las víctimas de trata de personas en su gran mayoría son mujeres. En la figura 1, se pregunta sobre el sexo del encuestado

Figura **1**. El sexo del encuestado.

.

Saber la edad es un punto importante ya que determina que tan vulnerabilidad a este delito por ejemplo los niños son más vulnerables por su inexperiencia, madurez emocional y la poca capacidad de reconocer los factores de riesgo. Así que, en la figura 2 se muestra el resultado con respecto a la edad.

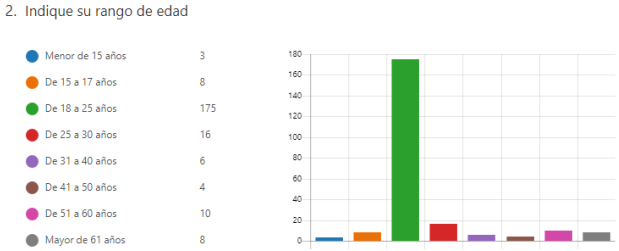


Figura **2**. Gráfica de barras del resultado respecto a la edad.

El grado de estudios, es importante ya que entre menor grado educativo será menor su acceso a la información sobre los peligros asociados a la trata de personas. En la figura 3, alrededor del 53.04% de los encuestados cuentan con un grado educativo de nivel superior.

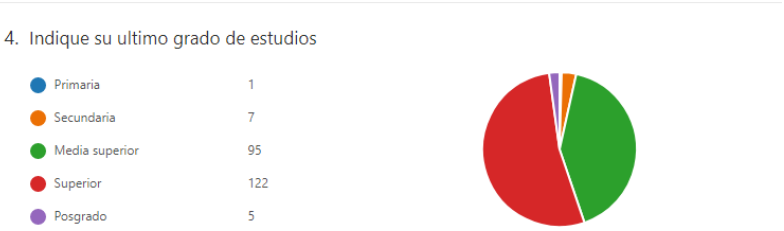


Figura **3**. Grado de estudios.

Esta pregunta va más orientada a un tipo de publicación de índole sexual para ver que tan frecuente cualquier usuario al acceder a la red puede interactuar con ella. En la figura 4, el 53.04% de los encuestados han visto una publicación de índole sexual en redes sociales virtuales.

Figura **4**. Visualizar publicación de índole sexual.

Se les preguntó a los encuestados cuál era la confiabilidad de Facebook para conseguir empleo, puesto que ésta también una es técnica de enganche que los tratantes de personas suelen utilizar para la captación de víctimas. En la figura 5, 64.34% de los encuestados consideran a Facebook como una plataforma confiable para encontrar empleo.

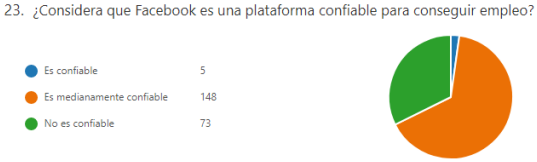


Figura **5**. Facebook como una plataforma confiable para encontrar empleo.

La encuesta fue realizada a través de la plataforma de Facebook para llegar a la mayor población posible, el único requisito radicar en el estado de Puebla, pues específicamente se busca conocer la situación de los poblanos respecto a la trata de personas. La encuesta fue contestada por un total de 230 personas. Con las siguientes características mostradas en la tabla 1:

Tabla 1. Factores de vulnerabilidad de los encuestados.

Factor de vulnerabilidad	Encuestados
Género femenino (especialmente usadas para explotación sexual).	144 de 230 son mujeres, lo que es equivalente al 63%.
Menores de edad (para explotación sexual o adopción ilegal).	De 15 a 17 años hubo 8 menores. Menores de 15 años solo tres.
Adultos entre 18 y 25 años (explotación sexual o laboral).	175 personas.
Escolaridad (quienes tienen baja escolaridad o nula son más vulnerables).	Nivel básico: 8 Nivel medio superior: 95 Nivel superior: 122 Posgrado: 5
Ocupación (tienen más riesgos los desempleados).	Los estudiantes fueron quienes más respondieron con un numero de 113. Seguido de quienes trabajan y estudian al mismo tiempo con 70 respuestas. Quienes solo trabajan fueron 27. Y desempleados solo 3 personas.
Pobreza (lugar donde radican, servicio con el que cuentan, etc.).	El 63% vive (148 personas) viven en la ciudad y el 12 % (28 personas) en zonas rurales; 217 personas cuentan con servicio de internet en su hogar (incluyendo parte de las personas que viven en zonas rurales). Además, cuentan con herramientas como smartphone (que es el más popular con 207 usuarios) y laptop (144 usuarios).
Acceso a medios de comunicación electrónicos (que en los últimos tiempos las redes sociales son usadas para captar víctimas).	La red social más usada por los usuarios es Facebook con 144 usuarios (63%). A pesar de ser la más usada es considerada por ellos mismos como una red social medianamente segura, están sabedores de que diversos delitos se pueden dar a través de ella.

