

REVISTA TECNOLOGICA

Nº 18 / ENERO - DICIEMBRE 2025. PUBLICACIÓN ANUAL



ISSN Impreso 2070-0458

ISSN Digital 2072-568X

**APLICACIÓN DE INTELIGENCIA
ARTIFICIAL PARA PREDECIR FALLAS
EN UNA PLANTA DE CONTROL DE
PROCESOS INDUSTRIALES**

**EXTRACCIÓN DE COLORANTES
ORGÁNICOS DE FLOR DE JAMAICA
(HIBISCUS SABDARIFFA) Y PITAHAYA
(HYLOCEREUS SPP) PARA SU
APLICACIÓN EN PRODUCTOS
ALIMENTICIOS**

**DISEÑO DE TECNOLOGÍAS DE
MODELADO DIGITAL PARA
FORTALECER EL APRENDIZAJE
VIRTUAL EN NAVEGACIÓN MARÍTIMA
EN EL CENTRO DE EDUCACIÓN E
INSTRUCCIÓN NAVAL CEIN, LA UNIÓN**

**EVALUACIÓN DE LAS EMISIONES DE
DIÓXIDO DE CARBONO CO₂ EN DOS
TIPOS DE PROCESOS CONSTRUCTIVOS
DE VIVIENDAS DE INTERÉS SOCIAL EN
EL SALVADOR. EN ASOCIO CON LA
UNIVERSIDAD DE SEVILLA, ESPAÑA**

**DISEÑO DE UN "MODELO LOGÍSTICO"
PARA LA GESTIÓN DE
APROVISIONAMIENTO DE LAS MICRO Y
PEQUEÑAS EMPRESAS MYPES DEL
SECTOR PRODUCTIVO, INSCRITAS EN
LA AGENCIA DE DESARROLLO
ECONÓMICO LOCAL ADEL, LA UNIÓN.**



**ESCUELA ESPECIALIZADA EN INGENIERÍA ITCA - FEPADE
DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN Y PROYECCIÓN SOCIAL**



Comisión de Acreditación
de la Calidad Académica
INSTITUCION
ACREDITADA
2022-2027

REVISTA TECNOLÓGICA

No. 18. Enero – Diciembre 2025

Ing. Carlos Alberto Arriola

Rector

Ing. Christian Antonio Guevara

Vicerrector

Ing. Mario W. Montes Arias

Director de Investigación y Proyección Social

Coordinador Equipo Editorial

Equipo Editorial Afiliación ITCA-FEPADE

Licda. Claudia Ruth Oviedo

Licda. Claudia Ivette Ávalos

Ing. David Emmanuel Ágreda

Licda. María Auxiliadora Yanme de Heymans

Diagramación

Licda. Débora Abigail Barahona García

Traducción

607.3

R485

Revista Tecnológica

No. 18, Enero – Diciembre 2025. Escuela Especializada en Ingeniería

ITCA-FEPADE. - Santa Tecla, El Salvador: ITCA Editores, 2025.

72p.:il.; 28 cm.

Anual

ISSN Impreso: 2070-0458

ISSN Digital: 2072-568X

1. Tecnologías de información.

2. Desarrollo científico y tecnológico.

3. Logística. 4. Enseñanza técnica.

5. Innovaciones tecnológicas, Industria 4.0.

6. Publicaciones seriadas

Publicación Anual

Tiraje: 40 ejemplares impresos

Revista Indizada en LATINDEX



La Revista Tecnológica es una publicación anual de la Escuela Especializada en Ingeniería ITCA-FEPADE. La Revista publica artículos técnicos, académicos y resultados de proyectos de investigación, asociados con las temáticas de las carreras técnicas e ingenierías que se imparten, tales como mecatrónica, gastronomía, arquitectura, química, eléctrica, computación, electrónica, logística, acuicultura y otros temas de interés relacionados con el quehacer institucional. Esta Revista ha sido concebida para difundirla con la comunidad académica, instituciones de educación superior y el sector empresarial, como un aporte al desarrollo del país. Los artículos que se publican cumplen criterios de originalidad, pertinencia y novedad. El contenido de los artículos es responsabilidad exclusiva de los autores.



Atribución - No comercial
Compartir igual
4.0 Internacional

Esta obra está bajo una licencia Creative Commons. No se permite el uso comercial de la obra original ni de las posibles obras derivadas, cuya distribución debe hacerse mediante una licencia igual que la sujeta a la obra original.

Escuela Especializada en Ingeniería ITCA-FEPADE

Km 11.5 carretera a Santa Tecla, La Libertad, El Salvador, Centro América

Correo electrónico: revistatecnologica@itca.edu.sv

Sitio Web: www.itca.edu.sv

PBX: (503)2132-7423

Apartado Postal N° 133, Santa Tecla.



IDENTIDAD INSTITUCIONAL

VISIÓN

Ser una institución educativa líder en educación tecnológica a nivel nacional y regional, comprometida con la calidad, la empresarialidad y la pertinencia de nuestra oferta educativa.

MISIÓN

Formar profesionales integrales y competentes en áreas tecnológicas que tengan demanda y oportunidad en el mercado local, regional y mundial, tanto como trabajadores y como empresarios.

VALORES

EXCELENCIA: *nuestro diario quehacer está fundamentado en hacer bien las cosas desde la primera vez.*

INTEGRIDAD: *actuamos congruentemente con los principios de la verdad en todas las acciones que realizamos.*

ESPIRITUALIDAD: *desarrollamos todas nuestras actividades en la filosofía de servicio, alegría, compromiso, confianza y respeto mutuo.*

COOPERACIÓN: *actuamos basados en el buen trabajo en equipo, la buena disposición a ayudar a todas las personas.*

COMUNICACIÓN: *respetamos las diferentes ideologías y opiniones, manteniendo y propiciando un acercamiento con todo el personal.*

ÍNDICE

01

Aplicación de Inteligencia Artificial para predecir fallas en una planta de control de procesos industriales

Juan José Guevara Vásquez
Carlos Geovanny Meléndez Molina

Pág. 6

02

Extracción de colorantes orgánicos de Flor de Jamaica (*hibiscus sabdariffa*) y Pitahaya (*hylocereus spp*) para su aplicación en productos alimenticios

Alma Verónica García Barrera
Tatiana Torres
Zaida Trejo

Pág. 13

03

Diseño de tecnologías de modelado digital para fortalecer el aprendizaje virtual en navegación marítima en el Centro de Educación e Instrucción Naval CEIN, La Unión

Edgardo Antonio Claros Quintanilla
Danilo Yoalmo López López

Pág. 22

04

Evaluación de las emisiones de dióxido de carbono CO₂ en dos tipos de procesos constructivos de viviendas de interés social en El Salvador. En asocio con la Universidad de Sevilla, España

Eva Margarita Pineda Luna

Pág. 28

05

Diseño de un "Modelo Logístico" para la gestión de aprovisionamiento de las Micro y Pequeñas Empresas MYPES del sector productivo, inscritas en la Agencia de Desarrollo Económico Local ADEL, La Unión

Ulises Esai Pérez Flores
Pedro Luis Bonilla Medrano

Pág. 34

06

Desarrollo de un ecosistema innovador, para la identificación y contratación de servicios FreeLancer

Ana Eunice Márquez
Oscar Armando Sánchez

Pág. 40

07

Diseño de un sistema de control automático para corrección del factor de potencia y monitoreo de variables eléctricas en instalaciones de baja tensión

Carlos Levi Cartagena
David Ernesto Cortez

Pág. 46

08

EduRoboLearning: kit educativo de robótica básica para fortalecer competencias tecnológicas en Educación Media

Nilson Erick Galdámez Martínez
Jimmy Gerson Ruiz Carmona

Pág. 53

09

Diseño de un sistema automatizado, intuitivo y amigable para el cálculo de proyectos fotovoltaicos de uso doméstico o industrial

Fermín Osorio Gómez
Benjamín Alessandro Ramírez

Pág. 57

10

Diseño de Tutor Digital para potenciar el aprendizaje utilizando herramientas de Inteligencia Artificial

Luis Ernesto Elías
José Francisco Quezada

Pág. 62

Instrucciones a los Autores

ITCA Editores

Pág. 69

Presentación

La Escuela Especializada en Ingeniería ITCA-FEPADE, consolidando su trayectoria como referente en la Educación Tecnológica Superior de El Salvador, presenta a través de la Dirección de Investigación y Proyección Social la Revista Tecnológica N° 18, correspondiente al año 2025. Esta publicación, disponible en formato impreso y digital, constituye el compromiso institucional de promover el desarrollo y los resultados de la Investigación Aplicada y contribuir con la búsqueda de soluciones innovadoras para el sector productivo, la academia y la comunidad.

En el campo de la Inteligencia Artificial IA, se describe el resultado de una investigación sobre el pronóstico de fallas para el mantenimiento predictivo en plantas de control de procesos industriales, aplicando modelos de Aprendizaje Automático ML, Perceptrón Multicapa y Bosque Aleatorio. Se presenta además el diseño de un Tutor Digital Web potenciado por IA y el procesamiento de lenguaje natural, cuyo objetivo es fortalecer la enseñanza personalizada en la asignatura de "Lógica de Programación".

En beneficio del Medio Ambiente, se desarrolló una investigación de las emisiones de dióxido de carbono CO2 en la construcción de viviendas de interés social, realizada en asocio con la Universidad de Sevilla, la cual compara datos entre sistemas constructivos de bloques de concreto y ladrillo de barro cocido. En el área de Ingeniería Química se muestra una investigación sobre la extracción y estabilidad de colorantes orgánicos, a partir de la Flor de Jamaica y la Pitahaya, como alternativa natural para la industria alimentaria.

Se incluye un artículo que describe el desarrollo de un sistema de control automático para la corrección del factor de potencia y el monitoreo de variables eléctricas en instalaciones de baja tensión; aporta una solución que optimiza el consumo y la calidad de la energía; este sistema funciona además como herramienta didáctica para la formación técnica. Se muestra una aplicación Android para facilitar el cálculo de equipos y materiales de proyectos fotovoltaicos aislados o de inyección a red, residenciales o industriales.

En el campo de la innovación educativa se destaca el desarrollo y los resultados de dos proyectos. El diseño de 9 instrumentos virtuales para integrarlos a un simulador de navegación marítima del Centro de Educación e Instrucción Naval CEIN en La Unión. Se muestra un Kit de robótica básica denominado "EduRoboLearning", que contribuye a desarrollar competencias y fortalecer el acceso a la tecnología en la Educación Media.

En la línea de desarrollo de procesos logísticos, se incluyen aportes para el sector productivo. Se presenta un Modelo Logístico integral para optimizar el aprovisionamiento y mejorar la eficiencia en la cadena de suministro de las Micro y Pequeñas Empresas MYPES de la Zona Oriental. Se describe la Plataforma "Tecolancer", como un ecosistema digital innovador para la búsqueda y contratación de servicios profesionales y técnicos de FreeLancer en la región paracentral de El Salvador; fue desarrollada en colaboración con la Asociación de Empresarios y Profesionales de Zacatecoluca AEPROZA.

El Equipo ITCA-EDITORES agradece a los docentes investigadores de los 5 campus, la generación de conocimiento y su aporte tecnológico con la redacción de artículos, lo cual contribuye al desarrollo de la Ciencia, la Tecnología y la Innovación en nuestro país.

Dirección de Investigación y Proyección Social

ITCA-FEPADE

APLICACIÓN DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL PARA PREDECIR FALLAS EN UNA PLANTA DE CONTROL DE PROCESOS INDUSTRIALES

Juan José Guevara Vásquez

Ingeniero en Electrónica. Docente Investigador, Escuela de Educación Dual. Escuela Especializada en Ingeniería ITCA-FEPADE, Sede Central, Santa Tecla.

Correo electrónico: juan.guevara@itca.edu.sv

Carlos Geovanny Meléndez Molina

Técnico en Ingeniería Eléctrica. Docente Coinvestigador, Escuela de Ingeniería Eléctrica y Electrónica. Escuela Especializada en Ingeniería ITCA-FEPADE, Sede Central, Santa Tecla.

Correo electrónico: carlos.melendez@itca.edu.sv

Recibido: 22/08/2025 - Aceptado: 02/09/2025

Resumen

En este artículo se describe el proceso de investigación y los resultados obtenidos en el estudio de la aplicación de Inteligencia Artificial para predecir fallas en una planta de control de procesos industriales de flujo y presión. La investigación buscó identificar y evaluar modelos de Aprendizaje Automático que, una vez entrenados puedan predecir el estado operativo del proceso industrial con exactitud. El proyecto consistió en automatizar un Entrenador de Procesos de Flujo y Presión para publicar los datos de funcionamiento en tiempo real. El control neumático se modificó para simular por hardware fallas en el actuador corriente/presión (I/P) de la válvula de proceso que controla la presión del sistema. Los datos del proceso y de simulación de fallas fueron registrados para crear un conjunto de datos, Dataset clasificados. Con el Dataset, se entrenó y evaluó el desempeño de varios modelos de Aprendizaje Automático, ML. Finalmente, se utilizó una API de producción para cargar el modelo y evaluar el estado del proceso en tiempo real obteniendo un rendimiento superior al 90 % en las predicciones de falla.

Palabras clave

Inteligencia Artificial, Aprendizaje Automático, Red Neuronal, Perceptrón Multicapa, Bosque Aleatorio, Dataset, Control de Procesos, Node-RED.

APPLICATION OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE TO PREDICT FAILURES IN INDUSTRIAL PROCESS CONTROL PLANTS

Abstract

This paper describes the research process and the results obtained in the study of the application of Artificial Intelligence to predict failures in a flow and pressure industrial process control plant. The research sought to identify and evaluate Machine Learning models that, once trained, can accurately predict the operating status of the industrial process. The project consisted of automating a Flow and Pressure Process Trainer to publish real-time operating data. The pneumatic control was modified to hardware simulate failures in the current/pressure (I/P) actuator of the process valve that controls the system pressure. The process and fault simulation data were recorded to create a classified Dataset. With the Dataset, the performance of various Machine Learning, ML, models were trained and evaluated. Finally, a production API was used to load the model and evaluate the state of the process in real time obtaining a performance higher than 90 % in the failure predictions.

Keywords

Artificial Intelligence, Machine Learning, Neural Network, Multilayer Perceptron, Random Forest, Dataset, Process Control, Node-RED.

Introducción

El control de procesos consiste en dos funciones claramente diferenciadas: la adquisición de datos y el control. Para producir un producto que sea de alta calidad de forma consistente, es necesario un estricto control del proceso de producción. En este sentido, el control del proceso es el control automático de una variable de salida, que al

detectar la amplitud del parámetro y comparándolo con el nivel deseado, produce una señal de error para controlar una variable de entrada [1].

Para coleccionar información del estado del proceso se utilizan sensores. El término sensor se refiere a un elemento que produce una señal relacionada con la cantidad que se está midiendo. Un transductor se define como el

elemento que al someterlo a un cambio físico experimenta un cambio relacionado, por lo que los sensores son en realidad transductores. Sin embargo, un sistema de medición puede utilizar transductores, además de sensores, en otras partes del sistema para convertir señales de una forma dada en otra distinta [2][3].

Las válvulas neumáticas de control de procesos pueden ser manipuladas para regular con precisión el flujo de un fluido. Las válvulas de control deben cumplir un exigente conjunto de requisitos para garantizar un control exacto y preciso [4]. Deben estar correctamente diseñadas, dimensionadas para el rango normal de caudales y presiones, así como fabricadas con los materiales adecuados y funcionar correctamente en todo el rango de operación [5].

Las válvulas de control no funcionan por sí solas, normalmente, un conjunto de válvula completo consta de un cuerpo de válvula, un actuador y, a menudo, un posicionador. El cuerpo de la válvula es una carcasa a presión a través de la cual pasa el fluido. El cuerpo tiene conexiones para tuberías. Un obturador de válvula móvil cambia de posición para ajustar el caudal. El obturador puede ser un disco, una bola o algún otro diseño especializado. El vástago de la válvula está conectado al obturador y al accionamiento.

El actuador proporciona la fuerza motriz para abrir o cerrar la válvula. Existen varios tipos de actuadores, como los de muelle y diafragma y los accionados por motor eléctrico. A menudo se utiliza aire comprimido como fuerza motriz para los actuadores de las válvulas. El posicionador es un dispositivo que mide la posición real de la válvula y ajusta las entradas al actuador para lograr un posicionamiento más preciso de la válvula de control [6].

El Aprendizaje Automático es una rama de la Inteligencia Artificial (IA) y la Informática que se centra en el uso de datos y algoritmos para imitar la forma en que aprenden los humanos, mejorando gradualmente su precisión. Por lo tanto, es un componente importante del campo de la ciencia de datos. Mediante el uso de métodos estadísticos, los algoritmos se entrenan para hacer clasificaciones o predicciones, y para descubrir ideas clave en proyectos de minería de datos. Los algoritmos de Aprendizaje Automático suelen implementarse utilizando frameworks que aceleran el desarrollo de soluciones, como TensorFlow, Scikit-learn y PyTorch [7].

Dado que el Aprendizaje Profundo y el Aprendizaje Automático tienden a usarse indistintamente, merece la pena señalar los matices entre ambos. El Aprendizaje Automático, el Aprendizaje Profundo y las Redes Neuronales son subcampos de la Inteligencia Artificial. Sin embargo, las Redes Neuronales son en realidad un subcampo del Aprendizaje Automático, y el Aprendizaje Profundo es un subcampo de las Redes Neuronales [8].

Las diferencias entre el Aprendizaje Profundo y el Aprendizaje Automático radican en la forma en que aprende cada algoritmo. El Aprendizaje Automático "profundo" puede utilizar conjuntos de datos etiquetados, también conocido como Aprendizaje Supervisado. El

Aprendizaje Profundo puede ingerir datos no estructurados en bruto por ejemplo, texto o imágenes y determinar automáticamente el conjunto de características que distinguen unas categorías de datos de otras. Esto elimina parte de la intervención humana necesaria y permite el uso de conjuntos de datos más grandes [9].

Las Redes Neuronales, también conocidas como Redes Neuronales Artificiales (RNA) o Redes Neuronales Simuladas (SNN), son un subconjunto del Aprendizaje Automático y constituyen el núcleo de los algoritmos de Aprendizaje Profundo. Su nombre y estructura se inspiran en el cerebro humano, imitando la forma en que las neuronas biológicas se relacionan entre sí, se componen de capas de nodos, que contienen una capa de entrada, una o más capas ocultas y una capa de salida. Cada nodo, o neurona artificial, se conecta a otro y tiene un peso y un umbral asociados. Si la salida de cualquier nodo individual está por encima del valor umbral especificado, ese nodo se activa, enviando datos a la siguiente capa de la red; en caso contrario, no se transmite ningún dato [10]. Las Redes Neuronales se basan en datos de entrenamiento para aprender y mejorar su precisión con el tiempo. Sin embargo, una vez que estos algoritmos de aprendizaje se afinan en cuanto a precisión, se convierten en potentes herramientas de la Informática y de la Inteligencia Artificial que nos permiten clasificar y agrupar datos a gran velocidad. Las tareas de reconocimiento de voz o de imágenes pueden llevar minutos frente a horas si se comparan con la identificación manual por parte de expertos humanos [11].

El mantenimiento es el conjunto de operaciones necesarias para preservar la funcionalidad y eficiencia de un activo y puede tener lugar en respuesta a un fallo o como acción previamente planificada. Según Deloitte, una estrategia de mantenimiento no optimizada puede reducir la capacidad de producción de una planta industrial entre un 5 y un 20% [8].

Normalmente, el Aprendizaje Automático se utiliza para definir el estado actual de un sistema y predecir su estado futuro. Utiliza datos para predecir cuándo se averiará una máquina antes de que se averíe realmente. El desarrollo, la gestión y la gobernanza de los modelos de Aprendizaje Automático son esenciales para el éxito de este tipo de mantenimiento [12].

Los modelos de Inteligencia Artificial son capaces de procesar grandes cantidades de datos complejos en muy poco tiempo, por lo que muchas decisiones se delegan en las máquinas. A lo largo de la cadena de valor se recopilan y procesan en tiempo real numerosos datos, que pueden utilizarse para analizar la situación actual y redefinir la situación deseada. En este contexto, es importante que las empresas definan qué datos son relevantes, en relación con la tecnología utilizada [13]. El siguiente paso consiste en encontrar e integrar la herramienta de medición adecuada para captar los valores, antes de definir un modelo o algoritmo adecuado para la recogida y el tratamiento de los datos. En este contexto, también es importante comprender que todas las etapas de la cadena de valor se influyen mutuamente, por lo que un enfoque aislado no es útil en la mayoría de los casos [14][15].

Desarrollo

METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

A. Automatización del entrenador de procesos

El equipo de entrenamiento para el control de procesos comprende dos lazos de control: presión y caudal del aire. Un control electrónico basado en microprocesador mantiene simultáneamente en regulación 2 lazos de control. El sistema puede controlar y mantener una presión constante de 0 a 6 bar por medio de un control de lazo cerrado; el tamaño y por lo tanto la respuesta del sistema puede ser modificado incluyendo tanques de almacenamiento. Se dispone de sensores y transmisores de corriente de 4 a 20 mA para enviar la información a un control central, el cual a su vez envía señales de corriente a los actuadores, válvulas neumáticas que regulan la presión o el caudal del sistema. (Fig. 1)

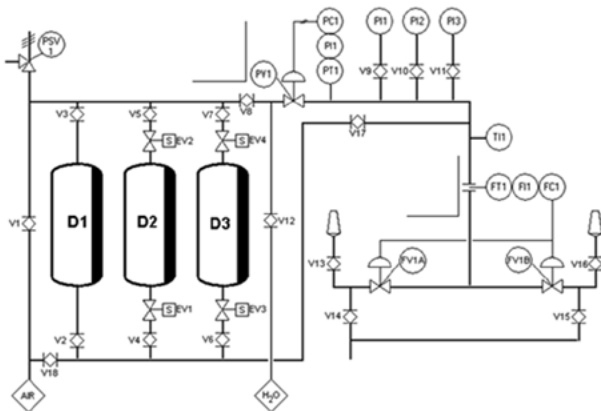


Fig. 1. Diagrama del sistema del entrenador de flujo y presión.

La implementación del sistema de control de presión se llevó a cabo mediante el montaje secuencial de diversos componentes interconectados eléctricamente. Inicialmente, se procedió a la instalación física del Programador Lógico Programable (PLC) ET 200 Siemens dentro de un panel de control, garantizando un espacio adecuado para la disipación de calor y el acceso para futuras intervenciones. Los módulos de entrada y salida digitales y analógicos, se integraron al PLC, configurando la interfaz para la recepción y emisión de señales.

Posteriormente, se realizó el montaje de los dispositivos de campo. Los Pulsadores de Interacción (OPI y PB) se fijaron en la parte frontal del panel de control, para la activación manual de funciones específicas del sistema. El Transmisor de Presión (PTI), encargado de medir la variable de proceso, se instaló en la línea de presión del sistema, asegurando una conexión mecánica adecuada para una lectura precisa. De manera similar, el Sensor de Presión (PS), utilizado para la detección de umbrales de presión, se ubicó estratégicamente en el sistema.

El siguiente paso consistió en el conexionado eléctrico de los componentes. La fuente de alimentación se cableó a la red eléctrica, proporcionando la energía necesaria al PLC, al transmisor de presión, al sensor de presión y a las bobinas de los relés. Los pulsadores y el contacto del sensor de presión se conectaron a las entradas digitales del PLC, permitiendo la recepción de señales discretas por parte de la unidad de control. La señal analógica proporcional a la presión, proveniente del transmisor de presión, se cableó a una de las entradas analógicas del PLC. Finalmente, se procedió a la energización del sistema y a la carga del programa de control en el PLC ET 200S, utilizando el software de programación de Siemens. La lógica de control implementada en el PLC definió la respuesta del sistema a las señales de los sensores y los pulsadores, controlando la activación de las electroválvulas para regular la presión del proceso y la operación según los requerimientos del sistema. Se realizaron pruebas funcionales exhaustivas para verificar el correcto funcionamiento del sistema de control de presión en sus diferentes modos de operación.

B. Diseño del sistema de generación de fallas

En condiciones de buen funcionamiento, el nivel de apertura de la Válvula de Proceso (PV1) se realiza ajustando la presión de aire que se aplica por medio del convertidor PC1. Este convertidor transforma la corriente de 4 mA a 20 mA que proviene del PLC en variaciones de presión de entre 0.2 bar y 1 bar. La magnitud de la corriente corresponde al error en la Presión del Proceso (PV) respecto a la Presión Deseada (SP) en D1. La unidad de mantenimiento de aire comprimido UM1 se ajusta para que la presión que se suministra a PC1 sea de hasta 1.2 bar, lo que proporciona un margen de ajuste suficiente para variar la presión de control de acuerdo con la señal que recibe desde el PLC. (Fig. 2)

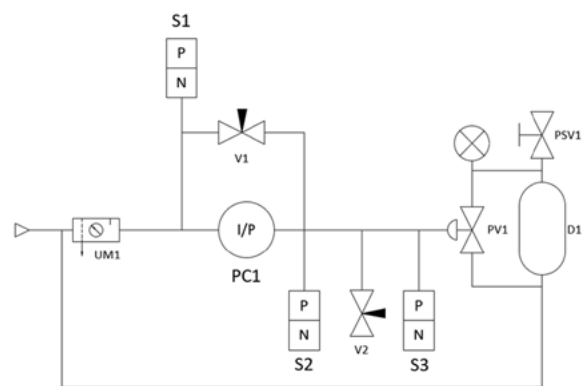


Fig. 2. Sistema de generación de fallas en el control de la válvula de proceso PV1.

Las perturbaciones de presión se aplican de forma manual por medio de PSV1, el entrenador no dispone de un indicador que cuantifique el caudal de fuga de aire que disminuye la presión por lo que la magnitud de la fuga se realiza empíricamente.

Al abrir PSV1 se introduce una perturbación que obliga al controlador Proporcional-Integral (PI) del PLC a cambiar la magnitud de la corriente que recibe PC1 para corregir el error en PV ajustando la presión de control que recibe PV1 haciendo que se abra o cierre proporcionalmente. El comportamiento del sistema, estabilidad y rapidez, lo determinan los valores de las variables proporcional e integral que son introducidas por el operario y que fueron calculadas por cualquiera de los métodos de ajuste de PI que se dispone en teoría de control. Durante las pruebas realizadas, los valores PI que proporcionaron mejor estabilidad y rapidez fueron: $P = 5$ e $I = 35$. En la tabla 1 se muestran los valores de control que mostraron un mejor control del proceso.

TABLA 1. Valores de P-I con mejor desempeño en el control del proceso

PARÁMETRO	VALOR	UNIDAD
SP	0.75	bar
KP	5	
KI	40	
PV alcanzado	0.75	bar
PARÁMETRO	VALOR	UNIDAD
SP	1.0	bar
KP	5	
KI	35	
PV alcanzado	1.0	bar

De acuerdo con el trabajo realizado es posible introducir fallas en el control neumático de una válvula de proceso y a partir del análisis de sus tiempos de apertura/cierre, predecir cuándo se produzcan dos fallas: 1) falla en los sellos de la válvula que controla la válvula de proceso y, 2) fugas a la atmósfera entre la salida de la válvula de control y la de proceso. [16][17]

Como la válvula PV1 posee un actuador ATO (Air to Open) normalmente cerrado, por defecto impide el paso de aire. Al recibir presión de control desde PC1 comienza a abrirse progresivamente permitiendo el paso. Una falla en los sellos de PC1 incrementa sin control el flujo de aire hacia PV1, haciendo que se abra más rápidamente y dificultando su cierre, lo cual se traduce en que cuando la condición de control requiera de la reducción de la presión, el control tardará más tiempo en conseguirlo ya que se incrementan los tiempos de respuesta de cierre de PV1, por lo que en general el sistema será más lento cuando SP sea ajustado a un nivel inferior del previamente establecido. De igual manera, existe la posibilidad que el cierre completo de PV1 nunca se consiga.

Por otra parte, una falla de fugas a la atmósfera entre la salida de PC1 y PV1 tendrá el efecto contrario, ya que la presión de control caerá proporcionalmente al nivel de fuga presente. Como resultado PV1 tomará más tiempo en abrirse provocando que el control del sistema haga que PC1 incremente el flujo de aire hacia PV1, por lo que el sistema será más lento cuando SP se incremente a partir de un valor

establecido. Es posible, además, que la apertura total de PV1 nunca se alcance mientras la fuga esté presente.

Un control P-I bien ajustado con los valores de la tabla 1, puede alcanzar el SP en la mayoría de los casos con las fallas presentes, pero le tomará más tiempo en conseguirlo.

Como es necesario introducir fallas que no existen en un sistema en buen funcionamiento, la solución diseñada es invasiva ya que requiere de la modificación del sistema de aire comprimido entre PC1 y PV1, así como de la cuantificación de la magnitud de las fugas mediante los Sensores de Presión IFM S1 y S3 modelo PT5404 y S2 serie PA3526. S1 mide la presión del suministro de aire comprimido que se encuentra entre 1 y 2 bar. Mientras que S2 y S3 miden la presión de control que entrega PC1 a PV1 con valores entre 0 y 1 bar que se verán afectadas cuando se introducen las fugas.

Para simular una falla interna o en los sellos en PC1, se instaló la válvula de aguja V1, que permite el aumento controlado de presión desde UM1 hacia PV1 dificultando el ajuste automático de PC1. Mientras que para simular una fuga a la atmósfera se instaló la válvula de aguja V2, que permite la salida controlada de aire produciendo una caída de presión. Se diseñó un circuito Datalogger para capturar, procesar y registrar los datos del proceso industrial. El diagrama esquemático del circuito que captura las corrientes de las presiones y las convierte a niveles de voltaje se muestran en Fig. 3.

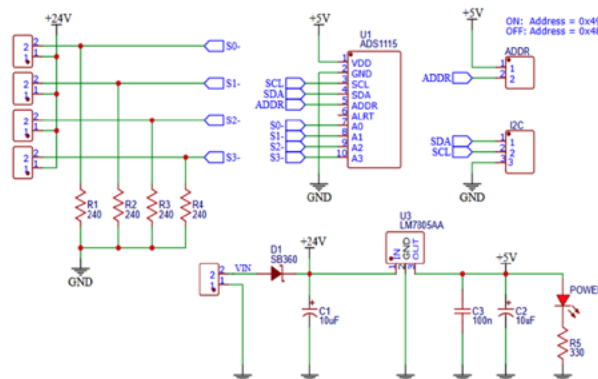


Fig. 3. Diagrama esquemático de dispositivo Datalogger.

C. Diseño del conjunto de datos de entrenamiento: Dataset.

1) Selección y captura de datos.

El objetivo de los registros del Dataset, conjunto de datos, consiste en tomar una serie de datos del proceso en un instante de tiempo determinado, con los cuales se forman filas. De acuerdo con los valores de cada fila, se determina si existe o no una falla. El establecimiento del objetivo fue importante ya que permitió elegir el modelo de Aprendizaje Automático más apropiado para el pronóstico de la falla. En ese sentido, el Dataset se diseñó para entrenar un modelo de clasificación binaria. Los datos que forman parte del Dataset se muestran en la tabla II.

TABLA II. Datos del proceso y de fallas que forman parte del Dataset

Variable	Descripción
PV	Variable de proceso, representa la presión en el sistema. Esta presión busca igualar al valor de SP.
OUT	Porcentaje de apertura de PV1.
SP	Set Point, es la presión objetivo en el sistema.
P	Control Proporcional, representa la magnitud del ajuste proporcional que se aplica al error o desviación de PV respecto a SP.
I	Control Integral, representa el ajuste en función del tiempo del error estacionario de PV respecto a SP.
P1	Presión de suministro a la salida de la unidad de mantenimiento del entrenador.
P2	Presión de control a la salida de PC1.
P3	Presión de control a la entrada de PV1.
OUTCOME	Pronóstico.

2) Mecanismo de captura de los datos.

Para la captura de los datos se crearon e integraron dos flujos en Node-RED que se muestran en Fig. 4, el primer flujo es responsable de la consulta de los valores de los datos del control del proceso. Los nodos del flujo se conectan directamente a los bloques de datos del PLC para obtener los valores en tiempo real. Para el establecimiento de la comunicación se utiliza el protocolo PROFINET.

El segundo flujo es el responsable de la consulta de los valores de presión y control. Ambos tipos de datos se integraron en un objeto JSON y se almacenaron en Archivos Separados por Coma (CSV). El intervalo de tiempo para la captura y almacenamiento de los datos fue de un segundo.

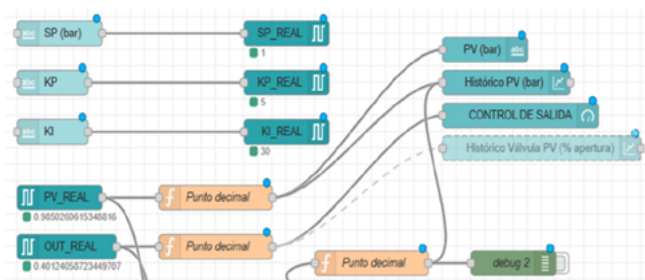


Fig. 4. Flujo Node-RED para captura de datos del proceso.

3) Creación de Dataset.

Inicialmente, se tomaron 23583 registros en buen funcionamiento modificando los valores de las variables SP, P, I. Durante este proceso se registraron los valores de las variables, en donde el PV alcanzó el valor de SP de forma estable. Se incorporaron los nombres de las columnas: Presion1, Presion2, Presion3, PV, Out, SP, P, I. Se etiquetaron los registros incorporando la columna OUTCOME, pronóstico, con valor = 0, que indica NO FALLA.

Posteriormente, se tomaron 7846 registros ante la presencia de fallo de "fuga en sellos de válvula PC1", modificando los valores de las variables SP, P, I únicamente con los valores en donde en el paso anterior la PV alcanzó de forma estable la SP. Se incorporaron los nombres de las columnas: Presion1, Presion2, Presion3, PV, Out, SP, P, I. Se etiquetaron los registros incorporando la columna OUTCOME con valor = 1, que indica FALLA.

Finalmente, se tomaron 9841 registros ante la presencia de fallo de "fuga a la atmósfera entre la salida de PC1 y PV1, modificando los valores de las variables SP, P, I únicamente con los valores en donde en el paso anterior la PV alcanzó de forma estable la SP. Se incorporaron los nombres de las columnas: Presion1, Presion2, Presion3, PV, Out, SP, P, I. Se etiquetaron los registros incorporando la columna OUTCOME con valor = 1, que indica FALLA. Se integraron todos los registros formando un Dataset con 41270 registros. Durante el proceso, se crearon notebooks de Jupyter utilizando el lenguaje Python para el tratamiento de los datos. Posteriormente se eliminaron registros de los Dataset que tenían valores en cero en donde no correspondía y una vez que los Dataset estuvieron listos, se procedió a unirlos y desordenarlos. En Fig. 5, se muestra una parte del Dataset creado.

Relation: Sensor_DATASET_FINAL									
No.	1: Presion1 Numeric	2: Presion2 Numeric	3: Presion3 Numeric	4: PV Numeric	5: Out Numeric	6: SP Numeric	7: P Numeric	8: I Numeric	9: Outcome Numeric
1	1.495	1.386	1.064	5.5	9.23	5.5	35.0	50.0	1.0
2	1.507	1.266	1.034	4.4	0.0	3.0	100.0	1.0	0.0
3	1.497	1.266	1.035	2.87	0.0	2.0	1.0	0.0	0.0
4	1.52	1.415	1.071	5.49	11.66	5.5	35.0	50.0	0.0
5	1.509	1.397	1.067	3.46	11.03	3.5	25.0	60.0	1.0
6	1.523	1.366	1.059	4.48	7.47	4.5	25.0	75.0	1.0
7	1.517	1.405	1.068	4.68	10.85	4.7	25.0	75.0	0.0
8	1.52	1.414	1.071	4.18	11.5	4.2	25.0	60.0	0.0
9	1.51	1.266	1.034	3.18	0.0	3.0	100.0	0.0	0.0
10	1.518	1.265	1.034	5.93	0.0	5.5	35.0	50.0	1.0
11	1.52	1.402	1.068	3.72	10.09	3.8	25.0	60.0	1.0
12	1.499	1.266	1.035	2.27	0.0	2.0	1.0	0.0	0.0
13	1.532	1.384	1.064	3.81	9.17	3.8	25.0	60.0	0.0
14	1.52	1.377	1.063	3.83	8.06	3.8	25.0	60.0	1.0

Fig. 5. Muestra de la estructura final del Dataset.

D. Entrenamiento de modelos de Aprendizaje Automático y puesta en producción

Se entrenaron y evaluaron cuatro modelos de Aprendizaje Automático, utilizando las siguientes métricas: Coeficiente De Correlación, Error Absoluto Medio, Raíz de Error Cuadrático, Error Relativo Absoluto, Error Relativo Cuadrático.

Los modelos entrenados y evaluados fueron:

- Regresión Logística.
- Árbol Aleatorio.
- Bosque Aleatorio.
- Perceptrón Multicapa de Clasificación.

El modelo seleccionado para poner en producción fue Perceptrón Multicapa. Para la puesta en producción se montó un servidor de aplicaciones Web Uvicorn con Linux sobre una imagen de Docker. Con esto se logró que el modelo funcionase como un servicio donde la consulta son los registros del proceso en un determinado momento, estos registros son pasados al modelo para su evaluación obteniendo como resultado un pronóstico de falla.

Resultados

En la tabla III se muestran los desempeños obtenidos por los modelos en las predicciones.

TABLA III. Desempeño de los modelos entrenados para predecir fallas

Modelo	Porcentaje general de aciertos (%)
Regresión Logística	35.8
Árbol Aleatorio	99.4
Bosque Aleatorio	99.7
Perceptrón Multicapa de Clasificación	96

El Modelo de Regresión Logística necesita mejoras, ya que su capacidad predictiva es baja y apenas supera un predictor trivial (la media). Los resultados fueron los esperados porque este modelo no es el más adecuado para la cantidad y la multi variedad de valores del Dataset. Los modelos de Árbol y Bosque Aleatorio, tienen una capacidad predictiva sobresaliente, son altamente precisos. Si no hay overfitting o sobreajuste, son modelos excelentes para la tarea. El Modelo Perceptrón Multicapa MLP en su variante de clasificación, implementa Redes Neuronales profundas. Se creó una instancia del modelo con las siguientes características:

- Escalamiento preliminar de los datos.
- 8 neuronas de entrada y 2 de salida.
- 100 capas de neuronas ocultas.
- 10000 iteraciones con algoritmo de optimización ADAM.
- Ratio de aprendizaje de 1-5.

El modelo produjo un rendimiento del 0.96 (96%). La matriz de confusión se muestra en Fig. 6.

[[5317 160]					
[237 4159]]					
		precision	recall	f1-score	support
0	0.96	0.97	0.96	0.96	5477
1	0.96	0.95	0.95	0.95	4396
accuracy				0.96	9873
macro avg	0.96	0.96	0.96	0.96	9873
weighted avg	0.96	0.96	0.96	0.96	9873

Fig. 6. Matriz de Confusión del Modelo Perceptrón Multicapa.

La Matriz de Confusión muestra que produjo 160 falsos positivos y 237 falsos negativos lo que indica que está muy bien equilibrado y su desempeño es excelente. Por lo que puede utilizarse para pronosticar fallos en el proceso industrial.

En la Fig. 7 se muestra gráficamente la estructura de la red neuronal.

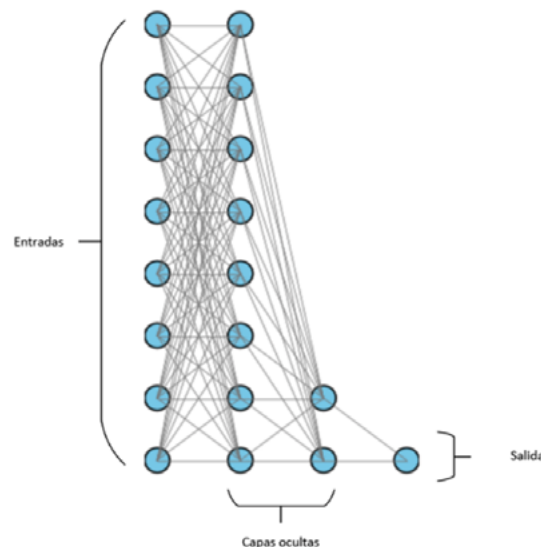


Fig. 7. Red Neuronal MLP puesta en producción.

Conclusiones

Considerando los resultados obtenidos, así como la puesta en producción del Modelo Perceptrón Multicapa MLP entrenado, se concluye que es factible implementar modelos de Aprendizaje Automático. El Modelo de Regresión Logística es muy simple, por lo que sus resultados no son aceptables para ser implementado.

Los modelos que se pueden utilizar en producción son: Perceptrón Multicapa y Bosque Aleatorio o Random Forest.

Consideraciones importantes sobre estos modelos:

- Perceptrón Multicapa consume bastante poder de proceso y tiempo durante el entrenamiento.
- El ajuste de Perceptrón Multicapa puede llegar a ser complejo, el investigador debe comprender muy bien cómo funciona y los algoritmos de optimización que lo conforman.
- Bosque Aleatorio es una mejora significativa, ya que combina múltiples árboles para reducir el error y mejorar la precisión.
- Si se busca un mejor rendimiento y menos sobreajuste, Perceptrón Multicapa y Bosque Aleatorio son la mejor opción.
- Se debe utilizar Bosque Aleatorio si se quiere mayor precisión y estabilidad en las predicciones.
- Se debe utilizar Perceptrón Multicapa de Clasificación, si se posee suficiente tiempo y poder de proceso, ya que puede

optimizarse para que se ajuste a datos multi variados como los que se producen en un proceso industrial.

En general, el proyecto demostró que es posible utilizar Modelos de Aprendizaje Automático para pronosticar fallas en un proceso industrial como el utilizado en esta investigación.

El mantenimiento predictivo es un elemento clave en el proceso de fabricación moderno. Puede utilizarse en industrias como la automovilística, la aeroespacial, la energética y la manufacturera, entre otros.

El mantenimiento predictivo puede ayudar a las empresas a ahorrar dinero reduciendo el tiempo de inactividad y evitando averías en los equipos. Las empresas pueden mejorar su servicio al cliente.

El mantenimiento predictivo prevé futuros acontecimientos adversos para programar el mantenimiento antes de que se produzcan las fallas.

Referencias

- [1] W. Dunn, *Fundamentals of Industrial Instrumentation and Process Control*, 2a.ed. Estados Unidos: McGraw-Hill, 2018.
- [2] A. Brunete, P. San Segundo y R. Herrero, "Sensores y actuadores" en *Introducción a la Automatización Industrial*, Madrid, España: Universidad Politécnica de Madrid, 2025. Cap. 2. pp. 36-65. [En línea]. Disponible en: <https://bookdown.org/alberto-brunete/intro-automatizacion/intro-automatizacion.pdf>
- [3] Sensores de automatización industrial. Guía de selección, RS. PRO, Londres, Inglaterra, pp.2-30. [En línea]. Disponible en: <https://surl.la/nbarft>
- [4] H. Ali, S. Noor, S. M., Bashi, and M.H. Marhaban, "A Review of Pneumatic Actuators (Modeling and Control)". ResearchGate. Aust. J. [On line]. Available: https://www.researchgate.net/publication/223260423_A_Review_of_Pneumatic_Actuators_Modeling_and_Control
- [5] M. S. Xavier et al., "Soft Pneumatic Actuators: A Review of Design, Fabrication, Modeling, Sensing, Control and Applications". IEEE Access. vol. 10, pp.1-44, Accessed Jun. 22 [On line]. Available: <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=9785890>
- [6] G. Buckbee, "Final control elements", *Process control basics*, 1a ed. Estados Unidos: International Society of Automation (ISA), 2022, Cap. 5, pp. 73-91. [On line]. Available: <https://shre.ink/oD8e>
- [7] E. Manrique Rojas, "Machine Learning: análisis de lenguajes de programación y herramientas para desarrollo", Risti, vol. 04, no. E28, pp.586-599, Fe. 2020. Accedido: 20 ago. 2025, [En línea]. Disponible en: https://media.proquest.com/media/hms/PFT/1/OSI9G?_s=pV2Pzcal8RftJa0Qyn708Gzh0Mc%3D
- [8] Deloitte. "Introduction to predictive maintenance (PdM)". Accessed: 10 jul. 2025. [On line]. Available: <https://www.deloitte.com/us/en/services/consulting/services/predictive-maintenance-and-the-smart-factory.html>
- [9] D. Bergman. "¿What is Machine Learning?" IBM. Accessed: 15 de enero de 2024. [On line]. Available: <https://www.ibm.com/think/topics/machine-learning>
- [10] P. De Wilde, "Neural Network Models: Theory and Projects", 2° ed. New York, U.S.A. Springer SBM, 2013. [On line]. Available: <https://shre.ink/o8C1>
- [11] F. Lee, "¿What are Neural Networks?" IBM. Accessed: 15 de enero de 2024. [On line]. Available: <https://www.ibm.com/think/topics/neural-networks>
- [12] J. Dalzochio, R. Kunst, E. Pignaton, A. Binotto, J. Barbosa, "Machine learning and reasoning for predictive maintenance in Industry 4.0: Current status and challenges", *Comput. Ind.*, vol. 123, Art. 103301, dic. 2020. Accessed: 15 de enero de 2024, doi: 10.1016/j.compind.2020.103298. [On line]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0166361520305327>
- [13] A. Kanawaday y A. Sane, "Machine learning for predictive maintenance of industrial machines using IoT sensor data", en *2017 8th IEEE International Conference on Software Engineering and Service Science (ICSESS)*, Pekin, China, 2017, pp. 87-90. [On line]. Available: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8342870/authors#authors>
- [14] AWS Industrial IoT Predictive Maintenance ML Model Reference Architecture, AWS Industrial. (2020). Architecture Diagrams [PDF]. Available: <https://d1.awsstatic.com/architecture-diagrams/ArchitectureDiagrams/aws-industrial-PdM-ML-storage-RA.pdf>
- [15] G. Liguori, "Predictive maintenance in industry 4.0: applications and advantages". CodeX. Accessed: 15 ene. 2024. [On line]. Available en: <https://medium.com/codex/predictive-maintenance-in-industry-4-0-applications-and-advantages-72bd7383823e>
- [16] C. S. Kulkarni, M. J. Daigle, G. Gorospe, and K. Goebel, "Experimental Validation of Model-Based Prognostics for Pneumatic Valves", *International journal of prognostics and health management*, vol. 8, p. 018, 2017. Accessed: Falta fecha de acceso [On line]. Available: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32747869/>
- [17] M. Daigle, C. S. Kulkarni and G. Gorospe, "Application of model-based prognostics to a pneumatic valves testbed", *2014 IEEE Aerospace Conference*, Big Sky, MT, USA, 01-08 Mar., 2014, pp. 1-8, doi: 10.1109/AERO.2014.6836319

EXTRACCIÓN DE COLORANTES ORGÁNICOS DE FLOR DE JAMAICA (HIBISCUS SABDARIFFA) Y PITAHAYA (HYLOCEREUS SPP) PARA SU APLICACIÓN EN PRODUCTOS ALIMENTICIOS

Alma Verónica García Barrera

Master en Sistemas de Calidad y Productividad. Docente Investigadora, Escuela de Ingeniería Química. Escuela Especializada en Ingeniería ITCA FEPADE, Sede Central Santa Tecla.
Correo electrónico: alma.garcia@itca.edu.sv

Tatiana Torres

Ingeniera en Alimentos. Técnico I en Centro de Educación e Investigación en Ciencias Aplicadas CEICA.
Correo electrónico: tatiana.torres@mined.gob.sv

Zaira Trejo

Ingeniera Agroindustrial. Técnico I en Centro de Educación e Investigación en Ciencias Aplicadas CEICA.
Correo electrónico: zaira.trejo@mined.gob.sv

Recibido: 22/05/2025 - Aceptado: 17/09/2025

Resumen

La creciente preocupación por los efectos adversos de los colorantes artificiales ha impulsado la búsqueda de alternativas naturales. Los objetivos de este estudio son explorar la extracción y aplicación en alimentos de los pigmentos orgánicos provenientes de la Flor de Jamaica y la Pitahaya, centrándose en sus metabolitos secundarios, betalainas y antocianinas, los cuales aportan color y actividad antioxidante. Se evaluaron distintos métodos físicos de extracción. Para la Pitahaya, la separación por columna empacada resultó más eficaz que la centrifugación, el extracto fue aplicado a yogur, sorbete y encurtido de cebolla; éste no es estable a temperaturas mayores a la del medio ambiente, aproximadamente 25 °C, ni a pH ácidos. Por lo cual, no se recomienda su adición en productos alimenticios que requieran calentamientos, incluso moderados, ni tampoco a alimentos de carácter ácido. Para la Flor de Jamaica, se empleó lixiviación y concentración por rotoevaporación, logrando una concentración de antocianinas de 2,862.4 mg/L y pH ácido. Este colorante demostró mayor estabilidad térmica y química, cuando se aplicó a alimentos como yogur y repostería, pero su compatibilidad con ciertos ingredientes es restringida. Estas características lo hacen propicio para ser incorporado a productos alimenticios ácidos y con bajo contenido en grasa. Es necesario ahondar en el estudio de aditivos o sustancias que contribuyan a retardar la degradación de los colorantes obtenidos, a fin de potenciar su capacidad tintórea en alimentos o cosméticos.

Palabras clave

Antioxidantes, antocianinas, colorantes orgánicos, extracción de pigmentos, Flor de Jamaica, Pitahaya.

ORGANIC COLORANTS EXTRACTION FROM JAMAICA FLOWER (HIBISCUS SABDARIFFA) AND PITAHAYA (HYLOCEREUS SPP) TO BE APPLIED IN FOOD PRODUCTS

Abstract

Growing concern about the adverse effects of artificial dyes has prompted the search for natural alternatives. The objectives of this study are to explore the extraction and application in food of organic pigments from Jamaica Flower and Pitahaya, focusing on their secondary metabolites, betalains and anthocyanins, which provide color and antioxidant activity. Different physical extraction methods were evaluated. For Pitahaya, separation by packed column was more efficient than centrifugation; the extract was applied to yogurt, ice cream and onion pickle; it is not stable at temperatures higher than the environment, approximately 25 °C, nor at acid pH. Therefore, it is not recommended to be added to food products that require heating, even moderate, nor to acidic foods. For Jamaica Flower, leaching and concentration by rotoevaporation were used, achieving an anthocyanin concentration of 2,862.4 mg/L and acid pH. This colorant showed greater thermal and chemical stability when applied to foods such as yogurt and confectionery, but its compatibility with certain ingredients is restricted. These characteristics make it suitable to be incorporated into acid food products with low fat content. It is necessary to study in depth the study of additives or substances that contribute to retard the degradation of the dyes obtained, in order to enhance their dyeing capacity in food or cosmetics.

Keywords

Antioxidants, anthocyanins, organic dyes, pigment extraction, Hibiscus Flower, Pitahaya.

Introducción

Estudios recientes han demostrado que el consumo excesivo de colorantes artificiales está relacionado a padecimientos como alergias y otras afecciones para la salud. [1][2][3][4]

Existen antecedentes locales y regionales de investigaciones que se enfocan en los métodos de extracción de pigmentos y otros compuestos con significativo aporte nutricional de la Pitahaya y la Flor de Jamaica. En dichos estudios también han realizado ensayos para aplicar los compuestos obtenidos en diferentes productos alimenticios. [5][6][7][8][9][10]

Es por ello, que esta investigación busca aprovechar las propiedades químicas que se encuentran en componentes vegetales, como la Flor de Jamaica y la Pitahaya, para la obtención de colorantes orgánicos y la aplicación de éstos en productos alimenticios. Los metabolitos secundarios, betalainas y antocianinas, que se encuentran en este tipo de estructuras vegetativas, son el objeto de estudio para esta investigación, estos pigmentos biológicos cumplen doble función al ser aplicados en alimentos, pues brindan color y aportan actividad antioxidante.

Este estudio se enfoca en los métodos de extracción del colorante de la pulpa de la Pitahaya y de la Flor de Jamaica, así como la aplicación de los respectivos colorantes en productos alimenticios tales como yogur, sorbete, vegetales encurtidos y productos de repostería.

Del colorante de la Pitahaya se pudo comprobar que, de los dos métodos de extracción ensayados, los cuales fueron centrifugación y separación por columna empacada, el que reportó mejores resultados en cuanto a intensidad del color fue este último. El extracto fue analizado y se determinó que es de carácter ácido. Además, se aplicó el colorante en la fabricación de alimentos como yogur, sorbete y encurtido de cebolla. De estas formulaciones se concluyó que el colorante no es estable a incrementos de temperatura ni a pH ácidos, pues se degrada totalmente.

Para extraer el colorante de la Flor de Jamaica se empleó la lixiviación, el solvente utilizado fue retirado por medio de un rotoevaporador para concentrar la cantidad de pigmentos vegetales. Dicho colorante fue caracterizado por medio de pruebas fisicoquímicas reportando un contenido positivo de antocianinas y que rondan los 2,862.4 mg/L en concentración; además es de carácter ácido, pH = 2.52; densidad = 1.25 g/ml y con 56 °Brix. El pigmento vegetal se incorporó en la formulación de yogur, bizcocho esponjoso, espumillas y crema pastelera. De estos prototipos se determinó que el colorante exhibe buena estabilidad a altas temperaturas y a pHs ácidos, pero es incompatible con ciertos ingredientes ricos en grasa, como la yema de huevo, esto es debido a sus diferencias de acidez.