Tras el análisis de los resultados mostrados se pudo deducir que la población encuestada presenta un nivel bajo de vulnerabilidad a ser captadas por tratantes de personas a través de redes sociales digitales, debido a que: Si bien la mayor parte de la población encuestada fueron mujeres, con una edad entre los 18 y 25 años que son características que más buscan los tratantes para explotación sexual o laboral; su nivel de vulnerabilidad disminuye al saber que la mayoría cuentan con un nivel superior de estudios, viven en la ciudad con la suficiente solvencia para tener red de internet en su casa y poderse conectar en dispositivos como smartphones y Tablet. La red preferida por los encuestados es Facebook, que tal como se ha visto en los apartados anteriores, es de las más usadas por los tratantes para reclutar víctimas, especialmente mediante ofertas de trabajo que atraigan a varias personas y amplíen su oportunidad de conseguir víctimas; respecto a esto, nuestra población de estudio se encuentra principalmente estudiando o trabajando por lo que no están en busca de empleo; además a pesar de ser usuarios frecuentes en Facebook la consideran como una plataforma poco confiable, de que es ocupada para cometer delitos y no se debe creer en todo lo que se publica ahí.

Vulnerabilidad de los encuestados para ser víctimas de trata de personas a través de redes sociales digitales.

De acuerdo al Diagnóstico de las Condiciones de Vulnerabilidad que Propician la Trata de Personas en México (CNDH y Centro de Estudios e Investigación en Desarrollo y Asistencia Social, 2019) y el Diagnostico sobre la situación de trata de personas en México, ambos de autoría de la Comisión Nacional de Derechos Humanos, la mayoría de las víctimas de trata de personas en México comparten; resalta que desde el año 2009 ya consideraban el acceso a medios informáticos como un rasgo vulnerable, especialmente para niños, niñas y adolescentes.

Es importante resaltar que el 79% de los encuestados (177 personas) están familiarizados con el término "delito cibernético", a su vez 76 personas han sido víctimas de alguno de ellos, de ese número menos de la mitad (solo 11) presentó una denuncia, es decir el 85% no denunció.

Entonces se deduce que la población encuestada cuenta con los medios suficientes para conectarse a internet por al menos seis horas al día, las actividades realizadas en ese tiempo se centran en revisar redes sociales específicamente Facebook, dentro de su navegación se han encontrado con publicaciones que las hacen pensar que esa red social es medianamente segura, a pesar de ello sigue siendo la más usada; las publicaciones que pueden ser fraudulentas son ignoradas por ellos, es decir, la pasan de largo, siendo un número muy reducido quien decide reportar publicaciones de esa naturaleza.

Se reconoce a Facebook como una red social que puede ser utilizada para engañar, estafar o cometer delitos que no solo se quedarían en el ámbito cibernético y que podrían trasladarse de forma física por ejemplo un secuestro, no obstante, las medidas que se realizan para saber si una publicación en esta red social es verídica y confiable se basa en los comentarios de dichas publicaciones, es decir, si tiene comentarios positivos dan por hecho que es algo real, es importante no olvidar esto, ya que quienes cometen delitos cibernéticos están sabedores de este hecho, por eso en varias ocasiones al ofrecer rifas, regalos, servicios, empleos, solicitan que hagan un comentario positivo para así atraer a más gente.