Colorantes alimentarios.

Los colorantes alimentarios son compuestos químicos que

proporcionan o intensifican el color de los alimentos. Estos pueden derivar de fuentes naturales como vegetales, animales o minerales, o ser producidos sintéticamente. El consumo diario de alimentos nos expone a una variedad de colores que estimulan el apetito, y los colorantes alimentarios desempeñan un papel crucial al mejorar la apariencia visual de los productos. Tanto los colorantes sintéticos como los naturales presentan ventajas y desventajas a considerar en la industria alimentaria. Aunque los sintéticos pueden ofrecer colores más llamativos, es esencial sopesar los posibles riesgos para la salud del consumidor asociados con su uso. [11].

Esta investigación se concentra en la extracción de pigmentos vegetales presentes en la Pitahaya y la Flor de Jamaica, compuestos que no solo aportan color a los alimentos, sino que también son fuentes de antioxidantes, los cuales está comprobado que aportan beneficios como la reducción de enfermedades coronarias y efectos antiinflamatorios, anticancerígenos y antitumorales. Según los investigadores Wang, Jiao y Lin, los frutos ricos en antocianinas muestran una elevada capacidad antioxidante frente a radicales libres. Debido a sus propiedades funcionales, las antocianinas ofrecen un gran potencial para el desarrollo de productos nutraceuticos innovadores y de alto valor para el consumo humano [12].

Desarrollo

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

En este artículo se presenta la metodología y el proceso experimental realizado en los laboratorios de la Escuela de Ingeniería Química de ITCA-FEPADE y en los laboratorios de Alimentos y Procesos Químicos del Centro de Educación e Investigación en Ciencias Aplicadas CEICA-MINEDUCYT, donde se realizaron de manera conjunta y con equipo especializado, el tratamiento y extracción de los colorantes de la Pitahaya y Flor de Jamaica; así como la aplicación de dichos colorantes orgánicos en las formulaciones de los productos alimenticios siguientes:

1. Yogur, 2. Sorbete, 3. Curtido de cebolla, 4. Bizcocho, 5. Espumillas y 6. Crema pastelera.

A. Extracción del colorante de la Pitahaya.

La Pitahaya o Fruta del Dragón, es un cactus trepador originario de Mesoamérica. Existen Pitahayas rojas y amarillas. Para esta investigación se emplearon frutos maduros, frescos y con el menor número de defectos, los cuales fueron donados de los cultivos de la Escuela Nacional de Agricultura (ENA).

Procedimiento de extracción

Se procesaron los frutos separando la pulpa de la cascara, la pulpa fue licuada con agua en proporciones de 1:1 y 2:1, posteriormente este producto fue tamizado y se colocó en un baño ultrasónico durante 30 minutos, con control de temperatura a 30°C. Este paso se realiza con la finalidad de lograr una emulsión más fina de los componentes de la mezcla.

Luego se colocó bajo agitación magnética durante 1 hora; luego se centrifugó a 6000 rpm por 15 minutos, posteriormente se decantó y se utilizó el sobrenadante.

Debido a la consistencia obtenida después del centrifugado y a los residuos de mucílago se procedió a extraer el pigmento de la Pitahaya por medio de cromatografía de adsorción de columna. Ambos extractos, proporción 1:1 y 2:1 en agua, fueron sometidos a la separación. Se colocaron 20 gramos de sílica gel en una columna cromatográfica de vidrio. Se conectó una bomba para realización de vacío y aceleración del proceso de separación.

B. Características fisicoquímicas del colorante de Pitahaya.

Se realizaron análisis fisicoquímicos a los colorantes de Pitahaya en concentración 1:2 y 2:1, entre ellos se nombra:

- Análisis de acidez (pH)
- Sólidos solubles, grados Brix.
- Colorimetría.

C. Aplicación del colorante de la Pitahaya

Se trabajó con la siguiente formulación base para elaborar los diferentes lotes de yogur: Leche entera 500.0 g. Leche en polvo 50.0 g. Cultivo 1.0 g.

Elaboración de yogur con colorante de Pitahaya.

Se pesaron las materias primas. Se mezcló la leche entera con la leche en polvo y se puso a calentar hasta alcanzar 45°C, se agregó el cultivo previamente hidratado. Se homogeneizó la mezcla y se dividió en dos partes iguales para aplicar el colorante extraído de la Pitahaya mediante el proceso de separación con columna y por centrifugación.

Se realizaron pruebas de color con un colorímetro a todos los prototipos antes y después de la fermentación para evaluar la estabilidad del colorante ante los cambios de temperatura y de pH. Se realizaron 10 prototipos debido a que se observó que añadiendo diferentes concentraciones de colorante de la Pitahaya y cambiando la etapa en la que se adicionaba, el colorante perdía su efecto ante cambios bruscos de temperatura y presentaba fotosensibilidad, Figura 1.



Figura 1. Prototipos de yogur con colorante de Pitahaya.

Elaboración de sorbete con colorante de Pitahaya.

Al igual que con el yogur se trabajó con una formulación base de sorbete a la cual se le agregó el colorante extraído de la Pitahaya, ya sea separado por centrifugación o por columna. Se realizaron dos prototipos con la siguiente concentración de colorante.

Prototipo No 1. Sorbete con colorante de Pitahaya extraído con columna. Mezcla base de sorbete 300 ml. Colorante extraído con columna o por centrifugación 8.0 g.

La formulación se mezcló en un agitador magnético. A ambos prototipos se les practicó pruebas de color con el colorímetro. Posteriormente, se añadió la mezcla con colorante en la sorbetera. Al final, se trasvasó el producto terminado a recipientes plásticos y se almacenó en condiciones de refrigeración, Figura 2. Se monitoreó la evolución del color en el sorbete durante tres meses.



Figura 2. Prototipos de sorbete con colorante de Pitahaya.

Curtido de cebolla con colorante de Pitahaya.

Con el objetivo de evaluar el comportamiento del colorante obtenido de la Pitahaya en alimentos ácidos se probó su incorporación en la formulación de un encurtido de cebolla, el cual es parte de la gastronomía salvadoreña. La fórmula base es la siguiente. Solución de vinagre blanco de alcohol de caña al 3% v/v 62.9 g. Cebolla blanca en trozos 94.3 g.

Esas proporciones de los componentes del encurtido se eligieron para dar cumplimiento a la Norma para frutas y hortalizas encurtidas Codex Stan 260-2007, la cual requiere que el peso escurrido mínimo para este tipo de producto no deberá ser menor del 50% del peso neto.

A los encurtidos terminados se les midió pH y color. Se conservaron los productos en condiciones de refrigeración. Se fabricaron dos prototipos con su respectivo testigo, solución de vinagre con colorante, Figura 3.



Figura 3. Prototipos de curtido con colorante de Pitahaya.

D. Extracción del colorante de la Flor de Jamaica.

Conocida comúnmente como Rosa de Jamaica, es una planta herbácea anual de la familia de las Malváceas originaria de África tropical. Las flores, de color rojo en la base y más pálido en los extremos, tienen un cáliz carnoso de color rojo intenso, siendo esta característica la más distintiva de la planta. Los cálices que envuelven al fruto maduro se recolectan cuando alcanzan un tono vinoso y se dejan secar al aire libre [13].

Procedimiento de extracción.

Se utilizó Flor de Jamaica seca y empacada al vacío. Adquirida en una cadena de supermercados local. Se seleccionó el material vegetal que visualmente no presentara defectos tales como partes marchitas, decoloradas o con picaduras.

Acondicionamiento de la Flor de Jamaica.

Las flores de Jamaica se pulverizaron en una licuadora industrial. Una vez obtenido el polvo fino se procedió a pesarla en balanza semi analítica.

Extracción del colorante de la Flor de Jamaica.

Para la extracción del colorante se seleccionó una lixiviación, separación sólido líquido, haciendo uso del equipo Soxhlet. Este método se utilizó por la bibliografía que respalda sus excelentes resultados en la extracción de este tipo de colorantes vegetales. [14][15]

El procedimiento seguido en cada extracción fue el siguiente:

Se pesó la Flor de Jamaica pulverizada y se colocó en cartuchos de papel filtro previamente desengrasado con éter etílico. Dichos cartuchos fueron colocados en el equipo Soxhlet.

Como solvente se utilizó alcohol etílico de 90° el cual fue colocado en un matraz de fondo redondo.

Todo el equipo fue colocado en la manta de calentamiento. Los extractos obtenidos al final del proceso fueron almacenados en frascos de plástico opaco y en condiciones de refrigeración.

Concentración del extracto.

Con el fin de recuperar el solvente, alcohol etílico de 90° y concentrar el colorante, se utilizó un evaporador rotativo. Las

condiciones en las que se operó el equipo fueron las siguientes: temperatura de baño de 60 °C y presión de vacío de 0.6 bar, en el serpentín la temperatura de enfriamiento fue de 5 °C.

El concentrado obtenido de este proceso fue almacenado en frascos de plástico opaco y forrado con papel aluminio para protegerlo de la luz, Figura 4. Se almacenó en condiciones de refrigeración.

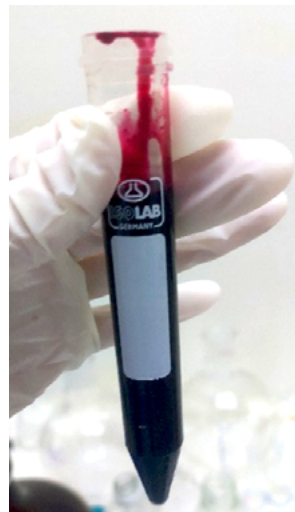


Figura 4. Concentrado de colorante extraído de la Flor de Jamaica.

E. Características fisicoquímicas del colorante de la Flor de Jamaica.

Al concentrado se le practicaron las siguientes pruebas fisicoquímicas:

- Análisis de acidez, (pH).
- Sólidos solubles, Grados Brix.
- Densidad. Se utilizó un método indirecto, el picnómetro.

Identificación y cuantificación de antocianinas. Para comprobar su presencia en el concentrado obtenido se realizó a una serie de diluciones a diferentes pHs, un espectro de absorción en la región UV - visible (250 - 900 nm) con un espectrofotómetro. El contenido total de antocianinas se calculó utilizando el método de pH diferencial.

F. Aplicación del colorante de la Flor de Jamaica en yogur.

Se utilizó la misma fórmula base de yogur que se describió en las pruebas con colorante de Pitahaya.

A 250 ml del yogurt base se le agregaron diferentes concentraciones de colorante extraído de la rosa de Jamaica. Cabe señalar que el colorante se agregó después del proceso de fermentación del yogurt para evitar cambios bruscos de temperatura. Se fabricaron 4 prototipos a los cuales también se les hizo estudio de colorimetría. Todos los prototipos experimentaron cambios de color.

G. Aplicación de colorante de Flor de Jamaica en bizcocho esponjoso.

Con el objetivo de probar la estabilidad y la capacidad tintórea del colorante obtenido se probó su incorporación en un producto "alcalino" y que fuera sometido a altas temperaturas como lo es el bizcocho.

A continuación, se presentan los ingredientes de la formulación: Huevo 3 unidades (aprox. 150 gramos). Azúcar 85 gramos. Harina de trigo suave 85 gramos. Esencia de vainilla 2.5 ml. Colorante de rosa de Jamaica 3.1 gramos.

H. Aplicación de colorante de Flor de Jamaica en espumillas.

También se buscó evaluar la efectividad del colorante extraído en el postre conocido como "espumilla". Los ingredientes se detallan a continuación. Clara de huevo 63.8 gramos. Azúcar 127.6 gramos. Colorante de Flor de Jamaica 3.1 gramos.

I. Aplicación de colorante de Flor de Jamaica en crema pastelera.

También se ensayó añadir el colorante en la formulación de un producto muy utilizado en la repostería, la crema pastelera. Las materias primas utilizadas fueron: crema pastelera comercial 113.4 gramos. Azúcar 56.7 gramos. Colorante de Flor de Jamaica 3.1 gramos.

Resultados

Los resultados para este estudio están basados en las pruebas fisicoquímicas realizadas a los extractos, así como pruebas de estabilidad de color en diferentes productos alimenticios, a los cuales se les aplicó los colorantes vegetales.

A. Características fisicoquímicas de los extractos de Pitahaya.

Ambos extractos, concentración 1:1 y concentración 2:1 fueron caracterizados. Se les realizaron pruebas de pH y de °Brix. Estos fueron los resultados. pH de Concentración 1:1, Valor Medio: 3.48. pH de Concentración 2:1, Valor Medio: 3.80. Ambos extractos presentan pHs ácidos típicos de los colorantes vegetales.

Resultados de sólidos solubles (°Brix) realizados a los distintos extractos de Pitahaya. °Brix de Concentración 1:1, Valor Medio: 6.5. °Brix de Concentración 2:1, Valor Medio: 8.9. Tanto el colorante de la Pitahaya extraído por columna, como por centrifugación, muestra relativas bajas concentraciones de sólidos solubles, posiblemente a su bajo contenido de azúcares presentes en ellos.

Los resultados de la colorimetría practicada a ambos extractos, se presentan a continuación.

Tabla I. Resultados de análisis de colorimetría realizados a los extractos de Pitahaya. Fuente: elaboración propia.

Concentración	Coordenadas CIELAB				Tonalidad
		L	a	b	
1:1	Promedio	19.97	16.39	1.69	
Concentración	Coordenadas CIELAB				Tonalidad
		L	a	b	
2:1	Promedio	20.28	22.51	4.12	

B. Colorimetría de prototipos de yogur con colorante de Pitahaya.

Se anexan resultados de estudios de color de los 10 prototipos realizados.

Tabla II. Resultados de colorimetría en prototipos de yogur con colorante extraído de la Pitahaya. Fuente: elaboración propia.

Concentración de colorante y método de extracción	Tonalidad	
	Día 1	Día 15
PROTOTIPO No 1 (4 gramos colorante COLUMNA)		
PROTOTIPO No 2 (6 gramos colorante COLUMNA)		
PROTOTIPO No 3 (4 gramos colorante CENTRIFUGACIÓN)		
PROTOTIPO No 4 (6 gramos colorante CENTRIFUGACIÓN)		
PROTOTIPO No 5 (15 gramos colorante COLUMNA)		
PROTOTIPO No 6 (20 gramos colorante COLUMNA)		
PROTOTIPO No 7 (15 gramos colorante CENTRIFUGACION)		
PROTOTIPO No 8 (20 gramos CENTRIFUGACION)		
PROTOTIPO No 9 *(4 gramos colorante CENTRIFUGACION)		
PROTOTIPO No 10* (4 gramos colorante COLUMNA)		

*En estos prototipos el colorante se agregó después del proceso de fermentación.

Puede apreciarse que en la mayoría de casos hubo una disminución de la tonalidad, pues el colorante no era estable a la elevación de la temperatura durante el proceso de la fermentación (45°C). Por lo que en los prototipos No 9 y No 10 se agregó después de la fermentación para evitar su degradación obteniéndose un resultado satisfactorio.

C. Resultados de colorimetría en sorbete.

Se elaboraron dos prototipos de sorbete con colorante de Pitahaya. Las mediciones de color se realizaron en 3 etapas: antes del proceso

de mantecación, 15 y 60 días después de la mantecación, para poder observar la estabilidad del colorante de la Pitahaya a bajas temperaturas (-2°C a 4°C) y con el paso del tiempo.

Los resultados de las pruebas de color realizadas son los siguientes:

Tabla III. Resultados de colorimetría en prototipos de sorbete con colorante extraído de la Pitahaya. Fuente: elaboración propia.

Concentración de colorante y método de extracción	Tonalidad		
	Día 1	Día 15	Día 60
PROTOTIPO No 1 (8 gramos COLUMNA)			
PROTOTIPO No 2 (8 gramos CENTRIFUGADO)			

El prototipo No 2 presentó una mayor estabilidad en el tiempo, pues por los resultados del colorímetro, se puede apreciar que las variaciones de intensidad y de color son mínimas.

D. Colorimetría en curtido de cebolla.

Para evaluar la estabilidad del color de los dos prototipos formulados, se realizaron pruebas por triplicado a la solución de vinagre a la cual se le había añadido el colorante. También se midió el pH del medio. Se reportan los promedios de dichas mediciones.

Tabla IV. Resultados de colorimetría y pH a prototipos de encurtido de cebolla con colorante extraído de la Pitahaya. Fuente: elaboración propia.

Concentración de colorante y método de extracción	Tonalidad	pH
Solución de vinagre con 1 gramo de CENTRIFUGADO		2.45
Solución de vinagre con 1 gramo de COLUMNA		2.38

Para la medición de color de la solución de vinagre de ambos prototipos se experimentaron dificultades, pues por la transparencia del medio, el equipo reportaba los resultados del fondo del contenedor, por lo que las tonalidades registradas en los cuadros anteriores no corresponden a la realidad óptica del color en el producto.

Cabe mencionar que ambos prototipos perdieron totalmente el color en la solución de vinagre alrededor de los 15 días de elaboración. Su tonalidad pasó a la naturaleza del vinagre industrial al 3% sin ningún colorante.

E. Caracterización fisicoquímica del concentrado de colorante de Flor de Jamaica.

Los resultados se presentan en la siguiente tabla:

Tabla V. Resultados de pruebas fisicoquímicas de concentrado Flor de Jamaica. Fuente: elaboración propia.

Prueba	Resultado	Análisis
pH	2.52	El concentrado es todavía más ácido que el lixiviado del cual provino. Esto es debido a la presencia de ácidos orgánicos y antocianinas presentes en él.
Grados Brix	56 °	Concentración relativamente alta de sólidos solubles posiblemente por presencia de azúcares en el concentrado.
Densidad	1.2548 g/ml	Puede apreciarse que es un líquido con densidad mayor que la del agua.

F. Identificación de antocianinas.

Las antocianinas son compuestos fenólicos del grupo de los flavonoides. Se encuentran en algunos tejidos vegetales que van del color rojo al azul como los arándanos o la Flor de Jamaica.

Las antocianinas presentan un espectro de absorción característico con bandas alrededor de 250, 370 y 500- 545 nm. Esta última banda de absorción varía con el pH del medio y muestra información sobre el tipo de antocianina presente en la muestra. [16]

En la tabla siguiente se observan las intensidades de las bandas de absorción por tipo de antocianina, esta información fue utilizada para la identificación de este compuesto en el concentrado de Flor de Jamaica.

Tabla VI. Bandas de absorción de las antocianinas más comunes. Fuente: Adaptación propia con base a Ortega, G. M., & Guerra, M. (2006).

Compuesto	Banda de absorción (nm)	Coefficiente de extinción
Pelargonidina	530	32000
Pelargonidina 3 - glucósido	515	13000
Cianidina 3 - glucósido	525	29600
Malvidina 3 - glucósido	535	29500
Malvidina 3,5 - diglucósido	520	37700

Para comprobar su presencia en el concentrado obtenido se realizó un scan en la región UV - visible (250 - 900 nm) con un espectrofotómetro UV-VIS Lambda 265 de Perkin Elmer, de una serie de diluciones a diferentes pH.

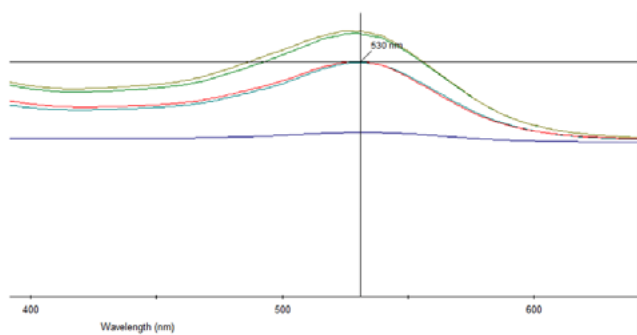


Figura 5. Sección de espectro UV VIS de antocianinas en extracto de Flor de Jamaica.

Puede verse en la Figura 5 que el extracto tiene máxima absorción entre las longitudes de 500 a 550 nm lo cual es indicativo de presencia de antocianinas y específicamente el punto de máxima absorción está ubicado en 530 nm, lo cual da pie a identificar que la antocianina predominante en el concentrado de Flor de Jamaica es la Pelargonidina (véase tabla anterior)

G. Cuantificación de antocianinas en el concentrado de Flor de Jamaica.

Puesto que se identificó la presencia de la antocianina Pelargonidina, se procedió a cuantificar el contenido total de antocianinas en el concentrado. El cual se determinó por espectrofotometría UV - VIS por el método de pH diferencial.

Se midió la absorbancia del concentrado a pH de 1 y la absorbancia del concentrado a pH de 4. Se hizo la lectura en el espectrofotómetro a 520 nm y a 700 nm. La concentración de antocianinas fue determinada mediante la Ecuación 1. Las pruebas se realizaron por triplicado. Los resultados son los siguientes:

Tabla VII. Absorbancias del concentrado de Flor de Jamaica a pH 1 y pH 4. Fuente: elaboración propia.

Lon. de onda	pH	Absorbancia			Promedio
520 nm	1.0	0.8660	0.90987	0.88926	0.8884
	4.0	0.21170	0.2155	0.23742	0.2215
700 nm	1.0	-0.0266	-0.03199	-0.03242	-0.0303
		-0.03438	-0.01720	-0.01369	-0.0218

Los valores promedios de absorbancias fueron sustituidos en las siguientes ecuaciones para calcular la absorbancia ajustada y el contenido de antocianinas presentes en el concentrado.

Ecuación 1:

$$\text{Concentración } \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}} \right) = \left(\frac{\text{Absorbancia ajustada}}{\text{Coeficiente de extinción molar}} \right) \times \text{PM} \times 1000 \times \text{FD}$$

La absorbancia ajustada se calcula con la siguiente ecuación:

Ecuación 2:

$$\text{Absorbancia ajustada} = (\text{Abs}_{520} - \text{Abs}_{700})\text{pH}1.0 - (\text{Abs}_{520} - \text{Abs}_{700})\text{pH}4$$

Donde:

- PM (peso molecular) = 271,24 g/mol como Pelargonidina.
- Coeficiente de extinción molar = 32000 de Pelargonidina.
- 1000 es el factor de conversión de molar a ppm (mg/L)
- FD (factor de dilución) = 50X * 10X = 500X

Al sustituir los datos de absorbancia y otras constantes químicas en las ecuaciones los resultados son los siguientes:

- Absorbancia ajustada = 0.6754
- Concentración $\left(\frac{\text{mg}}{\text{L}} \right) = 2,862.4 \text{ mg/L}$

Este resultado indica que los procesos de extracción utilizados fueron efectivos. Además, es consecuente con los otros parámetros fisicoquímicos tales como pH, densidad y grados Brix.

H. Aplicación de colorante de Flor de Jamaica en yogur

De la misma forma que se hizo con el colorante de la Pitahaya, también se probó la capacidad tintórea del colorante de la Flor de Jamaica en productos lácteos. El procedimiento que se siguió para hacer los estudios de color con los productos, es el mismo que se siguió con los yogures con colorante de Pitahaya.

Los resultados de los prototipos de yogur con colorante de Flor de Jamaica son los siguientes:

Tabla VIII. Resultados de colorimetría de prototipos de yogur con colorante de Flor de Jamaica. Fuente: elaboración propia.

Concentración de colorante y método de extracción	Tonalidad		
	Día 1	Día 2	Día 7
PROTOTIPO No 1 (0.5 gramos colorante)			Ambos prototipos presentaron clorofila por eso se descartaron
PROTOTIPO No 2 (1 gramos colorante)			
PROTOTIPO No 3 (0.5 gramos colorante)		No se midió color	
PROTOTIPO No 4 (1 gramos colorante)		No se midió color	

I. Aplicación de colorante de Flor de Jamaica en bizcocho esponjoso

Desde el inicio de la formulación se observó incompatibilidad con la yema del huevo, la cual se coaguló al tener contacto con el colorante, debido a su pH ácido 2.52. La mezcla adquirió color gris el cual no pudo ser corregido al añadir más colorante, pues éste no se integró con la formulación



Figura 6. Corte del bizcocho con colorante de Flor de Jamaica.
Fuente: elaboración propia.

J. Aplicación del colorante de Flor de Jamaica en "espumillas"

Otro producto de interés de carácter "alcalino" y que se somete a altas temperaturas es la "espumilla", el cual es un postre popular en nuestro país. Los resultados de esta formulación son los siguientes:



Figura 7. Espumilla con colorante de Flor de Jamaica 24 horas después del horneado. Fuente: elaboración propia.

El colorante presentó buena estabilidad y no se degradó.

K. Aplicación de colorante de Flor de Jamaica en crema pastelera.

La crema pastelera a diferencia de los productos anteriores no requiere calentamiento. Así que se eligió probar el colorante para evaluar su estabilidad en el tiempo. Estos son los resultados:



Figura 8. Crema pastelera con colorante de Flor de Jamaica.
Fuente: elaboración propia.

La crema pastelera presentó buena untuosidad y el color se mantuvo estable durante las pruebas.

Conclusiones

1. Extracción de colorante de la Pitahaya: de los dos métodos de separación físicos utilizados para la extracción del colorante en la pulpa de la Pitahaya, el que ofreció mejores resultados en cuanto a intensidad del color fue la separación por centrifugado, esto se debe a la poca presencia de mucilago en el extracto, lo cual favoreció su integración con los ingredientes de los alimentos a los que fue añadido.
2. Características del colorante extraído de la Pitahaya: por los resultados obtenidos en las pruebas fisicoquímicas, se establece que el colorante es de carácter ácido $\text{pH}=3.64$, con una concentración de sólidos solubles, dependiendo de su concentración en extracto agua: 6.5°Brix para 1:1 y 8.9°Brix para 2:1.
3. Estabilidad del colorante extraído de la Pitahaya: con base a los resultados obtenidos de los estudios de colorimetría en las diferentes formulaciones de alimentos que contenían el colorante, se puede concluir que no es estable a temperaturas mayores a la del medio ambiente (aproximadamente 25°C) ni a pH ácidos. Por lo que, no se recomienda su adición en productos alimenticios que requieran calentamientos, incluso moderados, ni tampoco a alimentos de carácter ácido. Los mejores resultados se obtuvieron en el sorbete, pues este producto por sus características de elaboración y de almacenamiento no requiere de altas temperaturas.

4. Extracción del colorante de la Flor de Jamaica: se comprobó que el método físico de separación lixiviación fue efectivo para extraer el colorante presente en la Flor de Jamaica, esto fue corroborado por los resultados positivos obtenidos en la identificación y cuantificación de antocianinas, por medio de espectrofotometría UV - VIS y el método de pH diferencial.
5. Características del colorante extraído de la Flor de Jamaica: por los resultados de las pruebas fisicoquímicas practicadas al extracto se puede decir que, el colorante es de carácter ácido pH = 2.52, más denso que el agua 1.25 g/ml, con una concentración de sólidos solubles de 56 °Brix y con un contenido total de antocianinas de 2,862.4 mg/L. Estas características lo hacen propicio para ser incorporado a productos alimenticios ácidos y con bajo contenido en grasa tal y como se comprobó en la etapa de formulación de diferentes prototipos de alimentos.
6. Estabilidad del colorante extraído de la Flor de Jamaica: por los resultados de las pruebas realizadas en productos como yogur y derivados de la panadería, se puede concluir que el colorante es compatible con productos de carácter ácido, pues mantiene la intensidad del color a través del tiempo; es incompatible con ingredientes ricos en grasa como la yema de huevo, pues los coagula o no se integra en la formulación. El colorante es estable a altas temperaturas, puesto que en alimentos como las espumillas que requieren ser horneados no se perdió la coloración de forma significativa.

Agradecimientos

Se agradecen las contribuciones de la chef Téc. Ivonne Lobos Ramírez en la preparación de los alimentos de este proyecto, docente de la Escuela de Tecnología en Alimentos de ITCA FEPADE.

Referencias

- [1] M. Pellicer, "Revisión bibliográfica sobre los efectos adversos de los colorantes sintéticos de 2008 a 2021". 2021.
- [2] J. A. Lemus Valdez, «Efectos de los colorantes en la comida.», Revista Académica Colegio Internacional Montessori, vol. 1, 2020.
- [3] M. H. & H. O. B. G. Salazar Vallejo, "Uso de colorantes alimentarios (artificiales y naturales) y su impacto en la salud: revisión de la literatura". 2022.
- [4] M. J. R. C. B. S. P. A. G. S. A. G. R. N. & H. G. C. Ruiz Fuentes, "El uso de los colorantes alimentarios y su impacto en la seguridad alimentaria." Revista Ocronos, vol. 7, n° 10, 2024.
- [5] M. E. Cervantes-Sánchez, J. L. Huicab-Martínez y J. A. García-Vela, "Obtención de un colorante natural a partir de la Pitahaya (*Hylocereus undatus* haworth, britton y rose) de la región sur del estado de

Campeche" Mexican Journal of Biotechnology, vol. 2, n° 2, pp. 65 - 73, 2017.

[6] Z. Córdoba, "obtención de un colorante orgánico para la industria alimentaria a partir del fruto pitahaya (*Hylocereus undatus*)" Managua, 2014.

[7] R. E. F. R. J. C. & A. C. A. G. Quiroz, "Producción, composición y usos de la Jamaica" Revista Universitarios Potosinos, vol. 6, n° 6, 2022.

[8] I. B. Ordóñez Zhagui y R. B. Saavedra Rodríguez, "Extracción y uso del colorante natural de la flor de jamaica (*Hibiscus Sabdariffa*) como alternativa para la elaboración de salchicha y yogur". 2016.

[9] A. E. Llamuca Arévalo, "Extracción de colorantes naturales de jamaica (*Hibiscus sabdariffa*), mora andina (*Rubus glaucus*) y UVA (*Vitis vinifera*) para el uso en la industria de alimentos", 2018.

[10] S. M. y. C. Mejía, "Extracción de colorante a partir de la Flor de Jamaica" Managua, 2012.

[11] D. Badui, Química de los Alimentos, Pearson Education, 2006.

[12] X. F. G. L. I. H. M. J. M. B. J. & Q. V. J. D. de la Rosa Reyna, "antocianinas, propiedades funcionales y potenciales aplicaciones terapéuticas", Revista Boliviana de Química, vol. 39, n° 4, pp. 155-162, 2022.

[13] J. M. Á. Cea, "Propuesta de un extracto colorante a partir de *Hibiscus sabdariffa* para ser usado en la industria textil", 2012.

[14] M. M. & W. R. E. Giusti, "Characterization of red radish anthocyanins", Journal of Food Science, vol. 2, n° 61, pp. 322-326, 1996.

[15] C. A. R. Luis, "Efecto de uso del extracto de la Flor de Jamaica (*Hibiscus sabdariffa*) como colorante natural y fuente de antioxidantes en las características fisicoquímicas de yogur sabor a fresa". Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Zamorano, 2017.

[16] Ortega, G. M., & Guerra, M. (2006). Separación, caracterización estructural y cuantificación ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar, vol. XL, n° 3, pp. 3-11, 2006.

DISEÑO DE TECNOLOGÍAS DE MODELADO DIGITAL PARA FORTALECER EL APRENDIZAJE VIRTUAL EN NAVEGACIÓN MARÍTIMA EN EL CENTRO DE EDUCACIÓN E INSTRUCCIÓN NAVAL CEIN, LA UNIÓN

Edgardo Antonio Claros Quintanilla

Máster en Dirección de Empresas. Ingeniero en Sistemas Informáticos. Docente Investigador. Escuela Especializada en Ingeniería ITCA FEPADE, Centro Regional La Unión.
Correo electrónico: edgardo.claros@itca.edu.sv

Danilo Yoalmo López López

Licenciado en Ciencias de la Computación. Docente Coinvestigador. Escuela Especializada en Ingeniería ITCA FEPADE, Centro Regional La Unión.
Correo electrónico: dlopez@itca.edu.sv

Recibido: 21/08/2025 - Aceptado: 03/09/2025

Resumen

La Escuela Especializada en Ingeniería ITCA-FEPADE, Centro Regional La Unión, a través de la carrera Técnico en Ingeniería de Desarrollo de Software, realizó un proyecto de investigación que se enfocó en el diseño e implementación de un simulador virtual interactivo para fortalecer la formación en navegación marítima de estudiantes cadetes del Centro de Educación e Instrucción Naval (CEIN) de La Unión, El Salvador. A partir de un diagnóstico técnico-pedagógico, se identificó la necesidad de innovar y actualizar el simulador existente con instrumentación funcional en el puente de mando. En tal sentido, se desarrolló un sistema digital que replica los instrumentos operativos del buque utilizado actualmente por la Fuerza Naval del país, con el objetivo de mejorar la preparación técnica y operativa de los estudiantes. El simulador incluyó nueve instrumentos digitales diseñados mediante tecnologías Web: compás magnético, rueda de gobierno, clinómetro, mandos de aceleración, indicadores del sistema de propulsión, anemómetro, sistema e indicador de combustible, controles de timones individuales y sistema de apagado de emergencia. El proceso de desarrollo se estructuró en cuatro fases: planificación, diagnóstico, diseño funcional e implementación, permitiendo integrar funcionalidades que responden dinámicamente a variables del entorno marítimo simulado. Además, se diseñó un sistema básico de retroalimentación para que los instructores evalúen manualmente el desempeño estudiantil durante las prácticas. Los resultados evidenciaron que la propuesta permitirá una mejora significativa en el entorno formativo, al brindar una experiencia de aprendizaje inmersiva, segura y alineada con condiciones reales de navegación. El simulador contribuyó a reforzar competencias técnicas, aumentar la confianza operativa de los estudiantes y reducir los riesgos y costos asociados al entrenamiento en embarcaciones reales. Este proyecto constituyó un avance estratégico para el CEIN y sentó las bases para futuras innovaciones en simulación educativa aplicada en el ámbito marítimo.

Palabras clave

Simulador marítimo, modelado digital, instrumentación virtual, formación técnica naval, aprendizaje experiencial.

DESIGN OF DIGITAL MODELING TECHNOLOGIES TO STRENGTHEN VIRTUAL LEARNING IN MARITIME NAVIGATION AT THE CENTRO DE EDUCACIÓN E INSTRUCCIÓN NAVAL (CEIN), LA UNIÓN

Abstract

The Escuela Especializada en Ingeniería ITCA-FEPADE, Regional Center La Unión, through the Software Development Engineering Technician career, carried out a research project focused on the design and implementation of an interactive virtual simulator to strengthen the maritime navigation training of cadet students of the Centro de Educación e Instrucción Naval (CEIN) of La Unión, El Salvador. Based on a technical-pedagogical diagnosis, the need to innovate and update the existing simulator with functional instrumentation on the bridge was identified. In this sense, a digital system was developed that replicates the operational instruments of the ship currently used by the country's Naval Force, with the objective of improving the technical and operational preparation of the students. The simulator included nine digital instruments designed using web technologies: magnetic compass, navigation wheel, clinometer, acceleration controls, propulsion system indicators, anemometer, fuel system, individual rudder system controls and an emergency shutdown module. The development process was structured in four phases: planning, diagnosis, functional design and implementation, allowing the integration of functionalities that respond dynamically to variables of the simulated maritime environment. In addition, a basic feedback system was designed for instructors to manually evaluate student performance during internships. The results showed that the proposal will allow a significant improvement in the training environment by providing an immersive learning experience, safe and aligned with real

navigation conditions. The simulator helped to reinforce technical skills, increase students' operational confidence, and reduce the risks and costs associated with training on real vessels. This project constituted a strategic breakthrough for CEIN and laid the foundation for future innovations in educational simulation applied in the maritime field.

Keywords

Maritime simulator, digital modeling, virtual instrumentation, naval technical training, experiential learning.

Introducción

En los últimos años, la evolución tecnológica ha introducido transformaciones significativas en los modelos de enseñanza-aprendizaje, particularmente en los campos técnicos donde la destreza práctica y la toma de decisiones son competencias centrales. La educación marítima, al situarse en este cruce entre teoría, precisión operativa y entorno cambiante, exige estrategias formativas que repliquen condiciones reales de navegación sin comprometer la seguridad ni los recursos. En este marco, los entornos virtuales interactivos y los simuladores computarizados se han consolidado como herramientas pedagógicas clave para el desarrollo de habilidades técnicas complejas. No obstante, su implementación efectiva requiere de diseños didácticos cuidadosamente estructurados y sistemas que logren representar con fidelidad los elementos críticos del contexto operativo.

El Centro de Educación e Instrucción Naval (CEIN) de La Unión, El Salvador, institución dedicada a la formación de profesionales en el ámbito marítimo, ha enfrentado desafíos relevantes para ofrecer experiencias de simulación alineadas con los estándares actuales del sector. Cuenta con un simulador computarizado básico, que requiere el diseño innovador de instrumentación funcional en el puente de mando, para fortalecer su valor formativo en un entorno marítimo moderno, cada vez más exigente en términos de habilidades prácticas y resolución de problemas en tiempo real, utilizando recursos tecnológicos disponibles para la enseñanza. Se debe tener presente tal como algunos autores lo han puntualizado: los simuladores con capacidades avanzadas de instrumentación y realismo, son herramientas indispensables para garantizar que los estudiantes adquieran competencias prácticas y sean capaces de adaptarse a las exigencias del sector [1].

Frente a este panorama, la presente investigación se propuso diseñar e integrar un conjunto de instrumentos digitales, modelados mediante tecnologías Web, que permitieran representar de manera realista y dinámica las funciones esenciales de un puente de mando.

Entre los componentes considerados se encuentran el compás magnético, la rueda de navegación, el clinómetro, los mandos de aceleración, el sistema de propulsión, el anemómetro, los indicadores de combustible, los controles de timón y un sistema de apagado de emergencia. La propuesta se estructuró para fortalecer el proceso formativo del CEIN, y como una estrategia para introducir un entorno

virtual más inmersivo, seguro y adaptado a las condiciones reales del mar. En ese sentido, este artículo presenta la fundamentación, el diseño y la implementación de dicha solución, situándola en el marco de las discusiones actuales sobre simulación educativa, aprendizaje experiencial y desarrollo de competencias técnicas para el ámbito marítimo [2].

Desarrollo

METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

El proyecto se elaboró en 4 fases:

Fase I. Planificación e investigación de campo preliminar.

Esta fase consistió en la planificación de las visitas de campo que se realizaron al CEIN para estudiar el estado actual de operación del simulador de navegación naval. Para ello se utilizaron herramientas de investigación, como hojas de observación, fichas de entrevistas y entrevistas con expertos, entre otros.

Fase II. Elaboración de diagnóstico.

En esta parte del proyecto se realizaron 3 visitas de campo al CEIN, para aplicar las herramientas de la etapa anterior; estos datos fueron analizados con el objetivo de establecer los requerimientos necesarios para el desarrollo de los instrumentos de navegación digital.

Fase III. Desarrollo del simulador.

Con los requerimientos establecidos, se procedió a desarrollar los 9 instrumentos de navegación digitales para la enseñanza y adiestramiento de las competencias, así como el manejo efectivo de las embarcaciones en diferentes situaciones que enfrenten los estudiantes.

Fase IV. Implementación y formulación de documentos del proyecto.

En esta fase se presentó y se implementó el simulador final al CEIN, con el objetivo de evaluarlo, validarlo e identificar mejoras. Se formuló el Informe Final con los resultados correspondientes al proyecto.

Resultados

Como parte del cumplimiento de los objetivos del proyecto de investigación, se procedió al diseño y desarrollo de un simulador virtual basado en las características operativas del buque, actualmente en uso por la Marina de El Salvador. Este modelo fue seleccionado como referencia por su relevancia en la formación práctica de los estudiantes y por representar un estándar operativo dentro del contexto institucional. El simulador fue concebido con el propósito de fortalecer las competencias técnicas en el uso de los instrumentos del puente de mando, replicando condiciones de navegación con un alto grado de realismo e interactividad. Esta aproximación permitió que los estudiantes comprendieran de manera aplicada los principios técnicos involucrados en la operación de cada sistema a bordo.

Como resultado del desarrollo de esta solución tecnológica, se diseñaron e integraron los siguientes instrumentos digitales de navegación:

Compas Magnético. El compás magnético es un instrumento de orientación fundamental en la navegación marítima. Este dispositivo utiliza la interacción con el campo magnético terrestre para determinar el rumbo de la embarcación. Se diseñó e implementó un modelo de compás magnético virtual que emula la orientación relativa a los puntos cardinales. Este instrumento permite simular las condiciones de navegación real para la orientación de la embarcación y su integración con otros controles del puente de mando (Fig. 1).

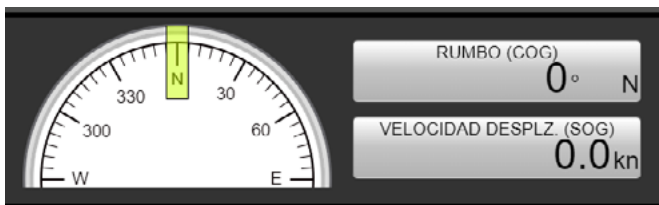


Fig. 1 Compás Magnético. (a) Rumbo (COG), (b) Velocidad de Desplazamiento (SOG).

Rueda de Gobierno. Es el instrumento utilizado para maniobrar la embarcación mediante el control del timón. Este sistema está adaptado para un control preciso de la dirección del barco, permitiendo ajustes rápidos y seguros en cualquier tipo de maniobra.

La rueda de gobierno (navegación) replicó con precisión los giros en grados y su relación directa con el sistema de timones. Las pruebas demostraron que los indicadores de los ángulos de los timones responden a los giros de la rueda de gobierno, lo que garantiza su funcionalidad como herramienta de entrenamiento o análisis (Fig. 2).



Fig. 2. Rueda de Gobierno.

Clinómetro. Este instrumento mide el ángulo de inclinación o escora de la embarcación respecto a su eje vertical. Este instrumento es crucial para determinar la estabilidad del buque durante maniobras y condiciones de mar severas.

El control de clinómetro virtual logró reproducir inclinaciones longitudinales y laterales del navío en tiempo real, aportando un valor significativo para la evaluación de la estabilidad de la embarcación bajo diferentes condiciones, como viento o mareas (Fig. 3).

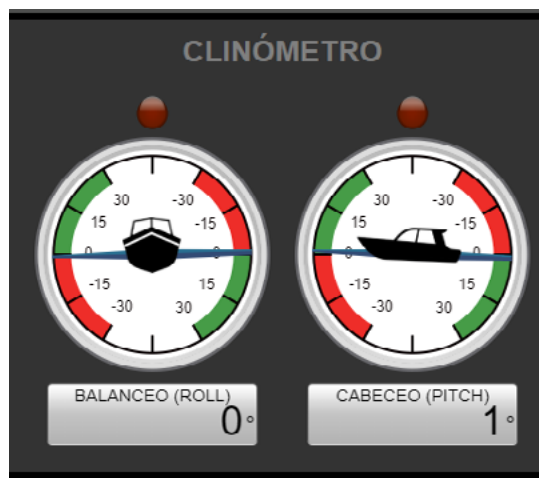


Fig. 3. Control de Clinómetro. Balanceo (ROLL), Cabeceo (PITCH).

Mandos de Aceleración. Permiten regular la velocidad de la embarcación mediante el ajuste del motor. Este instrumento es fundamental para controlar el ritmo de navegación y la capacidad de respuesta de la embarcación ante maniobras.

Los mandos de aceleración simulan las configuraciones de potencia de los motores de acuerdo a los manuales de los motores proporcionados por el CEIN (Fig. 4).

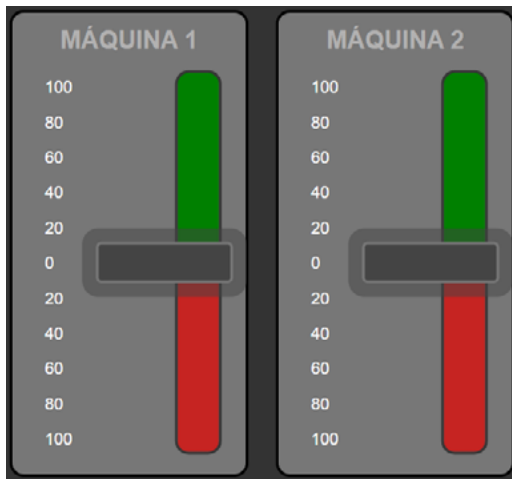


Fig. 4. Controles de Mando de Aceleración de motores. Control de Aceleración Motor Izquierdo, Control de Aceleración Motor Derecho.

Indicadores del Sistema de Propulsión. Son esenciales para supervisar el estado operativo del sistema de motores y hélices del buque. Estos instrumentos proporcionan información sobre la velocidad de giro de las hélices, la potencia del motor, la temperatura y otros parámetros vitales que afectan el rendimiento del sistema de propulsión.

Los indicadores del sistema de propulsión indican los niveles de presión de aceite y refrigerante, la temperatura en grados centígrados del aceite y refrigerante, así como también las RPM o revoluciones por minuto del motor. Estos indicadores son de vital importancia para observar el rendimiento de los motores y evitar estados críticos que lo dañen (Fig. 5).



Fig. 5. Indicadores Sistema de Propulsión.

Anemómetro. Mide la velocidad y dirección del viento, proporcionando datos críticos para la navegación segura. Este instrumento es fundamental para planificar rutas, ajustar la velocidad y dirección del barco y prevenir accidentes debido a vientos fuertes o racheados.

Se simuló un anemómetro capaz de representar velocidades del viento en nudos y dirección relativa. Este instrumento resultó fundamental para evaluar los efectos del viento en las maniobras del buque, logrando mediciones consistentes con datos hipotéticos realistas (Fig. 6).

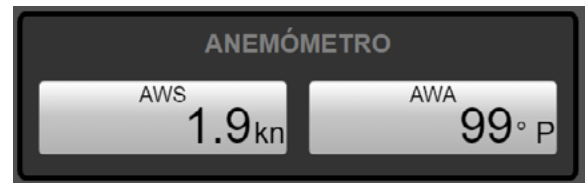


Fig. 6. Indicador Anemómetro, (a) Indicador de Velocidad de Viento Aparente, (b) Indicador de Ángulo de Viento Aparente.

Sistema de Indicador de Combustible. Supervisa la cantidad y el flujo de combustible disponible en el buque, lo cual es crucial para planificar viajes y garantizar la operación continua.

Se diseñó un indicador de combustible que muestra el consumo relativo al uso del sistema de propulsión y otros factores simulados, permitiendo evaluar la eficiencia energética del sistema (Fig. 7).



Fig. 7. Indicador de Combustible.

Controles de Timones Individuales. Permiten maniobrar la embarcación de manera precisa, ajustando la posición de los timones de manera independiente. En el buque escuela, estos controles están diseñados para maniobras avanzadas y para enfrentar condiciones complejas como corrientes fuertes o vientos cruzados (Fig. 8).



Fig. 8. Controles de Timón. Timón de Babor, Timón de Estribor, Modo de Control.

Sistema de Apagado de Emergencia. Es un sistema crítico diseñado para detener de forma inmediata el funcionamiento del motor y otros sistemas esenciales en caso de situaciones que comprometan la seguridad del buque o de la tripulación (Fig. 9).



Fig. 9. Apagado de Emergencia.

Sistema Básico de Retroalimentación para las Prácticas. Para realizar la retroalimentación del desempeño del estudiante en el simulador, se ha diseñado un formulario básico que permite al instructor configurar los parámetros iniciales de una simulación según diferentes escenarios; sin embargo, el desempeño que el estudiante tenga deberá ser evaluado manualmente según las variables y criterios considerados. (Fig. 10)

Fig. 10. Formulario básico de retroalimentación

El simulador al replicar el puente de mando de la embarcación escuela, utiliza 2 monitores debido a la distribución de los controles que se han virtualizado (Fig. 11)



Fig. 11. Simulador en funcionamiento.

Beneficios del simulador implementado

La implementación del simulador de navegación virtual ha generado beneficios significativos para el Centro de Educación e Instrucción Naval (CEIN), impactando tanto la formación estudiantil como la eficiencia institucional. A continuación, se detallan los principales aportes.

- Mejora en la preparación técnica de los estudiantes. Gracias a las mejoras introducidas, se espera que los alumnos adquieran una formación más completa y sólida. Esto se traduce en mayor confianza en sus capacidades operativas y en una preparación más efectiva para enfrentar situaciones reales en el entorno marítimo [3].
- Incremento en la seguridad marítima. Una mejor preparación técnica implica una reducción de riesgos en la navegación. Al fortalecer las competencias en el uso de instrumentos y en la toma de decisiones, se disminuye la probabilidad de errores críticos y accidentes, contribuyendo directamente a la seguridad de las operaciones marítimas nacionales.
- Fortalecimiento de la experiencia de aprendizaje. El simulador ofrece un entorno virtual altamente realista que permite a los estudiantes aplicar sus conocimientos en condiciones controladas. Esta experiencia inmersiva fomenta el aprendizaje significativo y mejora la retención de conocimientos prácticos.
- Reducción de riesgos y costos operativos. Al trasladar parte del entrenamiento al entorno virtual, se disminuyen los riesgos asociados con la práctica en embarcaciones reales. Asimismo, se reducen costos logísticos, de mantenimiento y de combustible, optimizando el uso de recursos institucionales.

Discusión

- El desarrollo del simulador virtual de navegación basado en el buque respondió directamente al objetivo central del proyecto: mejorar la calidad de la formación técnica en navegación marítima ofrecida por el CEIN, mediante la implementación de tecnologías de modelado digital.
- Los resultados obtenidos evidencian que la integración de instrumentos virtuales, no solo permitió una representación realista del entorno operativo del puente de mando, sino que también elevó significativamente la capacidad de los estudiantes para interactuar con variables propias de la navegación en escenarios controlados tal como se ha demostrado en otros estudios internacionales [4].
- Uno de los hallazgos más relevantes fue el impacto positivo en la formación práctica de los estudiantes, particularmente en la comprensión funcional de los instrumentos de navegación.

La simulación de elementos como el compás magnético, los mandos de aceleración o el clinómetro facilitó una apropiación significativa de los conceptos operativos, algo que, en el entorno tradicional, sin instrumentación funcional, era difícil de lograr. Este avance permitió cumplir con el propósito de reducir la brecha entre el conocimiento teórico y su aplicación práctica.

- Se logró replicar condiciones ambientales dinámicas como viento, inclinación y velocidad, generando escenarios diversos y realistas que desafiaron la toma de decisiones de los estudiantes. Esta característica fue esencial para fomentar habilidades como la anticipación de riesgos, la evaluación de condiciones cambiantes y la ejecución de maniobras bajo presión, las cuales son fundamentales en el entorno marítimo real.
- El diseño de estas simulaciones estuvo alineado con los estándares técnicos y pedagógicos propuestos desde el inicio del proyecto, y su funcionalidad fue validada en las sesiones de prueba con estudiantes del CEIN.
- El simulador virtual no solo cumplió con los objetivos establecidos, sino que además generó un entorno formativo enriquecido que puede ser escalado y adaptado a nuevas necesidades. El proyecto demostró que es posible combinar realismo técnico, accesibilidad tecnológica y criterios pedagógicos para fortalecer la formación en navegación marítima, posicionando al CEIN como una institución que avanza hacia la innovación educativa con pertinencia y visión estratégica.

Conclusiones

1. Con el desarrollo del proyecto se demostró que es posible desarrollar un sistema de simulación que integra los principales instrumentos de navegación, como el compás magnético, rueda de navegación, clinómetro, mandos de aceleración, indicadores del sistema de propulsión, anemómetro e indicador de combustible, controles de timones individuales y sistema de apagado de emergencia. Esta integración permite recrear escenarios realistas de navegación, facilitando su aplicación en contextos educativos y de entrenamiento.
2. Los instrumentos desarrollados presentaron un alto nivel de precisión en las mediciones y respuestas, replicando con fidelidad las condiciones y comportamientos esperados en una embarcación real. Este resultado refuerza la capacidad del sistema para ser utilizado en estudios y prácticas relacionadas con la navegación marítima.
3. Al proporcionar un entorno virtual altamente realista, el simulador reducirá los riesgos asociados al entrenamiento en condiciones reales, permitiendo a los estudiantes practicar maniobras complejas y enfrentarse a emergencias simuladas sin peligro

para ellos ni para el equipo. Esto no solo mejora la seguridad en la formación, sino que también optimiza el tiempo y los recursos disponibles para el entrenamiento marítimo.

4. La creación de escenarios variados, desde condiciones climáticas adversas hasta emergencias operativas, ampliará las oportunidades de aprendizaje, preparando a los estudiantes para enfrentar situaciones que podrían ocurrir en la navegación real. Estos escenarios fortalecerán la aplicación práctica de conocimientos técnicos, reforzaron la confianza de los estudiantes y fomentaron el desarrollo de habilidades críticas para el manejo de situaciones complejas.
5. Este proyecto representó un avance significativo en la calidad de la formación ofrecida por el CEIN. Los estudiantes se beneficiarán al obtener una experiencia educativa de vanguardia que combina tecnología, realismo y retroalimentación constante. Estas innovaciones no solo mejorarán su desempeño académico y práctico, sino que también los posicionarán como profesionales mejor preparados para asumir los retos del sector marítimo, fortaleciendo su competitividad en un ámbito global.
6. La incorporación de un sistema básico de retroalimentación manual también permitió iniciar un proceso de evaluación más estructurado del desempeño estudiantil. Aunque se reconoce la necesidad de desarrollar un módulo automatizado en futuras versiones del simulador, esta primera aproximación aportó elementos clave para el análisis de los resultados formativos, permitiendo a los instructores observar de manera directa el nivel de apropiación técnica alcanzado por los estudiantes.