A pesar de que la mayoría de los encuestados están familiarizados con el término “delitos cibernéticos" y que no confían plenamente en lo que se encuentra en redes sociales, el número de quienes ya han sido víctimas no es tan bajo con un 34 % del total de los encuestados (76 personas), sería importante que hagan un ejercicio de autoevaluación sobre los filtros que ellos mismos se imponen para confiar o no en algo que ven en internet, pues como se mencionó antes, pueden ser engañados con facilidad y ser víctimas si solo usan los comentarios de usuarios para saber si algo es confiable.

Conclusiones.

A raíz de la crisis económica provocada por la pandemia de Covid-19 muchos de los delitos y modus operandi han ido evolucionando, la trata de personas no queda exenta, uno de los modus operandi que mayor fue empleado ha sido el de la captación a través de las redes sociales, ya que este modus operandi a nivel nacional representó un 22% del total de víctimas a través de este tipo de captación, que antes del 2019 solo representaba un 10%.

Con respecto al estado de Puebla en el último año 2021 se reportaron 49 denuncias por trata de personas en la fiscalía general del Estado, esto representa un incremento del 300% en comparación de las 13 denuncias por trata de personas en el 2020.

Por su parte los delitos cibernéticos que se reportaron en el año 2021 se identifican que de igual forma existe una tendencia al alza ya que hubo un incremento del 50% con respecto al año anterior ya que en el 2020 se reportaron 4,130 y en el 2021 fueron 6,114.

Ahora bien, como se menciona anteriormente tanto en la trata de personas como en los delitos cibernéticos existe un incremento en la incidencia, y en ambos delitos el municipio con mayor número de reportes es el de Puebla, en trata

de personas se reportaron 29 denuncias y en delitos cibernéticos 3,384, lo que representa un 59% y un 68% respectivamente.

El aumento de la incidencia de delitos cibernéticos concuerda con los resultados de la encuesta realizada para esta investigación; los resultados de la encuesta aplicada para esta investigación arrojan que la población encuestada es vulnerable de ser víctimas de algún delito cibernético, pues a pesar de que dentro de las características principales de nuestra población se encuentran: nivel superior de estudios, conocimiento del término "delito cibernético", y desconfianza hacía Facebook; el método de verificación que ellos mismos implementan para considerar publicaciones como confiables puede ser fácilmente burlado, llevando a 76 personas encuestadas afirmar que han sido víctimas de algún delito cibernético; todo esto concuerda con los datos mencionados anteriormente sobre el aumento de los delitos de esta naturaleza en el estado de Puebla.

Caso contrario en el delito de trata de personas, la población encuestada resulta tener un nivel bajo de vulnerabilidad para ser captada a través de redes sociales, dado que los factores repelentes a este delito son más (nivel de educación superior, residencia en zona urbana con la solvencia suficiente para contar con servicios de internet, desconfianza de la plataforma de Facebook para adquisición de trabajo, conocimiento de los fraudes que se llegan a dar a través de la mencionada red social digital); las probabilidades de que sean captadas mediante Facebook son bajas, pero no nulas. La trata de personas es un problema real que afecta a la población de todo el mundo y que cada día conecta más rápidamente a los traficantes con sus víctimas. Lo que se pretende con este análisis es disminuir el índice delictivo en esta red social, sin embargo, es un problema complejo que no solo requiere de herramientas para poder erradicarlo también es necesario educar y promover la cultura de prevención.

Agradecimientos.

Los autores agradecen a la Vicerrectoría de Investigación y Posgrado de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, por el financiamiento del proyecto Viep. Además, se agradece a González Alonso Laura Lucía, Ortega Téllez Apolinar y Basaldúa Valdepeña Israel Omar, estudiantes de criminología y ciencia forense que participaron en colaboración con el Laboratorio de Análisis Forense Digital de la Facultad de Ciencias de la Computación de la misma Universidad.

Referencias bibliográficas.