Referencias

- [1] H. Padrón Álvarez, "La importancia del empleo de simuladores en la formación del Alumno de Puente", Trabajo de fin de grado, Esc. Polt. Sup. De Ing. Sec. Nau. Maq. Y Rad. Nav., Universidad de La Laguna, Santa Cruz de Tenerife, España, 2021. [En línea]. Disponible en: <https://acortar.link/ACwPjx>
- [2] J. Imhoff Leyton, "Sistema de simulación marítimos", Revista de Mariana Web, vol. 127, no. 918, Ene. 2010. Accedido: 1, Feb. 2025, [En línea]. Disponible en: <https://revistamarina.cl/es/articulo/sistemas-de-simulacion-maritimos>
- [3] M. Stopford, Maritime Economics, 3a.ed. New York, USA: Routledge, 2009, [Online]. Disponible en: <https://acortar.link/6ec370>
- [4] L. Perez, "El rol de los simuladores en la educación marítima", Revista de Ciencias Navales, vol. 1275, no. 2, pp. 85-92, 2021.

EVALUACIÓN DE LAS EMISIONES DE DIÓXIDO DE CARBONO CO₂ EN DOS TIPOS DE PROCESOS CONSTRUCTIVOS DE VIVIENDAS DE INTERÉS SOCIAL EN EL SALVADOR. EN ASOCIO CON LA UNIVERSIDAD DE SEVILLA, ESPAÑA.

Eva Margarita Pineda Luna

Arquitecta. Docente Investigadora, Escuela de Ingeniería Civil y Arquitectura. Escuela Especializada en Ingeniería ITCA-FEPADE, Sede Central, Santa Tecla.

Correo electrónico: eva.pineda@itca.edu.sv

Miguel Ángel Vega Vásquez

Ingeniero Civil. Docente Coinvestigador, Escuela de Ingeniería Civil y Arquitectura. Escuela Especializada en Ingeniería ITCA-FEPADE, Sede Central, Santa Tecla.

Correo electrónico: mvega@itca.edu.sv

Recibido: 30/05/2025 - Aceptado: 10/09/2025

Resumen

Este artículo presenta la evaluación de las emisiones de dióxido de carbono CO₂, asociadas a la construcción de dos tipos de viviendas de interés social en El Salvador. El proyecto fue ejecutado por la Escuela de Ingeniería Civil y Arquitectura de ITCA-FEPADE, con la asesoría de la Universidad de Sevilla, España. Se analizaron dos sistemas constructivos diferentes, para casas construidas con bloques de concreto y de ladrillo de barro cocido macizo. La metodología se basó en el Análisis del Ciclo de Vida ACV, enfocándose en las etapas iniciales A1, A2, A3: Extracción, Transporte a Fábrica y Fabricación. Para cuantificar las emisiones de CO₂, se utilizaron Declaraciones Ambientales de Producto DAP para materiales de origen europeo, pero con procesos de fabricación similares en El Salvador. Se identificaron y cuantificaron los materiales clave para cada sistema constructivo y se calcularon las emisiones equivalentes de CO₂. Los resultados preliminares para la vivienda con sistema de bloque de concreto y la vivienda de ladrillo de obra o de barro macizo mostraron una huella de carbono total y por metro cuadrado. Los resultados de la investigación concluyen que la construcción con bloque de concreto genera mayores emisiones de CO₂ en comparación con el ladrillo macizo, debido al alto consumo energético en la producción del cemento. Comprender estas emisiones es crucial para desarrollar estrategias de mitigación y promover la construcción sostenible. Para reducir significativamente la huella de carbono en la construcción de viviendas, se debe explorar y adoptar alternativas constructivas con menor impacto ambiental.

Palabras clave

Análisis del ciclo de vida, bloque de concreto, construcción sostenible, emisiones de carbono, huella de carbono, ladrillo de barro, vivienda de interés social.

EVALUATION OF CARBON DIOXIDE CO₂ EMISSIONS IN TWO TYPES OF SOCIAL HOUSING CONSTRUCTION PROCESSES IN EL SALVADOR. IN ASSOCIATION WITH THE UNIVERSITY OF SEVILLA, ESPAÑA

Abstract

This article presents the evaluation of carbon dioxide CO₂ emissions associated with the construction of two types of low-income housing in El Salvador. The project was carried out by the School of Civil Engineering and Architecture of ITCA-FEPADE, with the advice of the University of Seville, Spain. Two different construction systems were analyzed, for houses built with concrete blocks and solid clay bricks. The methodology was based on the LCA Life Cycle Assessment, focusing on the initial stages A1, A2, A3: Extraction, Transportation to Factory and Manufacturing. To quantify CO₂ emissions, Environmental Product Declarations (EPDs) were used for materials of European origin, with similar manufacturing processes in El Salvador. Key materials were identified and quantified for each construction system and equivalent CO₂ emissions were calculated. Preliminary results for concrete block system housing and brick or solid mud brick housing showed a total and per square meter carbon footprint. The research results conclude that concrete block construction generates higher CO₂ emissions compared to solid brick, due to the high energy consumption in cement production. Understanding these emissions is crucial to developing mitigation strategies and promoting sustainable construction. To significantly reduce the carbon footprint of housing construction, building alternatives with lower environmental impact should be explored and adopted.

Keywords

Life cycle analysis, concrete block, sustainable construction, carbon emissions, carbon footprint, mud brick, social housing.

Introducción

Se presenta un análisis comparativo de las emisiones de dióxido de carbono CO₂, en la construcción de dos tipos de viviendas de interés

social en El Salvador. La construcción es un sector con un impacto ambiental significativo, particularmente en la generación de Gases de

Efecto Invernadero GEI. Comprender y mitigar estas emisiones es un desafío clave para lograr un desarrollo sostenible.

El estudio se centra en la evaluación de las emisiones de CO₂ asociadas a la Fase Inicial A1, A2 y A3 del Análisis del Ciclo de Vida ACV, correspondiente a los materiales utilizados en dos sistemas constructivos prevalentes en El Salvador: el de bloque de concreto y el de ladrillo de barro cocido. La relevancia de esta investigación radica en proporcionar datos sobre la huella de carbono de la construcción en el contexto local, lo que puede orientar la toma de decisiones de arquitectos, ingenieros, urbanistas y tomadores de políticas hacia soluciones constructivas más eficientes y amigables con el medio ambiente.

El problema abordado es la necesidad de cuantificar el impacto ambiental de los materiales y procesos constructivos de viviendas de interés social en El Salvador. Los objetivos de la investigación incluyen cuantificar las emisiones de CO₂ en cada sistema, comparar sus resultados e identificar oportunidades de mejora para promover la sostenibilidad en el sector. La pregunta central explora las implicaciones prácticas y oportunidades para reducir las emisiones y mejorar la eficiencia energética a partir de los hallazgos de la evaluación. La colaboración con la Universidad de Sevilla y Hábitat para la Humanidad El Salvador, fortalecieron el estudio y la integración de estándares internacionales.

La construcción sostenible abarca no solo edificaciones, sino también su impacto ambiental a lo largo de su ciclo de vida. Sus principios incluyen el análisis de la gestión del ciclo de vida de las materias primas, el uso racional de energía y agua, el incremento de la calidad de vida para los usuarios y la protección medioambiental del entorno. Normativas y estándares internacionales como LEED (Leadership in Energy and Environmental Design) y guías como HAUS (Hábitats Urbanos Sostenibles) [1], desarrollada por la OPAMSS en El Salvador, promueven prácticas constructivas más sostenibles. Éstos buscan reducir el impacto ambiental, promoviendo la eficiencia energética, la calidad del aire interior y el uso de materiales sostenibles.

Las tendencias mundiales en construcción sostenible incluyen la arquitectura regenerativa, el uso de materiales inteligentes, la economía circular, el desarrollo de ciudades inteligentes y el enfoque en el bienestar y la salud en el entorno edificado. [2]

El ciclo de vida de los edificios es relevante para la industria de la construcción debido al impacto ambiental de los materiales y procesos utilizados. El Análisis del Ciclo de Vida ACV, es una herramienta poderosa para evaluar este impacto, considerando aspectos como la eficiencia, la energía, la materia prima y la gestión de residuos. Un ACV, permite identificar los puntos críticos de impacto, comparar diferentes soluciones y fomentar la competencia medioambiental mediante la publicación de datos objetivos.

El proceso de un ACV generalmente consta de cuatro etapas: 1. Definición del objetivo y alcance, 2. Análisis del inventario (entradas/salidas de materiales, energía, emisiones, residuos), 3. Evaluación del impacto ambiental (asociando datos del inventario con impactos) y 4. Interpretación de los resultados (comparación y mejora) [2]. El alcance de un ACV puede variar tal como se muestra en la Fig. 1.



Figura 1. Alcances de Análisis del Ciclo de Vida (ACV). Fuente. Zero consulting

En el sector de la construcción, el ACV evalúa el impacto ambiental de los materiales, desde su fabricación hasta su posible nueva vida. Las fases principales del ACV de una edificación son: 1. Fabricación del Producto (A), 2. Construcción (A), 3. Uso (B), 4. Fin de Vida (C) y 5. Beneficios Fuera de los Límites del Producto (D). El estudio del carbono a lo largo del ciclo de vida, incluye el carbono incorporado, emisiones previas a la fase de uso y el carbono operacional, emisiones durante el uso. Reducir el carbono incorporado implica elegir materiales de bajo impacto o cercanos al lugar de construcción. [2]

Los materiales alternativos pueden ser naturales, tierra, madera, piedra, restos vegetales o artificiales provenientes del reciclaje de desechos domésticos, industriales o de construcción.

Tabla 1. Fases de Análisis del Ciclo de Vida (ACV). Fuente. Zero Consulting. [3]

FABRICACIÓN DEL PRODUCTO	A1	Extracción materias primas
	A2	Transporte a fábrica
	A3	Fabricación
CONSTRUCCIÓN DEL PRODUCTO	A4	Transporte del producto
	A5	Instalación y construcción
USO	B1	Uso
	B2	Mantenimiento
	B3	Reparación
	B4	Sustitución
	B5	Rehabilitación
	B6	Energía operacional
	B7	Agua operacional
FIN DE VIDA	C1	Deconstrucción y derribo
	C2	Transporte
	C3	Gestión de residuo
	C4	Eliminación final
BENEFICIOS FUERA DE LOS LÍMITES DEL PRODUCTO	D	Reúso Recuperación Reciclaje Energía exportada

Desarrollo

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

El desarrollo del proyecto se basó en un proceso metodológico estructurado para analizar y minimizar el impacto ambiental de viviendas de interés social en El Salvador. Comprende varias fases:

1. Investigación Técnica y Contextualización. Recopilación de información sobre materiales, métodos constructivos, cuantificación de CO₂, normativas y metodologías internacionales. Asesoría de la Universidad de Sevilla.
2. Capacitación de Estudiantes. Se capacitó un grupo de estudiantes para la recolección de datos de campo, levantamiento, medidas, identificación de materiales, descripción técnica.
3. Recolección de Datos en Campo. Visitas a viviendas para registrar materiales, dimensiones, consumo energético, hábitos de uso y factores climáticos.
4. Análisis Ambiental. Evaluación del impacto ambiental utilizando el ACV para cuantificar las emisiones de CO₂ en las etapas del ciclo de vida. Apoyo técnico de la Universidad de Sevilla.
5. Formulación de Propuestas y Recomendaciones. Se identificaron tipologías de bajo impacto, así como propuestas de alternativas constructivas sostenibles.
6. Formulación del Informe Final y Socialización del Proyecto. Consolidación de hallazgos, recomendaciones y resultados para compartir con actores clave del sector.



Diagrama 1. Esquema metodológico de la investigación desarrollada.

Fuente. Elaboración propia, 2025

Resultados

A. Descripción de 2 Sistemas Constructivos Evaluados

1. **Sistema Constructivo de Ladrillo de Obra Macizo.** Producto hecho de arcilla (barro) endurecido por fuego, usado en El Salvador desde la época colonial. Tiene fortalezas como ser un material natural, reutilizable y local, lo que reduce costos y facilita la autoconstrucción. Con mantenimiento adecuado, es durable. Los ladrillos de barro macizo artesanales tienen dimensiones y

nominationes variables, Ladrillo de Calavera 13 x 14 x 28 cm y Ladrillo de Obra 9 x 14 x 28 cm. La mampostería confinada, conocida como sistema mixto, utiliza paredes de ladrillo reforzadas con elementos de concreto armado (nervaduras horizontales y verticales). Los espesores de muro dependen del aparejo (lazo, canto, trinchera). El proceso constructivo implica verificación del trazo, emplantillado, colocación de ladrillos maestros, aplicación de mortero horizontal, colocación de refuerzos y verificación de nivel y plomo.

2. **Sistema Constructivo de Bloques de Concreto.** Mampostería de bloques de hormigón huecos, unidos con mortero y armaduras de refuerzo. Puede ser mampostería simple o resistente a cargas. Ventajas, es más económico y permite una construcción más rápida que el ladrillo. Desventajas, menor aislamiento térmico, resistencia a la humedad, su peso y contenido de sales solubles. Se utilizan diferentes nominaciones de bloques de 12 o 10x20x40 cm, 15x20x40 cm y 20x20x40 cm. El proceso constructivo incluye la colocación de refuerzos horizontales y verticales, bastones, solera intermedia, de fundación y coronamiento.

B. Tipología de Viviendas Analizadas

El estudio se centró en la evaluación de emisiones de CO₂ de dos tipologías de construcción de viviendas de interés social.

1. Vivienda de Sistema Constructivo de Ladrillo de Obra Macizo.

Se seleccionó como caso de estudio una unidad habitacional unifamiliar ubicada en la zona rural de Santa Ana, El Salvador. La vivienda, con una superficie de 25 m², presenta una tipología constructiva común en la región: muros de carga de ladrillo de barro cocido de 9 cm, estructura de concreto reforzado, piso de ladrillo de cemento y cubierta de fibrocemento. Carece de aislamiento térmico, posee puertas y ventanas metálicas y las paredes interiores no cuentan con revestimientos, lo que refleja una construcción básica y sin modificaciones posteriores.

2. Vivienda de Sistema Constructivo de Bloque de Concreto.

La vivienda analizada se ubica en San Miguel, El Salvador. Tiene dimensiones de 5.60 m x 8.64 m, con un área interna de aproximadamente 43 m². La distribución incluye dos habitaciones, sala-comedor-cocina, baño, área de lavado y pasillo. Está construida con mampostería de bloque de concreto de 12x20x40 cm, reforzada con nervios y soleras de concreto armado. Los acabados son repello, afinado, piso de cemento y cubierta de techo de lámina galvanizada. Esta vivienda fue seleccionada por ser representativa de la tipología constructiva más común en la zona de estudio.

C. Metodología de Medición de Emisiones

La metodología para calcular las emisiones de CO₂ se basa en el Análisis del Ciclo de Vida ACV de los materiales, y se utilizaron las

Declaraciones Ambientales de Producto (DAP) como fuente principal de datos.

1. Alcance del Estudio. Se evaluó el impacto ambiental de los materiales en las etapas A1-A3, Extracción, Transporte a Fábrica, Fabricación. El análisis se centró en la obra gris, excluyendo instalaciones.

2. Recopilación de Datos. Se recopilaron DAP de materiales utilizados, prestando atención a las emisiones de CO₂ equivalente (CO₂eq). Se elaboró un inventario detallado de materiales por peso, volumen o unidades, basándose en planos. Se utilizaron DAP de materiales europeos, considerando que los procesos de fabricación son similares.

3. Cálculo de Emisiones de CO₂eq por Material. La cantidad de cada material se multiplicó por su factor de emisión de CO₂eq obtenido de las DAP.

4. Sumatoria de Emisiones. Se sumaron las emisiones individuales para obtener el total por partida constructiva. El total de emisiones para la vivienda se obtiene sumando las emisiones de todas las partidas.

El análisis busca cuantificar, evaluar, informar y mejorar el impacto ambiental de la vivienda. La Tabla de Gases Emitidos muestra los factores de emisión para diversos materiales en kgCO₂eq por unidad funcional (kg, m, m², etc.) en las fases A1-A3. Materiales considerados: hormigón, acero, bloques de concreto, mortero, pintura, perfil galvanizado, chapa galvanizada, baldosa cerámica, mortero prefabricado, acero estructural.

Tabla 2. Masa de gases emitidos por materiales, medida por su equivalencia en CO₂ (dióxido de carbono). Fuente. Elaboración Propia

ítem	Materiales	Fases ACV	Unidad	Cantidad
1	Hormigón armado (2300 < p > 2500)	A1-A3	KgCO ₂ eq	0.10
2	Barras corrugadas de acero	A1-A3	KgCO ₂ eq	0.53
3	Bloques prefabricados en concreto	A1-A3	KgCO ₂ eq	0.08
4	Mortero o cemento de albañilería (1000 < p > 1250)	A1-A3	KgCO ₂ eq	0.10
5	Pintura de interior (Super Paint Sherwin Williams)	A1-A3	KgCO ₂ eq	2.03
6	Perfil C Galvanizado	A1-A3	KgCO ₂ eq/m	37.07
7	Chapa de acero galvanizado	A1-A3	KgCO ₂ eq/m ²	18.32
8	Baldosa de cerámica	A1-A3	KgCO ₂ eq/m ²	11.30
9	Mortero prefabricado	A1-A3	KgCO ₂ eq/m ²	20.81
10	Acero estructural laminado	A1-A3	KgCO ₂ eq	2.80

D. Proceso de Cálculo Realizado

El cálculo de emisiones para una vivienda de bloque de concreto aligerado, se enfocó en las etapas A1-A3, Extracción, Transporte a Fábrica, Fabricación, utilizando DAP. Se detallan ejemplos de cálculo para partidas constructivas específicas.

1. Cálculo de Solera de Fundación. Se seleccionó la solera de fundación; se determinó su longitud total (48.84 m) y el volumen de concreto por metro lineal. Se obtuvieron datos de DAP para acero corrugado (unidad funcional 1000 kg, emisión 0.53 kgCO₂eq/kg) y concreto (unidad funcional 1 m³, densidad 2300 kg/m³, emisión 0.10 kgCO₂eq/kg). Se calculó el peso del acero y las emisiones totales sumando las contribuciones del concreto y el acero. Para 1 metro de solera, las emisiones son 15.65 kg CO₂.

2. Cálculo de Pared de Bloque de Concreto. Se cuantificó la cantidad de metros cuadrados de pared (112 m²); se obtuvieron datos de DAP para bloques de concreto (unidad funcional kg, emisión 0.08 kgCO₂eq/kg), acero corrugado y concreto utilizado para relleno de bastones y mortero. Se calcularon las emisiones sumando las contribuciones de los bloques, el acero de refuerzo y la mezcla de mortero. El análisis de emisiones indica que el mortero utilizado para el pegado de bloques emite 0.70 kgCO₂ por metro lineal y el relleno de bastones 2.10 kgCO₂ por metro lineal.

3. Techo de Chapa Metálica. Se midió la superficie del techo (52.83 m²) y la longitud de los polines. Se obtuvieron datos de DAP para cubierta de perfil nervado de chapa de acero galvanizado (unidad funcional m², emisión 18.3197 kgCO₂/m²) y polín C galvanizado (unidad funcional m, emisión 37.07 kgCO₂/m). Se calculó la huella de carbono: la chapa emite 967.83 kgCO₂/m² y el polín C 2554.12 kgCO₂/m.

E. Resultados de Emisiones de las Viviendas

Se presentan los resultados del análisis de emisiones de CO₂ para la construcción de una vivienda con bloques de concreto y la construcción de una vivienda de ladrillo macizo considerando la fase A1-A3.

Tabla 3. Cantidad de CO₂eq por metro cuadrado en vivienda de bloque de concreto aligerado. Fuente. Elaboración Propia

Cantidad de CO ₂ por m ² de la vivienda		
Área de vivienda	42.45	m ²
Total de Kg CO ₂ eq	11,559.57	Kg CO ₂ eqq
Unidad	272	KgCO ₂ eq/m ²



Gráfica 1. Cantidad de CO2eq por partida constructiva de Vivienda.
Fuente. Elaboración Propia.

El análisis de la huella de carbono en una vivienda construida con bloque de concreto ligero arrojó un total de 11,559.57 kgCO₂eq, equivalente a 272 kgCO₂/m². Las partidas con mayor impacto fueron el techo de chapa de acero galvanizado (3,521.95 kgCO₂eq), las paredes de bloque de concreto (1,579.93 kgCO₂eq), la base de concreto (1,244.83 kgCO₂eq) y el piso de cerámica (1,176.51 kgCO₂eq), debido a procesos de fabricación altamente energéticos.

Las partidas con impacto moderado o bajo incluyen soleras, zapatas, pintura base agua (454.72 kgCO₂eq) y carpintería metálica. Aunque estos elementos contribuyen menos a la huella total, su impacto no es despreciable. Los resultados subrayan la necesidad de explorar materiales alternativos y técnicas constructivas sostenibles que permitan reducir significativamente las emisiones asociadas a la edificación de viviendas sociales.

Tabla 4. Cantidad de CO2eq por metro cuadrado en vivienda de ladrillo rojo macizo. Fuente. Elaboración Propia.

Cantidad de CO2 por m² de la vivienda		
Área de vivienda	25.24	m²
Total de Kg Co2 eq	4564.78	Kg CO2 eq
Unidad	108.85483	KgCO2eq



Gráfica 2. Cantidad de CO2eq por partida constructiva de Vivienda.
Fuente. Elaboración Propia

El análisis de la huella de carbono en una vivienda construida con ladrillo de barro macizo reveló un total de 4,564.78 kgCO₂eq emitidos, siendo el techo de fibrocemento (1,163.05 kgCO₂eq), la solera de

fundación (698.42 kgCO₂eq) y las paredes de ladrillo cocido (632.29 kgCO₂eq) las partidas con mayor contribución. Estas emisiones se atribuyen principalmente a los procesos industriales intensivos en energía requeridos para la fabricación del fibrocemento, el cemento y la cocción del ladrillo.

En contraste, los elementos constructivos con menor impacto fueron los refuerzos verticales (94.87 kgCO₂eq), estructuras metálicas (53.27 kgCO₂eq) y derivados de madera (25.44 kgCO₂eq), destacando esta última por su carácter renovable. Estos resultados evidencian la urgencia de implementar estrategias de diseño sostenible, como el uso de materiales con baja huella de carbono y la optimización del diseño estructural para reducir el uso de materiales emisores de CO₂.

F. Comparación de Resultados entre los Dos Sistemas Constructivos

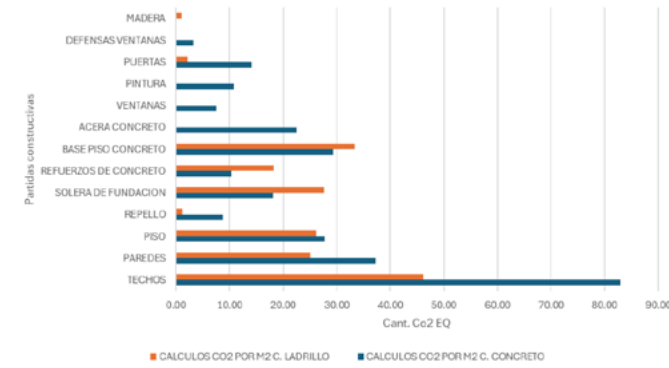
El estudio comparativo entre viviendas de interés social construidas con bloque de concreto ligero y ladrillo de arcilla sólida, evidenció que la vivienda de concreto presenta una mayor huella de carbono (272.39 kgCO₂/m²) frente a la de ladrillo (180.85 kgCO₂/m²). Las partidas que más contribuyen a estas emisiones son techos y paredes, con valores más elevados en la construcción con concreto. Aunque los pisos mostraron diferencias menores, la tendencia general favorece al ladrillo como opción de menor impacto. Partidas como el repello y la base de piso también generaron más emisiones en el sistema de concreto debido al mayor volumen de material utilizado.

Tabla 5. Comparación de cantidad de CO2 eq emitido por metro cuadrado en ambos tipos de construcción de viviendas. Fuente. Elaboración Propia

CÁLCULOS CO2 POR M2		
Partida constructiva	Casa concreto	Casa ladrillo
Techos	82.97	46.08
Paredes	37.22	25.05
Piso	27.72	26.19
Repello	8.69	1.08
Solera de fundación	18.11	27.67
Refuerzos de concreto	10.34	18.27
Base piso concreto	29.31	33.40
Acera concreto	22.50	-
Ventanas	7.46	-
Pintura	10.71	-
Puertas	14.13	2.11
Defensas ventanas	3.23	-
Madera		1.01
Cantidad de CO2 por m2 de la vivienda	272.39	180.85

En cambio, componentes como la solera de fundación y los refuerzos estructurales presentaron mayores emisiones en la vivienda de ladrillo, asociadas al uso intensivo de acero y concreto. Elementos exclusivos de la vivienda de concreto, como aceras y pintura, incrementaron aún más su huella total. Por su parte, el uso de madera en la vivienda de ladrillo generó un impacto mínimo. En conjunto,

los resultados sugieren que el sistema constructivo con concreto, aunque resistente, implica un mayor costo ambiental. Se recomienda optar por materiales más sostenibles, reciclados o de baja emisión para favorecer construcciones con menor huella ecológica.



Gráfica 3. Relación de Cantidad de Co2 eq por partida constructiva para cada tipo de vivienda. Fuente: Elaboración Propia

Conclusiones

- Los resultados de la investigación concluyen que la construcción con bloque de concreto genera mayores emisiones de CO2 en comparación con el ladrillo macizo, debido al alto consumo energético en la producción del cemento. El sistema de ladrillo presenta una huella de carbono un 50.66% menor, lo que lo posiciona como una alternativa más sostenible.
- El Análisis de Ciclo de Vida ACV identificó la fase de A3 Fabricación o Producción de materiales como la más contaminante, destacando la importancia de seleccionar insumos con menor impacto.
- Los datos analizados reflejan que la construcción, particularmente la de cubiertas de chapa de acero galvanizado, tiene un impacto considerable en la huella de carbono de una vivienda. Los materiales que mayormente contribuyen a este impacto son el acero galvanizado y el concreto.
- Para reducir significativamente la huella de carbono en la construcción de viviendas, es altamente recomendable explorar y adoptar alternativas constructivas con menor impacto ambiental. Estas alternativas podrían incluir la optimización del diseño estructural para reducir el uso de materiales de alto impacto, el uso de concreto con aditivos reciclados o la implementación de sistemas de techado con materiales más sostenibles.
- Es esencial fomentar la conciencia y la educación sobre la construcción sostenible entre los profesionales del sector y la sociedad en general.
- La sostenibilidad también depende de factores como el transporte, la gestión de residuos y la eficiencia energética, y

se recomienda seguir investigando materiales alternativos que combinen bajo impacto ambiental con durabilidad y viabilidad económica.