ACNUR (2006). *Alto Comisionado de las Naciones Unidas para los Refugiados. Directrices sobre Protección Internacional.* Disponible en: https://www.acnur.org/prot/instr/5c6c37704/directrices-sobre-proteccion-internacional-no-12-solicitudes-de-la-condicion.html

Asociación Mexicana de Internet. (2022). *Estudio AMIPCI de Hábitos de los Usuarios de Internet en México 2022.* Disponible en: https://irp.cdn-website.com/81280eda/files/uploaded/18%C2%B0%20Estudio%20sobre%20los%20Habitos%20de%20Personas%20Usuarias%20de%20Internet%20en%20Mexico%202022%20%28Publica%29%20v2.pdf

CNDH (2019*).* *Comisión Nacional de Derechos Humanos. Diagnóstico Sobre la Situación de la Trata de Personas en México.* [Archivo PDF]. Disponible en: https://www.cndh.org.mx/sites/default/files/documentos/201908/DIAGNOSTICO_SITUACION_TDP_2019.pdf

CNDH (2021). *Comisión Nacional de Derechos Humanos. Cartilla de trata de personas.* [Archivo PDF]. Disponible en: https://www.cndh.org.mx/sites/all/doc/cartillas/8_Cartilla_Trata.pdf

Comisión Estatal de Derechos Humanos de Nuevo León y fiscalía general de Justicia de Nuevo León. (2019). *Manual para la Atención y Detección de Trata de Personas.* [Archivo PDF]. Disponible en:

https://www.cedhnl.org.mx/bs/secciones/publicaciones/publicaciones-especiales/Manual_para_la_atencion_y_deteccion_de_trata_de_personas.pdf

Comisión Nacional de los Derechos Humanos y Centro de Estudios e Investigación en Desarrollo y Asistencia Social. (2009). *Diagnóstico de las Condiciones de Vulnerabilidad que Propician la Trata de Personas en México*. [Archivo PDF]. Disponible en: http://cedoc.inmujeres.gob.mx/documentos_download/trata_de%20personas_01.pdf

FGR (2018). *Fiscalía general de la República. Redes cuáles y la trata de personas.* Disponible en https://www.gob.mx/fgr/es/articulos/redes-sociales-y-la-trata-de-personas?idiom=es

Galván, M. (2021, 30 julio). *La trata crece en México, junto con el desconocimiento oficial del problema. Expansión política.* Disponible en: https://politica.expansion.mx/mexico/2021/07/30/la-trata-crece-en-mexico-junto-con-el-desconocimiento-oficial-del-problema

OACDH (2002). *Oficina del Alto Comisionado para los Derechos Humanos. Principios y directrices recomendados sobre los derechos humanos y la trata de personas.* [Archivo PDF]. Disponible en: https://www.ohchr.org/Documents/Publications/Traffickingsp.pdf

OEA (1994). *Organización de los Estados Americanos. Convención Interamericana para prevenir, sancionar y erradicar la violencia contra la mujer "Convención de Belem do Pará".* Disponible en: https://www.oas.org/juridico/spanish/tratados/a-61.html

OEA (2014). *Organización de los Estados Americanos. Declaración Interamericana para Enfrentar la Trata de Personas.* Disponible en: https://www.oas.org/ext/es/seguridad/red-prevencion-crimen/Recursos/Biblioteca-Digital/ArtMID/1698/ArticleID/2687/Declaraci%C3%B3n-Interamericana-para-enfrentar-la-trata-de-personas--%E2%80%9CDeclaraci%C3%B3n-de-Brasilia%E2%80%9D

ONU (1948). *Organización de las Naciones Unidas. Declaración Universal de los Derechos Humanos.* Disponible en: https://www.un.org/es/about-us/universal-declaration-of-human-rights

ONU (1949). *Organización de las Naciones Unidas. Convenio para la Represión de la trata de personas y la explotación de la prostitución.* Disponible en: https://www.ohchr.org/en/trafficking-in-persons

ONU (2000). *Organización de las Naciones Unidas. Protocolo para prevenir, reprimir y sancionar la trata de personas, especialmente mujeres y niños, que complementa la Convención de las Naciones Unidas contra la Delincuencia Organizada Transnacional.* [Archivo PDF]. Disponible en: https://www.oas.org/juridico/spanish/tratados/sp_proto_prev_repri_y_sanci_trata_pers_espe_muje_y_ni%C3%B1o_compl_conve_nu_contr_deli_org_trans.pdf