Recomendaciones

- Promover el uso de materiales con menor Huella de Carbono, como el ladrillo macizo y concreto con aditivos reciclados, en viviendas de interés social. Se sugiere explorar opciones de optimización en el diseño estructural, uso de materiales reciclados o compensación de carbono para reducir el impacto.
- Optimizar la producción mediante el uso de energías renovables y procesos más eficientes, e incorporar criterios de sostenibilidad desde la etapa de diseño constructivo y estructural para reducir emisiones y consumo energético.
- Fomentar la capacitación en sostenibilidad en el sector construcción, así como el desarrollo de bases de datos nacionales de producción de materiales para la construcción con Declaraciones Ambientales de Producto DAP.
- Impulsar políticas públicas, normativas y la investigación de materiales ecológicos que equilibren eficiencia estructural y bajo impacto ambiental, además de continuar evaluando las emisiones en futuros proyectos.

Agradecimientos

ITCA-FEPADE reconoce la valiosa colaboración de la Universidad de Sevilla, España y de Hábitat para la Humanidad El Salvador, que fortalecieron el estudio y facilitaron la integración de estándares internacionales en el análisis del impacto ambiental de los materiales de construcción.

Referencias

- [1] Revista Construcción, "Guía hábitats urbanos sostenibles (HAUS)", 2023. Accedido: 18 marzo 2024. [En línea]. <https://revistaconstruccion.com/sv/rse-y-sostenibilidad/guia-haus-una-herramienta-de-alto-impacto-en-la-construccion/>
- [2] Placomat. "Plataforma de Materiales de Construcción". Accedido: 15 Abr., 2024. 2025 [En línea]. Disponible en: <https://www.placomat.com/blog/tendencias-en-construccion-sostenible-para-2025/>
- [3] A. C. Cambra. "Análisis del ciclo de vida (SCV) de edificios: qué es y cómo calcularlo". Zeroconsulting. Accedido: 28 Abr., 2023. [En línea]. Disponible en: <https://blog.zeroconsulting.com/an%C3%A1lisis-ciclo-vida>

DISEÑO DE UN “MODELO LOGÍSTICO” PARA LA GESTIÓN DE APROVISIONAMIENTO DE LAS MICRO Y PEQUEÑAS EMPRESAS MYPES DEL SECTOR PRODUCTIVO, INSCRITAS EN LA AGENCIA DE DESARROLLO ECONÓMICO LOCAL ADEL, LA UNIÓN

Ulises Esai Pérez Flores

Ingeniero en Logística y Aduanas. Docente Investigador, Escuela Especializada en Ingeniería ITCA-FEPADE, Centro Regional La Unión.

Correo electrónico: esai.perez@itca.edu.sv

Pedro Luis Bonilla Medrano

Ingeniero en Logística y Aduanas, Docente Coinvestigador, Escuela Especializada en Ingeniería ITCA-FEPADE, Centro Regional La Unión.

Correo electrónico: pedro.bonilla@itca.edu.sv

Recibido: 16/05/2025 - Aceptado: 11/09/2025

Resumen

Este estudio tuvo como objetivo diseñar un Modelo Logístico para optimizar la gestión de aprovisionamiento en 39 Micro y Pequeñas Empresas del sector productivo adscritas a la Agencia de Desarrollo Económico Local, ADEL La Unión. Con enfoque cualitativo y alcance exploratorio, se identificó mediante el análisis de las fortalezas, debilidades, oportunidades y amenazas de los sujetos de estudio, que el 46% de las empresas objeto de estudio carecen de un Modelo Logístico formal, lo que genera problemas como interrupciones significativas de la cadena de suministro en el 40% de los casos y de desabastecimiento en el 41%. Como resultado, se desarrollaron tres productos: un diagnóstico de prácticas actuales, un manual de procesos estandarizados y una herramienta informática para gestión de inventarios y pronósticos de demanda con su respectivo manual de usuario. Los hallazgos demuestran que la implementación del modelo propuesto podría reducir costos operativos en un 39% de las empresas encuestadas y mejorar la eficiencia en un 28%, según la percepción de las mismas. De manera general el 85% considera que la implementación de un Modelo Logístico de Aprovisionamiento podría ayudar a su crecimiento económico. Se concluye y se recomienda la necesidad de programas de capacitación por parte de ADEL, utilizando los productos diseñados, así como adoptar herramientas digitales para control y gestión de procesos logísticos y la implementación de sistemas de evaluación de proveedores.

Palabras clave

Aprovisionamiento, modelo logístico, cadena de suministro, proveedores, gestión de procesos, MYPES.

DESIGN OF A LOGISTIC MODEL FOR SUPPLY MANAGEMENT IN MICRO AND SMALL ENTERPRISES OF THE PRODUCTIVE SECTOR REGISTERED IN LOCAL ECONOMIC DEVELOPMENT AGENCY, ADEL LA UNIÓN

Abstract

The objective of this study was to design a Logistics Model to optimize supply management in 39 micro and small enterprises of the productive sector attached to the Local Economic Development Agency, (ADEL) La Unión. Through a qualitative approach with an exploratory scope, it was identified by analyzing the strengths, weaknesses, opportunities and threats of the subjects of the study, that 46% of the companies under study lack a formal Logistics Model, which generates problems such as significant interruptions in the supply chain in 40% of the cases and shortages in 41%. As a result, three products were developed: a diagnosis of current practices, a manual of standardized processes and a computerized tool for inventory management and demand forecasting with its respective user manual. The findings show that the implementation of the proposed model could reduce operating costs in 39% of the companies surveyed and improve efficiency in 28%, according to their perceptions. In general, 85% consider that the implementation of a Logistics Procurement Model could help its economic growth. It is concluded and recommended the need for training programs by ADEL, using the designed products, as well as the adoption of digital tools for control and management of logistics processes and the implementation of supplier evaluation systems.

Keywords

Provisioning, logistic model, supply chain, suppliers, process management, SMEs.

Introducción

Las Micro y Pequeñas Empresas MYPES, representan en El Salvador un pilar fundamental para la economía local, generando el 35% del Producto Interno Bruto (PIB) nacional y contribuyendo significativamente al empleo [1]. Sin embargo, estas empresas enfrentan situaciones problemáticas en la gestión de su cadena de suministro, particularmente en los procesos de aprovisionamiento.

Estudios previos indican que la falta de modelos logísticos estructurados en las MYPES, relacionados con la evaluación y selección de proveedores y de pronóstico de la demanda, afecta directamente en la calidad y precio de los insumos que éstas adquieren [2]. En el contexto específico de los distritos de La Unión y Conchagua, el 72% de las MYPES reportan problemas en la adquisición oportuna de insumos, destacando la importancia de aplicar estrategias logísticas efectivas.

Este estudio pretende proveer soluciones prácticas que optimicen la gestión logística, en el sector encuestado que opera predominantemente con recursos limitados y acceso restringido a tecnologías especializadas. Investigaciones recientes destacan que solo el 22% de las MYPES utilizan sistemas informatizados para gestionar sus actividades de aprovisionamiento [3], por lo que se busca llenar ese vacío mediante el desarrollo de herramientas accesibles y adaptables a las condiciones reales de las empresas locales.

Partiendo de lo anterior, se diseñó un Modelo Logístico integral para la gestión de aprovisionamiento tomando como referencia la información proporcionada por 39 MYPES del sector productivo adscritas a la Agencia de Desarrollo Económico Local ADEL, La Unión. El modelo propuesto aborda tres dimensiones clave: 1. Diagnóstico de prácticas actuales; 2. La estandarización de procesos mediante un manual técnico. 3. El desarrollo de una herramienta digital con enfoque en la gestión de aprovisionamiento y pronósticos de demanda.

Este artículo presenta la metodología que detalla el enfoque de la investigación y el análisis de la información; los resultados presentan los hallazgos del diagnóstico y las capacidades de los productos desarrollados; la discusión presenta el desarrollo de la propuesta orientada a los objetivos de la investigación; las conclusiones sintetizan el impacto potencial del modelo y los puntos relevantes encontrados en la investigación; se proponen recomendaciones prácticas para su implementación en las empresas.

El estudio ofrece un marco accionable a través del conocimiento técnico, como un aporte concreto al desarrollo económico local desde el área logística.

Desarrollo

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

El desarrollo del proyecto permitió el diseño de un Modelo Logístico que apoye en la gestión efectiva del aprovisionamiento de las Micro y Pequeñas Empresas MYPES, inscritas en la Agencia de Desarrollo Económico Local ADEL La Unión. Dentro de las distintas MYPES que ADEL atiende en el departamento de La Unión, se ha determinado enfocar el estudio al sector productivo, el cual se subdivide en los rubros de pesca, agricultura, ganadería, agroindustria, producción textil, artesanías, alimentos y bebidas, entre otros.

Este proyecto se realizó bajo el enfoque cualitativo con alcance exploratorio, donde se aplicó un muestreo no probabilístico a conveniencia según la necesidad de la investigación.

Las MYPES que participaron en el estudio debían cumplir con los siguientes criterios de inclusión:

- Estar registradas en la Agencia de Desarrollo Económico Local ADEL, La Unión.
- Poseer el registro MYPES.
- Contar con al menos 2 años de operación.
- Pertenecer al sector productivo.
- Pertenecer a los distritos de La Unión y Conchagua.

Se utilizaron diversas técnicas de recolección de información:

- Encuesta aplicada mediante cuestionarios físicos y/o en línea, a las Micros y Pequeñas Empresas que cumplieron los criterios.
- Observación directa al proceso de aprovisionamiento de las MYPES objeto de estudio.
- Entrevista a CDMYPE-ADEL como parte del acompañamiento que brindan a las MYPES en el tema de gestión de aprovisionamiento.
- Finalmente se identificó en qué medida la falta de un Modelo Logístico influye en la gestión de aprovisionamiento.

Para el desarrollo del proyecto se detallan las siguientes fases:

Fase 1. Planificación y ejecución del trabajo de investigación preliminar

Esta fase consistió en la planificación de las visitas de campo que se realizarán a ADEL y a las diferentes empresas objeto de estudio. Para realizar el diagnóstico se elaborarán instrumentos de investigación, como hojas de observación, cuestionario online, entre otros.

Fase 2. Elaboración de diagnóstico

En esta parte del proyecto se realizaron visitas de campo a ADEL y a las empresas objeto de estudio para aplicar los instrumentos de la etapa anterior; estos datos fueron analizados con el objetivo de establecer los requerimientos necesarios para el Manual de Aprovisionamiento y la herramienta informática a desarrollar.

Este análisis permitió identificar Fortalezas, Debilidades, Oportunidades y Amenazas FODA, dentro de la gestión de compras y logística de aprovisionamiento.

Fase 3. Desarrollo de Manual de Aprovisionamiento y herramienta informática

Se procedió a desarrollar un Manual de Aprovisionamiento y la elaboración de una herramienta informática para la aplicación del Modelo Logístico, a partir de los resultados obtenidos en el diagnóstico.

Fase 4. Superación de observaciones y entrega de productos

En esta fase se presentó el Manual y la herramienta informática para su revisión y se superaron observaciones. Se presentó el prototipo de la herramienta a las MYPES participantes en el proyecto, con el objetivo de validarlo.

Resultados

A continuación, se presentan los hallazgos claves de la gestión de aprovisionamiento de las MYPES

Empresas que tienen un Modelo Logístico de Aprovisionamiento establecido.

Como se muestra en la Fig. 1, el 28% de las empresas reportan tener un Modelo Logístico de Aprovisionamiento establecido. Por otro lado, un 26% de las empresas indican no tener uno y el 46% de los encuestados manifiestan no saber qué es un Modelo Logístico de Aprovisionamiento.

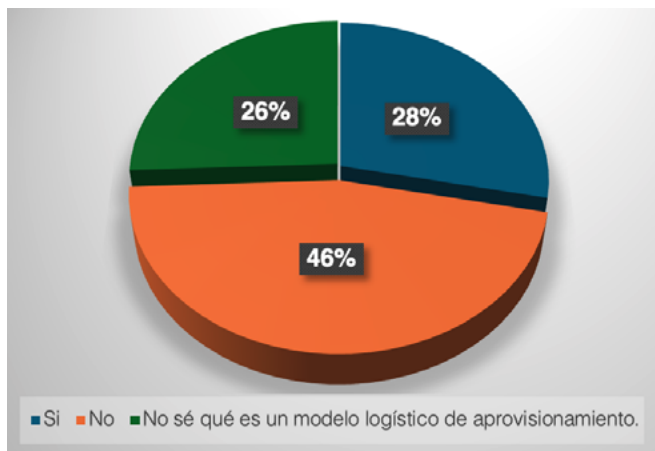


Fig. 1. Uso de un Modelo Logístico de Aprovisionamiento por parte de las MYPES.

Métodos utilizados por aquellas empresas que no tienen un modelo de gestión de aprovisionamiento.

Se resalta que el 82% optan por comprar recursos cuando los necesitan. Este enfoque reactivo puede resultar en ineficiencias, como la falta de productos en momentos críticos. Por otro lado, un 11% de las empresas adoptan un enfoque más preventivo, comprando en grandes cantidades para mantener un stock. (Fig. 2).

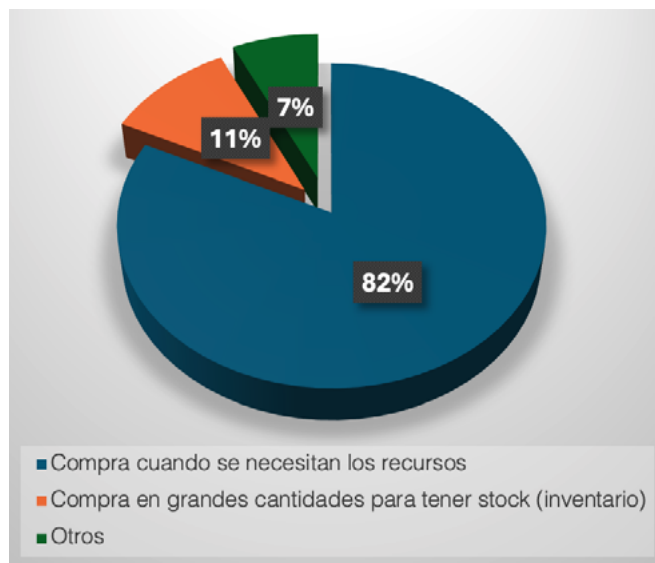


Fig. 2. Métodos utilizados por las MYPES sin Modelo Logístico de Aprovisionamiento.

Evaluación de los proveedores por parte de las MYPES.

Un 46% de las empresas indicaron no tener un proceso para evaluar a los proveedores. Esta falta de evaluación sistemática puede resultar en la dependencia de proveedores poco fiables o en la adquisición de insumos de baja calidad, afectando negativamente el rendimiento y la competitividad de la empresa.

Además, el 8% de los encuestados manifestaron no saber qué significa evaluar a los proveedores, lo que evidencia una falta de conocimiento sobre prácticas fundamentales en la gestión de la cadena de suministro. Por último, el 46% de empresas cuentan con un proceso definido para la evaluación de proveedores.

Importancia de un Modelo Logístico para la gestión de aprovisionamiento de las MYPES.

A partir de los resultados, se visualiza que el 87% de las empresas consideran que tener un Modelo Logístico es muy importante para la gestión adecuada del aprovisionamiento, como se muestra en la Fig. 3. Ésta abrumadora mayoría indica una clara comprensión de los beneficios que un Modelo Logístico bien estructurado puede traer, como la optimización de recursos, la mejora de la eficiencia operativa, la reducción de costos y la satisfacción del cliente.

Un 10% de las empresas consideran que es poco importante. Esta perspectiva podría reflejar una falta de información o entendimiento sobre cómo un Modelo Logístico puede impactar positivamente en la operación y el crecimiento empresarial.

El 3% de los encuestados lo considera nada importante.

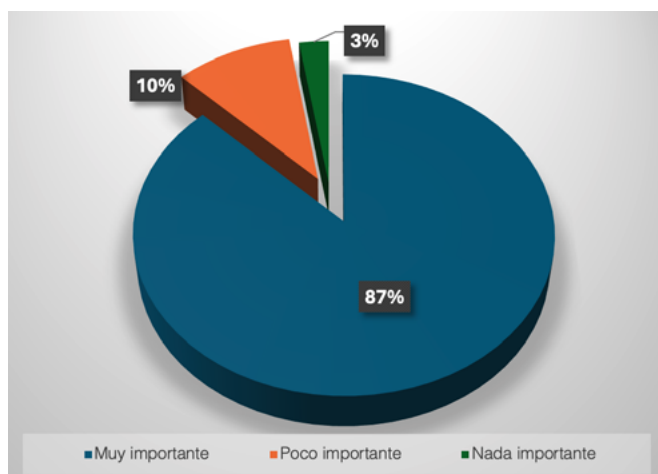


Fig. 3. Importancia de un Modelo Logístico de Aprovisionamiento para las MYPES.

Problemas de aprovisionamiento en las MYPES

La mayoría de las empresas han enfrentado desafíos en este aspecto, el 72% han experimentado problemas en el aprovisionamiento.

Este alto número sugiere que las dificultades en la cadena de suministro son comunes y pueden incluir problemas como retrasos en las entregas, falta de stock, calidad inconsistente de los insumos o problemas con los proveedores (Fig. 4). Estos desafíos pueden afectar negativamente la operación diaria y la satisfacción del cliente, subrayando la necesidad de estrategias logísticas efectivas. Mientras, el 28% de las empresas manifiestan no haber tenido dificultades en sus actividades.

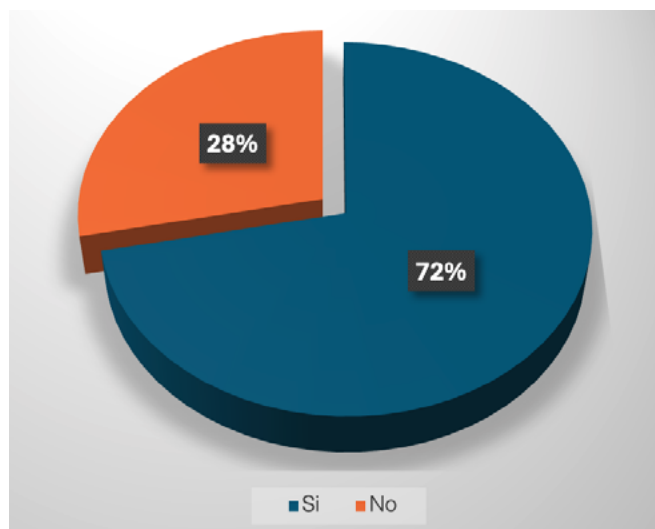


Fig. 4. MYPES que han experimentado problemas en el aprovisionamiento.

Principales dificultades en el aprovisionamiento de las MYPES.

Las principales dificultades experimentadas en el aprovisionamiento por las MYPES de Conchagua y La Unión, revela varios problemas recurrentes que afectan la eficiencia y la calidad de sus operaciones. El 40% de las MYPES mencionaron la entrega tardía por parte de los proveedores como una dificultad principal. Los retrasos en las entregas pueden causar interrupciones significativas en la cadena

de suministro, afectando la producción, el servicio al cliente y la planificación operativa.

Un 41% de las empresas reportaron tener que comprar productos similares, debido a la falta de disponibilidad de los insumos específicos requeridos. Este problema puede comprometer la calidad de los productos o servicios finales, además de generar inconsistencias y potenciales problemas con los clientes.

El 16% de las empresas indicaron no haber enfrentado problemas en el aprovisionamiento. Este grupo representa a aquellas MYPES que han logrado mantener una cadena de suministro estable y eficiente, posiblemente gracias a prácticas logísticas más robustas o a relaciones sólidas con proveedores fiables.

El 3% de las empresas mencionaron otras dificultades no especificadas.

Productos diseñados para la gestión de aprovisionamiento de las MYPES.

Partiendo de lo anterior y en respuesta a las problemáticas identificadas en las MYPES, y se desarrolló un Manual de Aprovisionamiento, un Modelo Logístico de Aprovisionamiento y una herramienta para la Aplicación del Modelo:

1. Manual de Aprovisionamiento que contiene las etapas del Modelo Logístico de manera formal, proporcionando así a las Micro y Pequeñas Empresas MYPES, una guía práctica para optimizar su proceso, a través de la ejecución de procedimientos de manera efectiva.



Fig. 5. Esquema del Modelo Logístico de Aprovisionamiento diseñado.



Fig. 6. Portada Manual de Aprovisionamiento.

2. Herramienta para la Aplicación del Modelo Logístico y su Manual; diseñada en Excel, la cual proporciona de manera práctica y semi automatizada la ejecución de procesos de aprovisionamiento descritos en el Manual de Aprovisionamiento.



Fig. 7. Menú principal de la herramienta (parte 1).



Fig. 8. Menú principal de la herramienta (parte 2).



Fig. 9. Menú principal de la herramienta (parte 3).

La herramienta se compone de cinco botones, con funciones descritas a continuación:

- Registro de proveedores: permite ingresar toda la información referente al proveedor como su dirección, nombre, contacto, entre otros aspectos.
- Registro de productos y evaluación: refleja las evaluaciones realizadas por productos y proveedores, utilizando criterios ponderados.
- Criterios de evaluación: detalla cada criterio utilizado en la evaluación, cuantificados numéricamente.
- Pronóstico de la demanda y EOQ: permite planificar la demanda futura de un determinado producto, estableciendo además la cantidad recomendada de compra.
- Formato de documentos en blanco: presenta cada uno de los documentos necesarios para aplicar el Modelo Logístico, para ser utilizados de forma digital o impresa.

Discusión

A través de los resultados obtenidos y el diagnóstico realizado, se generaron estrategias que las MYPES puedan implementar para mejorar la gestión de sus actividades enfocadas en el aprovisionamiento; entre las cuales se determinaron:

- **Capacitación y formación en logística.** Implementar programas de formación continua en gestión logística y aprovisionamiento para propietarios y empleados, aprovechando su alto nivel de involucramiento y la necesidad de mejores prácticas. "La evidencia sugiere que las empresas que invierten en la formación

continua de sus empleados no solo mejoran su capacidad tecnológica, sino que también incrementan su competitividad y capacidad de innovación". [4]

- **Adopción de tecnología y software de gestión.** Promover el uso de smartphones y computadoras para la implementación de software de gestión empresarial, optimizando la eficiencia operativa y mejorando el control de inventarios. Existe una relación importante entre la innovación en tecnología y la ventaja competitiva que se puede obtener, siendo esta la razón por la que las MYPES tienen desventajas con la gran empresa. [5]
- **Diversificación de proveedores.** Desarrollar estrategias para diversificar la base de proveedores, reduciendo la dependencia de pocos proveedores y asegurando la continuidad del suministro y rendimiento de la empresa, siendo un factor determinante para las MYPES [6].
- **Evaluación y selección de proveedores.** Establecer procedimientos estandarizados para la evaluación de proveedores, basados en criterios de calidad, precio y tiempo de entrega, para asegurar la fiabilidad y consistencia en el aprovisionamiento. La gestión de proveedores y el rendimiento empresarial, están relacionados de manera sustancial. [6]
- **Implementación de modelos logísticos.** Fomentar la adopción de modelos logísticos estructurados mediante la capacitación y la implementación de prácticas basadas en pronósticos de demanda y tendencias del mercado, mejorando así la planificación y reduciendo costos. Los modelos logísticos deben asegurar eficientemente el suministro de los materiales y las operaciones de las MYPES. [7]

Conclusiones

- De acuerdo a lo analizado, las MYPES sin un Modelo Logístico de Aprovisionamiento establecido, optan por una gestión reactiva de sus insumos, lo que puede llevar a desafíos en la eficiencia operativa. Sin embargo, algunas empresas han adoptado prácticas que buscan mitigar estos problemas a través de la compra anticipada y la creación de inventarios. Estos resultados indican una oportunidad para la implementación de un Modelo Logístico de Aprovisionamiento más estructurado que pueda mejorar la eficiencia y la capacidad de respuesta de estas empresas.
- En cuanto a los procesos de evaluación de proveedores, en el apartado se determina que un 53% de las empresas reflejan una necesidad de capacitación en aspectos básicos de gestión de proveedores, debido a que no aplican este procedimiento o no saben cómo hacerlo; mientras que una parte significativa de las MYPES sí ha adoptado prácticas de evaluación de proveedores que pueden mejorar su eficiencia operativa. Por lo que existe

aún una oportunidad para la mejora a través de la educación y la implementación de procesos estructurados de evaluación.

- La mayoría de las MYPES en los distritos de Conchagua y La Unión, no utilizan pronósticos de la demanda para prever sus ventas futuras, compran únicamente cuando se requiere el producto. La presencia de estas empresas que no realizan pronósticos de demanda, resalta una oportunidad para mejorar la eficiencia mediante la implementación de métodos de previsión más estructurados y basados en datos.
- Las MYPES reconocen la importancia crítica de contar con un Modelo Logístico para gestionar eficientemente el aprovisionamiento. Esta percepción positiva sugiere una alta receptividad a la implementación de mejoras en sus procesos logísticos debido a que las empresas no están exentas de sufrir algún inconveniente que dificulte sus actividades de aprovisionamiento.
- La capacitación y el apoyo técnico en "logística" podrían ser clave para ayudar a estas empresas a aprovechar completamente los beneficios de un Modelo Logístico de Aprovisionamiento.

Recomendaciones

1. Las MYPES deben incorporar el Modelo Logístico propuesto en sus operaciones diarias para mejorar la estandarización de procesos y maximizar su eficiencia operativa. Este enfoque les permitirá optimizar recursos, reducir costos y mejorar su competitividad en el mercado.
2. Es recomendable que ADEL La Unión implemente programas de formación dirigidos a las MYPES, enfocados en temas clave como la gestión logística, la selección de proveedores y el uso de tecnologías de la información aplicadas al aprovisionamiento. Estas capacitaciones les proporcionarán las herramientas necesarias para adoptar prácticas modernas y eficaces en sus operaciones.
3. Es importante que las MYPES integren sistemas y herramientas informáticas en sus procesos logísticos, tal como la desarrollada en esta investigación, ya que estas tecnologías permiten mejorar la trazabilidad, optimizar el control de inventarios y facilitar la toma de decisiones basada en datos precisos y actualizados.
4. Se sugiere a ADEL establecer un sistema de seguimiento para evaluar el impacto del Modelo Logístico implementado. Este mecanismo permitiría realizar ajustes necesarios en función de las necesidades cambiantes del entorno empresarial, asegurando que el modelo se mantenga relevante y efectivo a largo plazo.
5. Extender la aplicación de este Modelo a otros sectores productivos atendidos por ADEL y fomentar su adopción en MYPES

de diferentes regiones, contribuiría al desarrollo económico sostenible a nivel nacional; fortalecería sus capacidades y un crecimiento equilibrado en diversas áreas del país.

Agradecimientos

Agradecimientos especiales a la Agencia de Desarrollo Económico Local ADEL, La Unión. A los estudiantes de la carrera Ingeniería en Logística y Aduanas que contribuyeron a la investigación: Flores Mejía, Nancy Paola; González Flores, Katherine Esmeralda; Mejía Suriano, Meylin Esthefany; Montenegro García, Carys Ottoniela; Pérez Tamayo, Helen Dayana; Sorto Sorto, Mayren Omar; Sorto Villatoro, Wilmer Ricardo; Sura Hernández, Roberto Arnoldo.

Referencias

- [1] Comisión Nacional de la Micro y Pequeña Empresa (CONAMYPE), "Ley MYPE," CONAMYPE, [En línea]. <https://www.conamype.gob.sv/temas-2/ley-mype/> (consultado 02 octubre 2024)
- [2] S. E. Orellana Paz y D. A. Doñas Vargas, "Diseño de un Modelo Logístico para la Optimización de los procesos empleados en la Captura, Almacenamiento, Procesamiento y Distribución de Productos Pesqueros," Revista Tecnológica ITCA-FEPAD N°15, pp. 06-12, ene. 2022.
- [3] A. S. Argueta Ramos, M. L. Canales Sánchez, K. R. Orellana Lipe and C. E. Ramos Ascencio, "Estudio comparativo sobre la aplicación de la logística 4.0 en la cadena de suministros de las empresas dedicadas a la venta de repuestos nuevos para automóviles en la ciudad de San Miguel y diseño de estrategias de mejora a través de un caso práctico," ITCA-FEPAD, La Unión, 2022.
- [4] P. C. Galarza-Sánchez, "Adopción de Tecnologías de la Información en las PYMES ecuatorianas: Factores y Desafíos," Revista Científica Zambos, vol. 2, no. 1, pp. 21-40, ene. - abr. 2023.
- [5] A. C. Navarrete Fernández and S. K. Sandoval López, "Innovación, un factor clave para la supervivencia y el crecimiento de las Micro y Pequeñas Empresas.," "Revista RELAYN, Micro y Pequeña Empresa en Latinoamérica, vol. 8, no. 2, pp. 20-33, may. - ago. 2024.
- [6] O. Hernández Castorena, C. Morlés Betancourt, L. Correa Cruz and P. Peña Torres, "Incidencia de la gestión de proveedores, en el rendimiento de las mipyme (Florencia, Caquetá)," Investigaciones en Organización Industrial Y Sustentabilidad: Análisis cruciales para las organizaciones, pp. 65-79, ago. 2024.
- [7] P. Cano Olivos, F. Orue Carrasco, J. L. Martínez Flores, Y. Mayett Moreno and G. López Nava, "Modelo de gestión logística para pequeñas y medianas empresas en México," Contaduría y administración, vol. 60, no. 1, pp. 181-203, ene. - mar. 2015.

DESARROLLO DE UN ECOSISTEMA INNOVADOR, PARA LA IDENTIFICACIÓN Y CONTRATACIÓN DE SERVICIOS FREELANCER

Ana Eunice Márquez de Ruiz

Ingeniera en Logística y Aduanas. Docente Investigadora, Escuela Especializada en Ingeniería ITCA-FEPADE, Centro Regional Zacatecoluca.

Ing. Oscar Armando Sánchez

Ingeniero en Ciencias de la Computación. Docente Coinvestigador. Coordinador de Investigación y Proyección Social, Escuela Especializada en Ingeniería ITCA-FEPADE, Centro Regional Zacatecoluca.

Correo electrónico: oscar.sanchez@itca.edu.sv

Recibido: 06/06/2025 - Aceptado: 14/10/2025

Resumen

Este artículo presenta los resultados de la investigación aplicada desarrollada por ITCA-FEPADE Centro Regional Zacatecoluca. El proyecto multidisciplinario fue desarrollado con la participación de docentes y estudiantes de las carreras Técnico Superior en Logística Global y Técnico en desarrollo de software, en vínculo con la Asociación de Empresarios y Profesionales de Zacatecoluca, AEPROZA. El proyecto tuvo como objetivo diseñar un ecosistema innovador a través de una plataforma Web, para conectar la oferta y demanda de servicios Freelancer. Este ecosistema busca fomentar el emprendimiento, estimular la economía local y ofrecer una alternativa laboral inclusiva que abarca a profesionales, emprendedores, trabajadores empíricos en diferentes oficios, técnicos y autodidactas. La metodología incluyó 3 fases, la clasificación de servicios en 13 categorías principales, basadas en la Clasificación Internacional Uniforme de Ocupaciones CIUO; el diseño de un modelo de red de negocio que define el flujo de actividades clave, desde el registro hasta la contratación y pago; así como el desarrollo de la plataforma Web denominada TECOLANCER. Para el desarrollo de la interfaz gráfica se utilizaron los lenguajes HTML5, CSS, JavaScript y el framework Materializecss; la aplicación utiliza PHP como lenguaje de programación y MariaDB/MySQL para el almacenamiento de datos. La plataforma Web permite a los freelancers crear perfiles y portafolios, y a los clientes buscar servicios a través de categorías específicas. La comunicación entre las partes se facilita a través de la plataforma, redirigiendo al cliente a WhatsApp para negociaciones de contratos y tarifas con el Freelancer. El proyecto incluyó un plan de implementación para registrar usuarios y promocionar la plataforma entre clientes potenciales en los departamentos de La Paz y San Vicente. Este proyecto vincula el quehacer académico y la investigación con la proyección social en beneficio del desarrollo local en las comunidades.

Palabras clave

Ecosistema innovador, contratación de profesionales, perfiles profesionales, FreeLancer, plataforma Web.

DEVELOPMENT OF AN INNOVATIVE ECOSYSTEM FOR THE IDENTIFICATION AND CONTRACTING OF FREELANCER SERVICES IN EL SALVADOR

Abstract

This article presents the results of the applied research developed by ITCA-FEPADE Zacatecoluca Regional Center. The multidisciplinary project was developed with the participation of teachers and students of the careers Superior Technician in Global Logistics and Software Development Technician, in connection with the Association of Entrepreneurs and Professionals of Zacatecoluca, AEPROZA. The project aimed to design an innovative ecosystem through a web platform to connect the supply and demand of freelancer services. This ecosystem seeks to promote entrepreneurship, stimulate the local economy and offer an inclusive labor alternative that includes professionals, entrepreneurs, empirical workers in different trades, technicians and self-taught people. The methodology included 3 phases: the classification of services in 13 main categories, based on the ISCO International Standard Classification of Occupations; the design of a business network model that defines the flow of key activities, from registration to hiring and payment; as well as the development of the Web platform called TECOLANCER. HTML5, CSS, JavaScript and the Materializecss framework were used to develop the graphic interface; the application uses PHP as the programming language and MariaDB/MySQL for data storage. The Web platform allows freelancers to create profiles and portfolios, and clients to search for services through specific categories. Communication between the parties is facilitated through the platform, redirecting the client to WhatsApp for contract and rate negotiations with the Freelancer. The project included an implementation plan to register users and promote the platform among potential clients in the departments of La Paz and San Vicente. This project links academic work and research with social projection for the benefit of local development in the communities.

Keyword

Innovative ecosystem, professional contracting, professional profiles, FreeLancer, Web platform.

Introducción

La tecnología desempeña un papel crucial en la transformación de mercados y en la creación de oportunidades inclusivas; el comercio en línea ha tenido un crecimiento notable. El e-commerce consiste en la venta, compra, distribución, marketing y suministro de información de productos o servicios a través de Internet; siendo lo anterior una estrategia, para la generación de ingresos económicos [1] [2]. En El Salvador son muchos los jóvenes con o sin título universitario que no cuentan con un empleo. Tal y como se observa en la noticia del periódico digital “El Salvador.com”, sobre la encuesta del año 2022 de USAID, referente a la Calidad de Vida de los salvadoreños en el área metropolitana: el 44 % de los habitantes del municipio de San Salvador, entre 25 y 34 años, están sin empleo. Y entre los que tienen 16 y 24 años el porcentaje de desempleo es del 16%. [3]. Lo anterior resulta en que muchas personas optan por ofrecer diversos servicios; otros se postulan a diferentes ofertas laborales. En vista de lo anterior es necesario brindar un espacio y una herramienta, donde los servicios de trabajo ofrecidos, no sea a través de un intermediario, sino que pueda ser más directo y personalizado, es decir ser un FreeLancer o trabajador independiente.

Un FreeLancer es una persona que trabaja por cuenta propia, generalmente en un campo creativo, técnico o profesional, y ofrece sus servicios a varios clientes o empleadores en lugar de estar contratado a tiempo completo por una sola empresa. Cualquier persona que tenga habilidades, talentos o conocimientos en un área que lo permita, puede trabajar como FreeLancer; es común verlos desempeñándose en áreas como educación, programación, diseño, traducción, arte, ventas y otras. No es necesario contar con estudios superiores para tener éxito, pero se necesita dedicación y compromiso con el trabajo para alcanzar buenos resultados [4].

Existen muchas plataformas en Internet, en las que empresas o particulares publican anuncios o propuestas para trabajos FreeLancer. Una plataforma digital es un entorno en el que los usuarios pueden llevar a cabo tareas, gestionar actividades, colaborar con otros usuarios e interactuar por medio de las herramientas y funcionalidades que ofrece dicha plataforma. [5] La mayoría de las plataformas FreeLancer se centran en áreas profesionales, quedando como única opción para otras áreas las redes sociales para promocionar sus servicios. Este vacío que existe en las plataformas plantea una necesidad a atender.

Con el objetivo de responder a las necesidades del mercado laboral en de El Salvador, se planteó una investigación de campo que desarrolló una herramienta informática que permite dar a conocer servicios profesionales, técnicos, oficios y otros; además genera redes de

negocios que responden a los desafíos actuales, busca la colaboración FreeLancer, fomenta el emprendimiento, estimula la economía local y promueve la eficiencia en la conexión entre profesionales y clientes. Con el proyecto se diseñó un ecosistema innovador a través de una plataforma Web denominada Tecolancer, para la identificación y contratación de servicios FreeLancer. El ecosistema contribuirá y facilitará un impacto positivo en la economía local, fortalecer las relaciones comerciales, promover el intercambio de servicios y generar oportunidades para el crecimiento económico.

En la plataforma se establecieron los requerimientos de los FreeLancer, la determinación del flujo de actividades claves, desde el registro y creación de perfiles profesionales hasta la contratación, negociación de tarifas y pago de servicios; además organiza servicios en categorías específicas y contempla marcos regulatorios y contratos transparentes; resalta el rol de marketing y la comunicación para atraer usuarios y promover oportunidades laborales.

El proyecto fue desarrollado con el apoyo y asesoría de la Asociación de Empresarios y Profesionales de Zacatecoluca, departamento de La Paz, El Salvador.

Desarrollo

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

DESARROLLO DEL ECOSISTEMA FREELANCER

El proyecto Tecolancer surge como una respuesta innovadora para impulsar la economía local de Zacatecoluca, a través de la creación de un ecosistema digital que conecta profesionales independientes con oportunidades laborales en todo El Salvador. El proyecto tuvo como objetivos:

1. Clasificar a los FreeLancer en El Salvador a través de un estudio de mercado dirigido a los diferentes ministerios, alcaldías, asociaciones y gremios existentes en el país.
2. Diseñar un modelo de red de negocio para la contratación de FreeLancer, que responda a la demanda actual.
3. Desarrollar Plataforma Web a través de herramientas de diseño gráfico y entornos de desarrollo, para la ejecución del modelo de negocio FreeLancer.
4. Elaborar el plan de implementación FreeLancer en El Salvador considerando diferentes aliados estratégicos.

Esta herramienta se materializa en una plataforma Web y una aplicación Android que facilitan la identificación y contratación de servicios FreeLancers. La iniciativa busca potenciar el talento local, generar empleo y facilitar el acceso a servicios profesionales o técnicos en un entorno de trabajo flexible y moderno.

Los actores involucrados en este proyecto fueron:

- Asociación de Empresarios y Profesionales de Zacatecoluca, AEPROZA. Institución clave en la promoción y administración de la plataforma FreeLancer; facilita la aceptación de la herramienta y brinda soporte a sus miembros.
- FreeLancers y Profesionales Independientes. Personas del departamento de La Paz y sus alrededores que ofrecen servicios digitales, diseño, desarrollo Web, redacción y marketing, entre otros.
- Profesionales en busca de trabajo flexible, ingresos adicionales o clientes externos.
- Negocios del departamento de La Paz, que necesiten servicios especializados sin necesidad de contratar personal fijo.
- Empresas locales, nacionales e internacionales interesadas en el talento salvadoreño para proyectos específicos.
- Gobierno Local y Organismos de Desarrollo.
- Instituciones públicas que promueven el emprendimiento y la economía digital, brindando respaldo al proyecto.
- Personas naturales que busquen profesionales, técnicos, oficios y expertos en cualquier área cerca de su ubicación.

A. DIAGRAMA DE COMPONENTES DEL MODELO DE RED DE NEGOCIO FREELANCER

El diagrama de “Red de Negocios de la Plataforma Web Tecolancer” muestra la estructura conceptual y operativa del ecosistema FreeLancer, destacando las interconexiones entre diversas entidades, clientes, socios estratégicos y actores institucionales. Ver Fig. 1. Este modelo refleja el flujo de actividades clave, desde el registro y creación de perfiles profesionales, hasta la contratación, negociación de tarifas y pago de servicios.

Componentes del modelo de la “Red de Negocios”.

- **Plataforma Web FreeLancer.** Es el núcleo, conectando horizontalmente con todas las partes involucradas.

- **Marketing.** Estrategias para atraer usuarios y posicionar la plataforma, asegurando una comunicación efectiva entre FreeLancers y clientes.
- **Productos y Servicios.** Cada FreeLancer ofrece servicios o productos diversos de acuerdo con su especialidad.
- **Portafolio FreeLancer.** Además del perfil, es decir su presentación personal y profesional, contiene fotografías o ejemplos de trabajo realizados, de modo que los clientes puedan apreciar su historial y experiencia de forma ilustrada.
- **FreeLancer-Proeza.** Área dedicada al desarrollo profesional y colaboración.
- **Clientes o Usuarios.** Personas naturales o jurídicas que buscan contratar servicios técnicos o profesionales.
- **Creación y Actualización de Perfiles.** Permite a los FreeLancers crear portafolios y mantenerlos actualizados.
- **Categorías de Servicios.** Organiza los servicios por sectores o habilidades específicas, usando la Clasificación Nacional de Actividades Económicas en El Salvador CLAES (Banco Central de Reserva).
- **Marco Regulatorio.** Incluye leyes y regulaciones esenciales para asegurar el cumplimiento legal.
- **Comunicación FreeLancer-clientes.** La plataforma sirve como un enlace, de modo que cuando el cliente quiera contactar con el FreeLancer, la plataforma lo redirigirá al WhatsApp registrado y a partir de este momento la comunicación entre ellos será a través de este medio.
- **Negociación de Contratos y Tarifas.** Define acuerdos entre las partes, métodos de pago y precios; estos acuerdos dependen de las negociaciones.
- **Métodos de pago.** El FreeLancer con el cliente definen si el pago será en efectivo o transferencia bancaria
- **Calificación del FreeLancer.** Fomenta la calidad mediante calificaciones de los clientes que han contratado el servicio, recomendándolo entre una a cinco estrellas.
- **Clientes.** Son los usuarios que busquen a una persona que pueda realizar un trabajo, tarea o proyecto en específico, estos pueden navegar en la plataforma y filtrar búsquedas a través de las categorías.

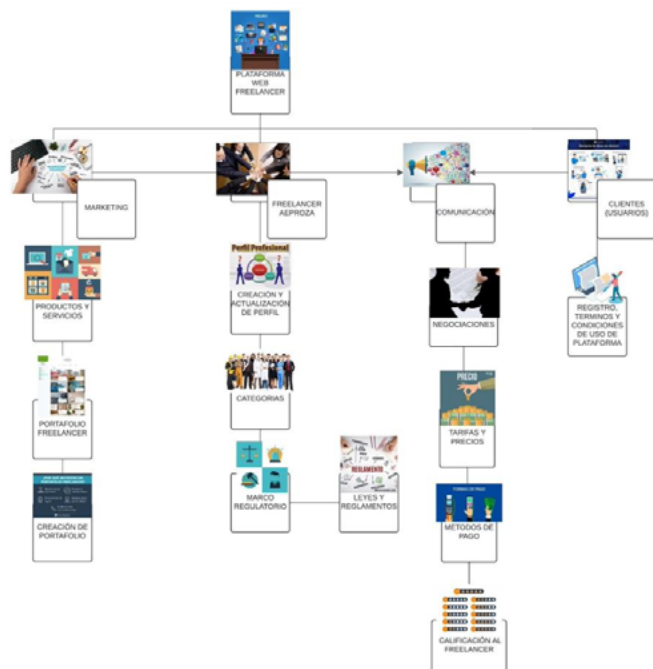


Figura 1. Estructura funcional de la plataforma Web para Freelancers, destacando áreas clave y sus interrelaciones para una operación eficiente y transacciones transparentes.

B. CONCEPTO DE LA MARCA

- Nombre. Tecolancer, inspirado en la comunidad local, Zacatecoluca tierra de Tecolotes y Zacatales.
- Eslogan. Impulsa tu talento desde Zacatecoluca. Éste refleja dinamismo y oportunidades.
- Misión. Facilitar la contratación de servicios profesionales o técnicos independientes a través de una plataforma Web, promoviendo la participación de FreeLancer y empresas.
- Visión. Ser la plataforma líder en El Salvador para conectar talento FreeLancer con oportunidades laborales, impulsando el desarrollo económico local y posicionando a Zacatecoluca como un referente de innovación y profesionalismo.

Valores.

1. Transparencia
2. Calidad y Profesionalismo
3. Flexibilidad
4. Innovación y Crecimiento
5. Comunidad y Colaboración
6. Accesibilidad e Inclusión

C. CATEGORÍAS Y SUBCATEGORÍAS DE LA PLATAFORMA

Las categorías son el filtro principal que contiene a la subcategoría, luego se despliegan las divisiones, de modo que el usuario pueda encontrar al profesional, técnico o experto en el área que requiere. Ver Tabla 1. Estas categorías se han elaborado de acuerdo a la Clasificación Internacional Uniforme de Ocupaciones (CIUO) [6]; se identifican 13 categorías principales con sus respectivas

subcategorías y divisiones, estas pueden irse incrementando a medida que se vaya actualizando la plataforma.

Tabla 1: Ejemplo de Categorías, Subcategoría y Divisiones

CATEGORÍA	CONSTRUCCIÓN
Subcategoría	Construcción de edificios
Subcategoría	Obras de Ingeniería Civil
Subcategoría	Actividades especializadas de construcción
Divisiones	• Instalaciones eléctricas • Fontanería, calefacción y aire acondicionado • Instalación de techos estructurales • Pintura de edificios y de viviendas • Instalación de cielos falsos, vidrios y otros • Servicios de albañilería

Las categorías incluidas en la Plataforma son:

- Construcción
- Transporte
- Actividades de Servicio de Comidas
- Industrias Manufactureras
- Actividades Artísticas, de Entretenimiento y Recreativas
- Reparación de Vehículos Automotores y Motocicletas.
- Marketing Digital
- Video y Animación
- Consultoría
- Artes Gráficas y Diseño
- Escritura y Traducción
- Música y Audio
- Negocios

Resultados

DISEÑO DE PLATAFORMA WEB DESARROLLADA

A. Diseño de la aplicación Web

Se utilizó el patrón Modelo, Vista y Controlador:

- La interfaz gráfica de usuario está desarrollada con HTML5, CSS, JavaScript y el framework Materializecss.
- La aplicación utiliza PHP como lenguaje de programación.
- El almacenamiento de datos se hace con MariaDB/MySQL.

B. Funciones para FreeLancer

En la plataforma Web, el FreeLancer podrá crear su usuario para ofrecer productos o servicios. Se formuló el Manual de FreeLancer con el propósito de:

- Orientar a los usuarios en la creación y optimización de su perfil, para destacar sus habilidades y aumentar oportunidades de contratación.
- Proporcionar instrucciones claras sobre cómo buscar y aplicar a productos y servicios, mejorando así la experiencia en la búsqueda de contrato FreeLancer.

- Ofrecer pautas para la interacción con clientes y la oferta de productos y servicios, asegurando una comunicación efectiva y el éxito en la ejecución de los trabajos.

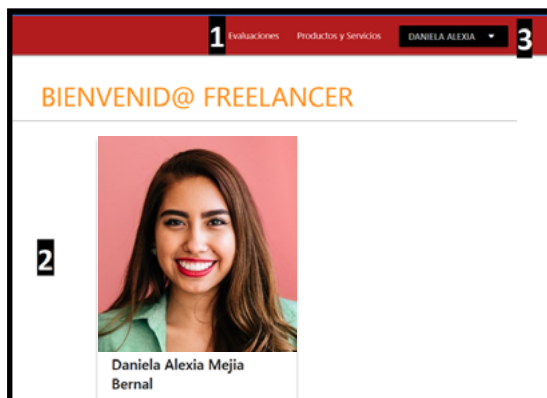
Pantalla de Login de FreeLancer

1. Menú principal.
2. Formulario de ingreso.
3. Iniciar sesión.



Pantalla principal de FreeLancer

1. Menú Principal. Accede a Evaluaciones, Productos y Servicios.
2. Foto y Nombre del FreeLancer.
3. Muestra otras opciones. Perfil, Contraseña y Salir.



Pantalla de Evaluaciones

1. Menú principal.
2. Selecciona la cantidad de Evaluaciones de los clientes.
3. Búsqueda de Evaluaciones.
4. Evaluaciones y nombre del FreeLancer iniciado.
5. Cantidad de Evaluaciones por paginación.
6. Cantidad de páginas en su formato original.



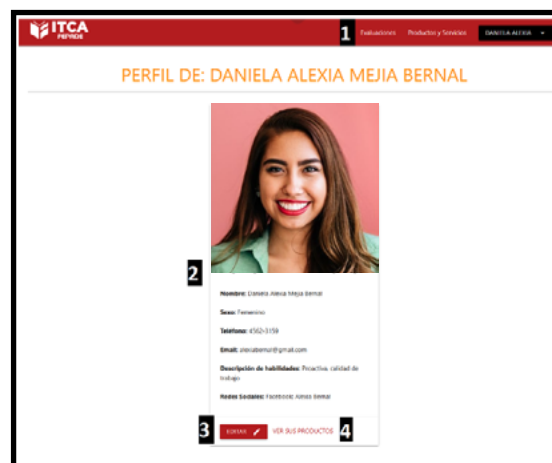
Pantalla Productos y Servicios

1. Menú principal
2. Formulario para ingresar un nuevo registro.
3. Selecciona la cantidad de Productos por paginación.
4. Apartado de búsqueda de Productos y Servicios.
5. Productos y Servicios: muestra la imagen, el nombre, precio, subcategoría y descripción.
6. Formulario para editar el Producto.
7. Desactiva el Producto o Servicio.
8. Cantidad de Productos por paginación y su total de registros.
9. Cantidad de páginas.



Pantalla de Perfil

1. Menú Principal.
2. Muestra la foto y los datos del FreeLancer iniciado.
3. Formulario para Editar los datos.
4. Productos y Servicios del FreeLancer iniciado.



C. Diseño y formulación de manuales para la Plataforma

Con el propósito de facilitar la oferta de productos y servicios del FreeLancer, el acceso de los usuarios, así como el mantenimiento y administración de la Plataforma, se diseñaron los siguientes manuales:

- **Manual de Usuario**
 - <https://bit.ly/Manualdeusuariofreelancer>
 - Video tutorial. <https://youtu.be/-4ZCLwdyGog>
- **Manual de Freelancer**
 - <https://bit.ly/ManualdeFreeLancer>
 - Video tutorial. https://youtu.be/kRa0lfc_EwU
- **Manual de Administrador**
 - <https://bit.ly/Manualdeladministrador>
 - Video tutorial. <https://youtu.be/Zn2dFqYNZ-Q>
- **Link de TECOLANCER:**
 - <https://tecolancer.org/>

Conclusiones

- En la primera fase de la investigación se determinó las categorías laborales en El Salvador, sobre la base de la Clasificación Internacional Uniforme de Ocupaciones CIUO. Para el proyecto se seleccionaron 13 categorías principales, subcategorías y divisiones, con el propósito de ampliar las existentes que tradicionalmente se incluyen en las plataformas comunes de FreeLancer.
- El modelo de la red de negocio diseñado, conlleva el flujo de actividades requeridas que los usuarios desarrollarán en la plataforma, clave para la contratación de servicios; incluye desde el registro y creación de perfiles profesionales, hasta la contratación, negociación de tarifas y pago. El modelo es la base para la plataforma Web Tecolancer.
- La Plataforma Web organiza servicios en categorías específicas y contempla marcos regulatorios, contratos, impuestos, reseñas y transparencia. Resalta el rol de marketing y comunicación para atraer usuarios y promover oportunidades de contratación, entre otros factores. Es interactiva y dinámica con los usuarios.
- La plataforma Web posee un apartado de administrador, para darle mantenimiento a la página y evitar información no apropiada. El administrador tiene el derecho de rechazar a cualquier usuario o FreeLancer que no cumpla con las políticas establecidas.
- La Plataforma Web se propone que, a través de un "Plan de Implementación", sea administrada por AEPROZA. En el futuro podrán desarrollarse nuevas versiones y actualizaciones de la Plataforma.
- La fase del "Plan de Implementación" conlleva registrar la mayor cantidad de servicios de profesionales, técnicos oficios y emprendedores a esta plataforma. En este marco se realizarán

campañas en 5 municipios del Departamento de La Paz y San Vicente, a través de reuniones informativas con líderes comunales y promoción en las redes sociales. Posterior a la campaña de registro de FreeLancer, se hará promoción de la plataforma Tecolancer para los clientes potenciales.

Agradecimientos

A la Asociación de Empresarios y Profesionales de Zacatecoluca AEPROZA por el aporte y apoyo brindado.

A la Inga. Ana Cecilia Alvarez de Ventura, Coordinadora de Investigación y Proyección Social, Centro Regional Zacatecoluca, por su aporte y asesoría para este proyecto.