ONU (2010). *Organización de las Naciones Unidas. Plan de Acción Mundial de las Naciones Unidas para Combatir la Trata de Personas.* [Archivo PDF]. Disponible en: https://www.acnur.org/fileadmin/Documentos/BDL/2011/7628.pdf

ONU (2013). *Organización de las Naciones Unidas. Resolución A/RES/68/192.* Disponible en: https://undocs.org/A/RES/68/192

Organización Internacional del Trabajo (1957). *Convenio 195 relativo a la abolición del trabajo forzoso.* Disponible en: https://www.ilo.org/dyn/normlex/es/f?p=NORMLEXPUB:12100:0::NO::P12100_ILO_CODE:C105

Organización Internacional para las Migraciones. (2011). *MANUAL DE PERFILES aplicados a la detección de víctimas y victimarios del delito de trata de personas.* [Archivo PDF]. Disponible en: https://www.corteidh.or.cr/sitios/observaciones/11/Anexo19.pdf

Sociedad Vasca de Victimología. (2015). *Vulnerabilidad. En sociedadvascavictimologia.org.* Recuperado el 28 de noviembre del 2020. Disponible en: https://www.sociedadvascavictimologia.org/diccionario-1

UNODC (2015). *Oficina de las Naciones Unidas contra la Droga y el Delito. El concepto de "explotación" en el protocolo contra la trata de personas.* Disponible en: https://www.cndh.org.mx/documento/documento-tematico-el-concepto-de-explotacion-en-el-protocolo-contra-la-trata-de-personas

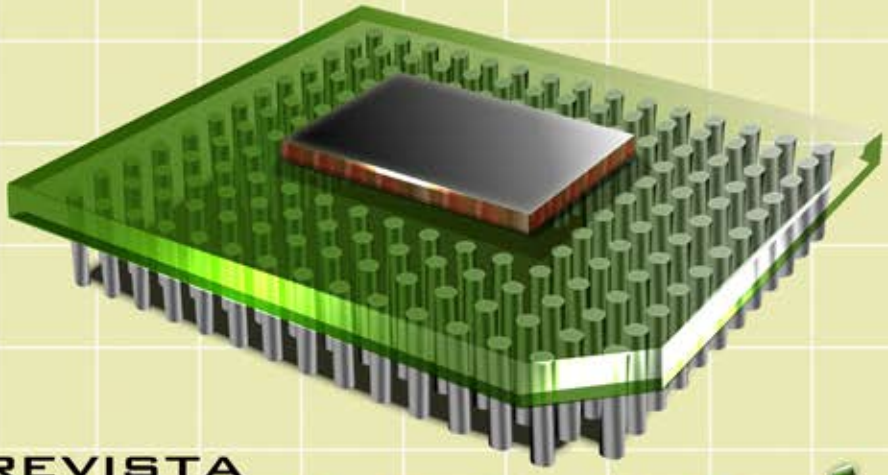
Información de los autores.

Luis Enrique Colmenares-Guillen. Docente-investigador de la Facultad de Ciencias de la Computación, coordinador del Laboratorio de Análisis Forense Digital 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. Pertenece al Padrón de Investigadores y de consultores de la BUAP y al Sistema Nacional de Investigadores.

Andrea García García, estudiante de la Facultad de Ciencias de la Computación de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla se encuentra cursando la licenciatura en la Ingeniería en Ciencias de la Computación, participó en el comité estudiantil CEDIP-PMI CAPITULO PUEBLA-BUAP de dirección de proyectos de 2019- 2021 participó como Secretaria General de la Organización del concurso de emprendimiento HULT-PRIZE BUAP 2019, actualmente está trabajando en su proyecto de tesis en detección de factores de vulnerabilidad en una conversación en redes sociales de trata de personas.

Carmen Cerón Garnica. Docente-Investigadora de la Facultad de Ciencias de la Computación y del Doctorado en Investigación e Innovación en Educación de la Facultad de Filosofía y Letras. Formación en Licenciatura en Sistemas Computacionales, Maestría en Nuevas Tecnologías para el Aprendizaje y Doctorado en Educación y Nuevas Tecnologías, Universidad Iberoamericana, Perfil PRODEP y pertenece al Cuerpo-277 Consolidado.

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.



REVISTA

TECNOLOGÍA DIGITAL

www.revistatecnologiadigital.com