Referencias

- [1] A. E. Márquez de Ruiz, O. A. Sánchez Santos, "Desarrollo de un Ecosistema Innovador en Plataforma Web, para la identificación y contratación de profesionales FreeLancer en El Salvador. En vínculo con Asociación de Empresarios y Profesionales de Zacatecoluca", Inf. Fin. de inv. ITCA - FEPADE, El Salvador, ene. 2025.
- [2] VISA, "Qué es e-commerce y comercio electrónico". Accedido: 20 Feb. 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.visa.com.sv/dirija-su-negocio/pequenas-medianas-empresas/notas-y-recursos/tecnologia/que-es-ecommerce-o-comercio-electronico.html>
- [3] X. Alfaro, "El 44% de las personas entre 24 y 34 años están sin empleo en San Salvador". El Salvador.com. Accedido: 20 Feb. 2025. 24 mar. 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.elsalvador.com/h-noticias/h-nacional/encuestas-trabajo-el-salvador-como-vamos-san-/1049112/2023/>
- [4] Hotmart Blog. "¿Qué es un FreeLancer, qué hace y cómo convertirte en un trabajador autónomo?". Accedido: 20 Feb. 2025. 08 de dic. 2022. [En línea]. Disponible en: <https://hotmart.com/es/blog/FreeLancer-que-es>
- [5] M. Coppola, "Plataforma digital: tipos, accesos, usos y utilidades". Hubspot. Accedido: 20 Feb. 2025. 01 abr. 2025. [En línea]. Disponible en: <https://blog.hubspot.es/website/que-es-plataforma-digital>
- [6] International Labour Organization. "Clasificación internacional uniforme de ocupaciones". ILOSTAT. Accedido: 20 Feb. 2025. [En Línea]. Disponible en: <https://ilostat.ilo.org/es/methods/concepts-and-definitions/classification-occupation/>

DISEÑO DE UN SISTEMA DE CONTROL AUTOMÁTICO PARA CORRECCIÓN DEL FACTOR DE POTENCIA Y MONITOREO DE VARIABLES ELÉCTRICAS EN INSTALACIONES DE BAJA TENSIÓN

Carlos Levi Cartagena

Ingeniero Industrial. Docente Investigador, Escuela Especializada en Ingeniería ITCA FEPADE, Centro Regional Santa Ana.

Correo electrónico: carlos.cartagena@itca.edu.sv

David Ernesto Cortez

Ingeniero Electricista. Docente Coinvestigador, Escuela Especializada en Ingeniería ITCA FEPADE, Centro Regional Santa Ana.

Correo electrónico: dernesto.cortez@itca.edu.sv

Recibido: 14/05/2025 - Aceptado: 09/09/2025

Resumen

Este artículo presenta los resultados de un proyecto desarrollado por la Escuela de Ingeniería Eléctrica del Centro Regional Santa Ana. La investigación tuvo como objetivo el diseño e implementación de un sistema didáctico de control automático para la corrección del Factor de Potencia y monitorización de variables eléctricas en instalaciones de baja tensión, tales como voltaje, corriente, potencia y desbalance, para promover la innovación y el desarrollo tecnológico en el campo de la eficiencia energética. El sistema desarrollado utiliza tecnologías de procesamiento digital de señales a través de software, facilitando la integración de datos con el Internet de las Cosas (IoT) y la computación en la nube, permitiendo además la monitorización y gestión remota de variables eléctricas en tiempo real. Se implementó un monitor de variables eléctricas basado en LabVIEW con tarjetas DAQ para la digitalización, que se comunica con un PLC S7 1200, utilizando el protocolo MODBUS TCP/IP. La implementación consistió en el montaje de un tablero de control con equipos de protección, control y medición. Se validó el sistema mediante un muestreo exhaustivo registrando 1483 datos para su análisis. El análisis de los datos demostró que los voltajes se mantenían equilibrados (desbalance <2%) y el Factor de Potencia operaba en un nivel óptimo cercano a 0.98. Se observaron desbalances de corriente significativos, pero consistentes con el funcionamiento normal de las cargas conectadas. El sistema desarrollado optimiza el consumo y mejora la calidad del suministro eléctrico, funcionando además como herramienta didáctica para la formación de estudiantes de ingeniería eléctrica. La integración de LabVIEW facilita una gestión eficiente y toma de decisiones informadas, demostrando ser una inversión rentable que mejora la sostenibilidad y confiabilidad de la instalación.

Palabras clave

Eficiencia energética, calidad de potencia, corrección del factor de potencia, LabVIEW, control automático, monitorización de variables eléctricas.

AUTOMATIC CONTROL SYSTEM DESIGN FOR POWER FACTOR CORRECTION AND MONITORING OF ELECTRICAL VARIABLES IN LOW VOLTAGE INSTALLATIONS

Abstract

This article presents the results of a project developed by the School of Electrical Engineering of the Santa Ana Regional Center. The objective of the research was the design and implementation of a didactic automatic control system for power factor correction and monitoring of electrical variables in low voltage installations, such as voltage, current, power and unbalance, to promote innovation and technological development in the field of energy efficiency. The developed system uses digital signal processing technologies through software, facilitating data integration with the Internet of Things (IoT) and cloud computing, also allowing remote monitoring and management of electrical variables in real time. A LabVIEW-based electrical variables monitor was implemented with DAQ cards for digitization, which communicates with an S7 1200 PLC, using the MODBUS TCP/IP protocol. The implementation consisted in the assembly of a control board with protection, control and measurement equipment. The system was validated through exhaustive sampling by recording 1483 data for analysis. Analysis of the data showed that the voltages remained balanced (unbalance <2%) and the power factor operated at an optimum level close to 0.98. Significant current unbalances were observed, but consistent with the normal operation of the connected loads. The developed system optimizes consumption and improves the quality of the power supply, also functioning as an educational tool for the training of electrical engineering students. The integration of LabVIEW facilitates efficient management and informed decision making, proving to be a profitable investment that improves the sustainability and reliability of the installation.

Keywords

Energy efficiency, power quality, power factor correction, LabVIEW, automatic control, monitoring of electrical variables.

Introducción

La corrección del Factor de Potencia es una práctica que consiste en conectar condensadores, bobinas o motores síncronos en paralelo con las cargas inductivas o capacitivas, para compensar la potencia reactiva y mejorar el Factor de Potencia del sistema eléctrico [1][2][3][4][5]. Las cargas no lineales como los variadores de frecuencia y las cargas inductivas consumen potencia activa y reactiva, y requieren de una corrección del Factor de Potencia para reducir las pérdidas y mejorar la eficiencia del sistema [6][7][8][9].

El Factor de Potencia es una medida crucial de la eficiencia en el uso de la energía eléctrica, y su corrección es esencial para reducir el consumo de energía reactiva, minimizar las pérdidas y mejorar la calidad del suministro eléctrico [10].

Las normas para corregir el Factor de Potencia varían según el país, la región, la compañía eléctrica y el tipo de cliente. Una norma general es establecer que el Factor de Potencia mínimo aceptable suele ser de 0.9 o 0.95, medido en un periodo mensual o anual [11]. En El Salvador los reglamentos que se aplican a la corrección del Factor de Potencia son El Código de Red y Las Normas de Calidad del Servicio de los Sistemas de Distribución, los cuales establecen los criterios y procedimientos para el control de la calidad del servicio comercial, técnico y del producto técnico, así como las compensaciones por daños económicos o a equipos, artefactos o instalaciones. [12][13].

Este proyecto aborda la problemática de la corrección del Factor de Potencia usando tecnologías de procesamiento de señales digitales y software que facilitan la integración con el Internet de las Cosas (IoT) y la computación en la nube; así mismo permite el monitoreo y el análisis de datos de diferentes variables eléctricas como voltaje, corriente, desbalance de voltaje, desbalance de corriente, Factor de Potencia, potencia activa, reactiva y aparente.

El sistema desarrollado incluye un monitor de variables eléctricas basado en LabVIEW [14], que se comunica con un PLC S71200 a través del protocolo MODBUS TCP/IP [15]. Este enfoque innovador no solo optimiza el consumo de energía y la calidad del suministro eléctrico, sino que también proporciona una herramienta didáctica para la formación de estudiantes en el campo de la ingeniería eléctrica.

Desarrollo

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

El proyecto se ejecutó utilizando el diseño experimental, llevando a cabo diferentes actividades:

a) Diagnóstico de las instalaciones eléctricas y las cargas en el Centro Regional de ITCA FEPADE Santa Ana; se tuvo el propósito de identificar las cargas que más efectos tienen en el Factor de Potencia y poder diseñar un sistema de control automático para corregir el Factor de Potencia y monitorear variables eléctricas en instalaciones de baja tensión.

b) Diseño del sistema de corrección automática del Factor de Potencia. Con los insumos obtenidos de la etapa de diagnóstico, se diseñó el sistema tomando en cuenta elementos innovadores que no incluyen los equipos para corrección del Factor de Potencia que se ofrecen en el mercado.

c) Implementación del sistema. Esta etapa comprende las siguientes fases:

1. Acondicionamiento de instalación eléctrica para el montaje de equipos.
2. Instalación de red de comunicaciones.
3. Armado de tablero de control.
4. Realizar pruebas piloto del sistema de corrección del Factor de Potencia en baja tensión en una parte del Centro Regional de ITCA-FEPADE Santa Ana, para verificar su correcto funcionamiento y su adecuación a las condiciones reales.

A. Diseño

El diseño del sistema de corrección automática del Factor de Potencia se basó en el Controlador de Energía Reactiva BR 6000 de la marca EPCOS (Fig. 1).

El controlador automático BR 6000 es un dispositivo avanzado diseñado para la corrección del Factor de Potencia en sistemas eléctricos. Este controlador ofrece una amplia gama de funciones y características que optimizan la eficiencia energética y mejoran la calidad del suministro eléctrico [16]. A continuación, se detallan sus principales características y funcionalidades:

Características Principales:

- **Medición de Corriente.** El BR 6000 realiza mediciones precisas de la corriente mediante transformadores de intensidad. Es esencial asegurar que la corriente consumida pase a través de estos transformadores para obtener lecturas exactas.
- **Programación de la Corrección de Fase.** Permite ajustar la corrección de fase entre la tensión y la corriente de medición, lo cual es crucial para mantener la precisión en la compensación del Factor de Potencia.
- **Salida de Alarma y Mensajes de Error.** El controlador está equipado con un contacto de alarma que se activa en caso de errores, mostrando mensajes específicos en el display para facilitar la identificación y resolución de problemas.
- **Modos de Funcionamiento.** Incluye varios modos de operación, como el modo automático, programación, modo manual, servicio y modo experto. Cada modo ofrece diferentes funcionalidades para la gestión y control del sistema.

- **Visualización de Parámetros de Red.** En el modo automático, el BR 6000 muestra diversos parámetros de la red, como tensión, corriente, energía reactiva, energía activa, energía aparente, frecuencia, temperatura, y armónicas.

El controlador muestra varios parámetros de la red, almacena sus diferentes valores y cuenta con una opción de rutina de prueba que facilita el análisis de errores y el monitoreo del sistema. Dispone de una inicialización automática que reduce al mínimo la puesta en marcha.

El controlador funciona para una tensión de servicio de 220 VAC ($\pm 15\%$), una tensión de medida de 30 a 525 VAC (L-N) o (L-L), 50/60 Hz y una corriente de medida de 5 A ó 1 A programable. Para tensiones de servicio diferentes se requiere un transformador de tensión.

Como un elemento diferenciador y para poder digitalizar los datos, se integró un monitor de variables eléctricas basado en software. Para ello, se emplearon dos dispositivos de adquisición de datos DAQ NI USB-6009 y se diseñó un tablero de instrumentos virtual utilizando LabVIEW 2022. La arquitectura del monitor se basó en el modelo mostrado en la Fig. 2.

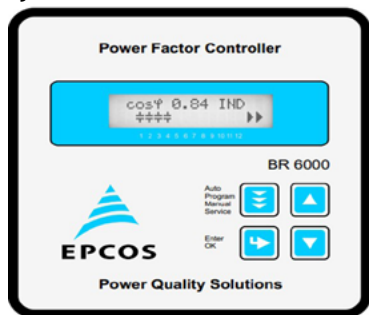


Fig. 1: Vista frontal de BR 6000.

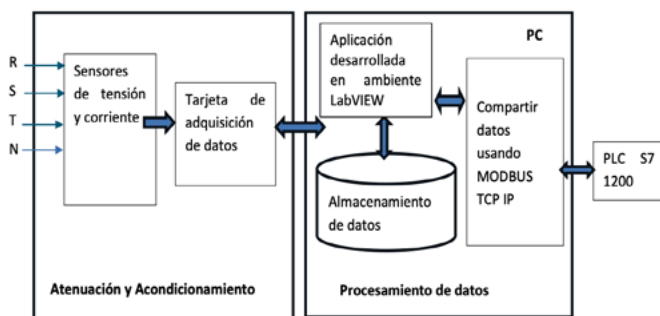


Fig. 2: Arquitectura del sistema de monitoreo.

B. Desarrollo del monitor de variables eléctricas

El monitor de variables eléctricas desarrollado con LabVIEW se divide en tres ventanas principales. La primera ventana, ilustrada en la Fig.3, corresponde al monitor de corriente, voltaje y desbalance. Esta ventana permite visualizar las señales eléctricas trifásicas en un gráfico rectangular, proporcionando una representación clara y detallada de las mismas. Además, se indican los valores de voltaje y corriente para las fases A, B y C, lo que facilita el seguimiento y análisis de cada fase individualmente. Un aspecto importante de

esta ventana es la capacidad de visualizar el desbalance de voltaje y corriente de la instalación trifásica que se está monitoreando, lo cual es necesario para identificar y corregir posibles problemas de desequilibrio en el sistema.

La segunda ventana, mostrada en la Fig. 4, se centra en el monitor de fasores y potencia eléctrica. Esta ventana permite visualizar los fasores de voltaje y corriente correspondientes a las fases A, B y C del sistema trifásico que se está midiendo. La representación de los fasores es fundamental para entender la relación de fase entre las diferentes señales eléctricas. Además, en esta ventana se puede apreciar la Potencia Activa, Aparente y Reactiva, así como el Factor de Potencia presente durante la medición. El algoritmo realizado en LabVIEW que permite realizar los cálculos de estas variables se muestra en la Fig. 5. Estos parámetros son necesarios para evaluar la eficiencia energética del sistema y para realizar ajustes que optimicen el consumo de energía.

Todo el sistema se agrupa en una pantalla principal, como se muestra en la Fig. 6, desde la cual se puede acceder a todas las ventanas que conforman el monitor de variables eléctricas. La integración de todas las funcionalidades en una única interfaz centralizada mejora la usabilidad del sistema, permitiendo a los usuarios navegar fácilmente entre las diferentes ventanas y acceder rápidamente a la información que necesitan. Esta organización intuitiva y eficiente del monitor de variables eléctricas desarrollado con LabVIEW, asegura que los usuarios puedan realizar un seguimiento detallado y preciso de las condiciones eléctricas del sistema trifásico.

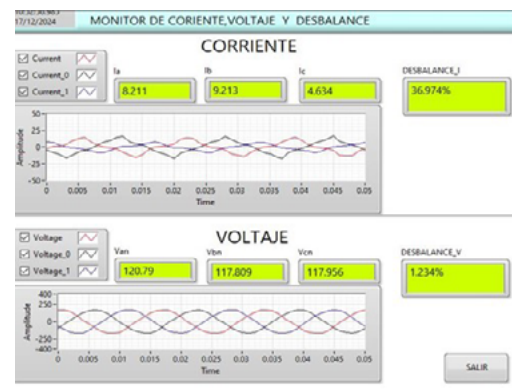


Fig. 3: Monitor de corriente voltaje y desbalance.

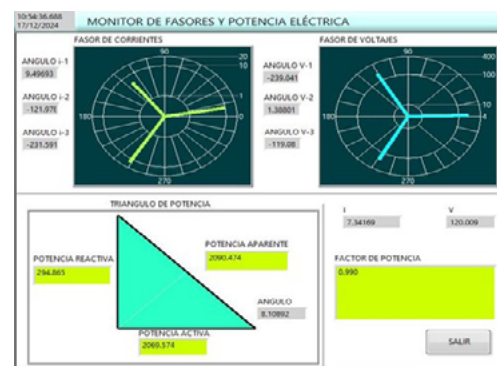


Fig. 4: Monitor de fasores y potencia eléctrica.

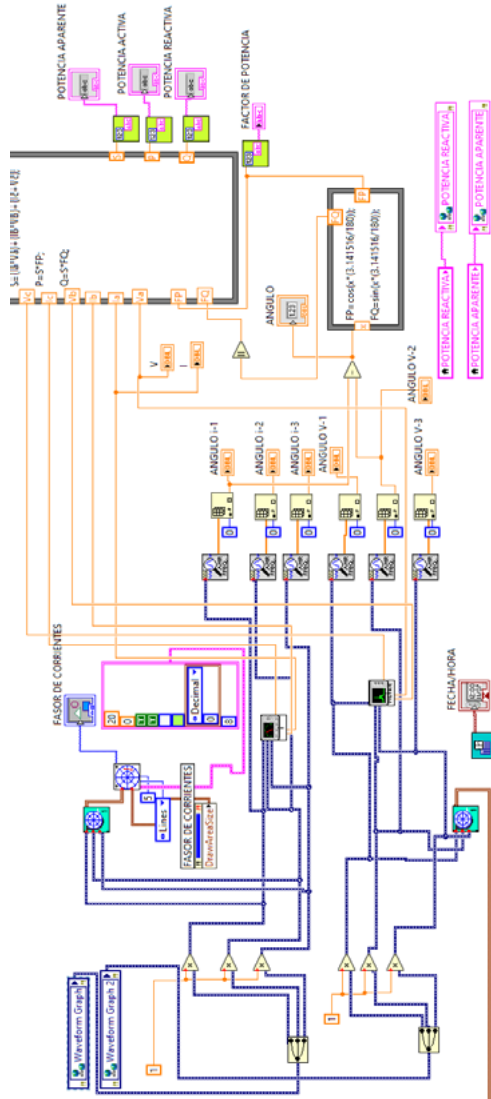
Fig. 5: Algoritmo en LabVIEW para el cálculo de F_p , Q , P y S .

Fig. 6: Pantalla principal del monitor de variables eléctricas.

C. Implementación del sistema

Para el diseño e implementación del sistema, se construyó un Panel de Control Automático Fig. 7, que contiene todos los componentes necesarios para su correcto funcionamiento, basándose en el diagrama de montaje eléctrico de la Fig. 8. Este panel incluye una variedad de elementos esenciales, tales como dispositivos de

protección, sistemas de control, equipos de medición y visualización y mecanismos para la descarga de capacitores. Además, se integraron las tarjetas DAQ NI USB-6009, que son fundamentales para la adquisición de datos y el controlador de corrección del Factor de Potencia BR 6000, que optimiza la eficiencia energética del sistema. El diseño del Panel de Control fue cuidadosamente planificado para asegurar una disposición lógica y accesible de todos los componentes, facilitando su operación y mantenimiento.



Fig. 7: Panel de Control Automático y pantalla LabVIEW.

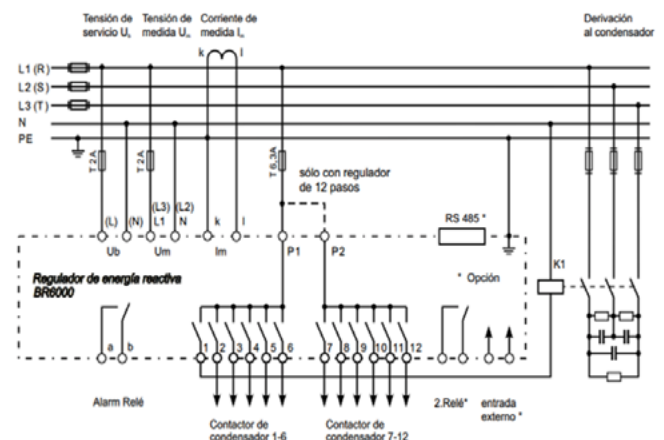


Fig. 8: Diagrama de montaje eléctrico.

Resultados

A. Datos obtenidos

Con el objetivo de validar el sistema desarrollado, se realizó un muestreo exhaustivo del tablero eléctrico instalado en el Centro de Cómputo Dos (CC2). Para ello, se tomaron un total de 1483 muestras, con una tasa de 60 por minuto. El resultado del proceso se presenta de manera detallada en las figuras 9, 10, 11, 12, 13 y 14.

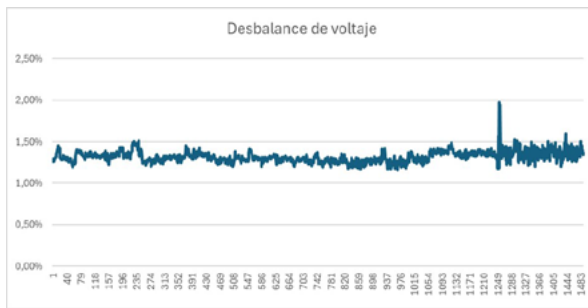


Fig. 9. Desbalance de voltaje.

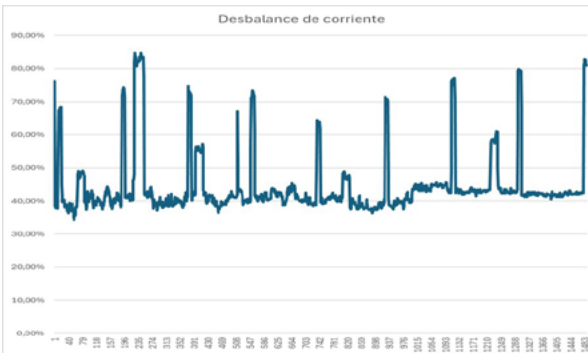


Fig. 10. Desbalance de corriente.

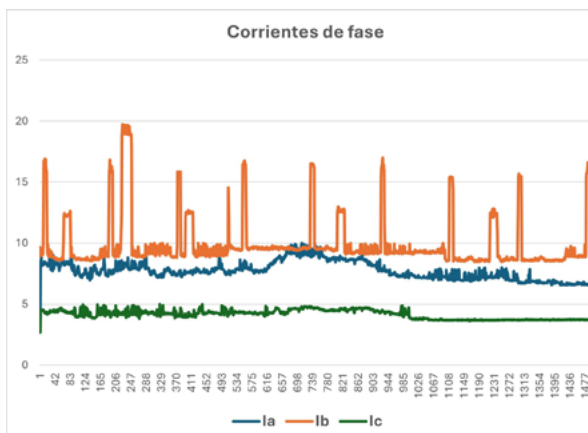


Fig. 11. Factor de Potencia medido en el tablero eléctrico del Centro de Computo 2 CC2.

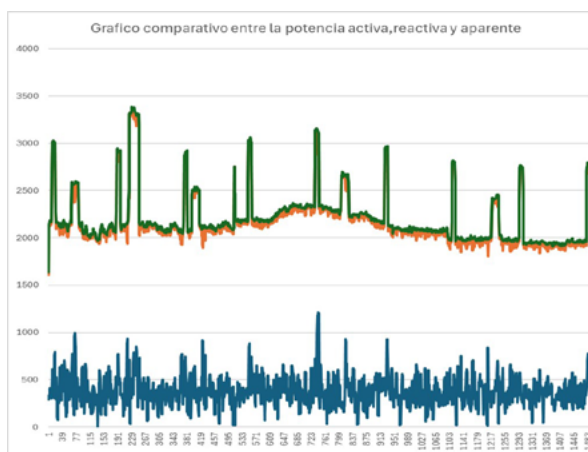


Fig. 12. Gráfico comparativo de la Potencia Activa, Reactiva y Aparente de las cargas instaladas en el CC2.

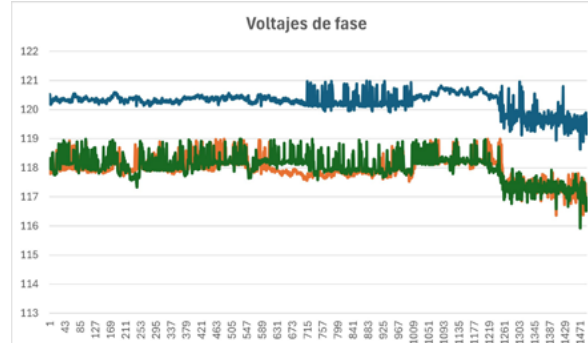


Fig. 13. Desbalance de voltajes en el tablero eléctrico del CC2.

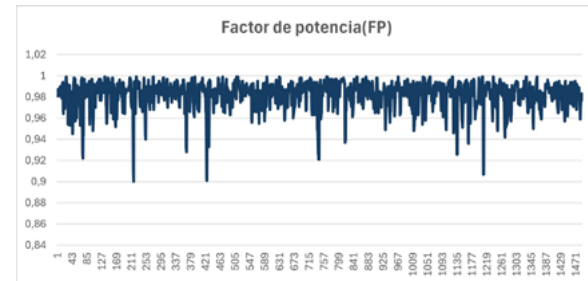


Fig. 14. Desbalance de corrientes en el tablero eléctrico del CC2.

B. Análisis de resultados

La digitalización permite el análisis de los datos de voltajes, corrientes, potencias y desbalances del tablero eléctrico. Esto permite verificar si los valores medidos están dentro de los parámetros aceptados o si existen desviaciones que deben ser corregidas. La herramienta desarrollada en el proyecto de investigación facilita el análisis de las variables eléctricas de interés. A continuación, se presenta el análisis detallado:

Voltajes: Van, Vbn, Vcn.

- Van. Los valores de voltaje de la fase A están dentro del rango esperado para un sistema de 120V. No se observan fluctuaciones significativas que puedan indicar problemas.
- Vbn. Los valores de voltaje de la fase B también están dentro del rango esperado y son consistentes con los de la fase A.
- Vcn. Los valores de voltaje de la fase C son similares a los de las fases A y B, lo que indica un buen equilibrio de voltaje entre las fases.

Corrientes: Ia, Ib, Ic.

- Ia. Las corrientes de la fase A muestran variaciones que pueden estar relacionadas con cambios en la carga conectada. No se observan picos anormales que puedan indicar sobrecargas, lo que sugiere un funcionamiento estable y dentro de los parámetros aceptables.
- Ib. Las corrientes de la fase B presentan un patrón en el que, a intervalos regulares, se observan picos de corriente. Inicialmente

esto podría sugerir una anomalía; sin embargo, al verificar, se identificó que en la fase B está conectado el centro de cómputo de la regional de ITCA Santa Ana.

El sistema de enfriamiento de este centro de cómputo demanda más energía durante los periodos en los que necesita ajustar la temperatura. Los picos de corriente observados se deben a la corriente de arranque de los ventiladores del sistema de enfriamiento, lo cual es un comportamiento esperado y no indica un problema.

- Ic. Las corrientes de la fase C no presentan valores anómalos y están en línea con las cargas conectadas en esta fase. Esto indica un funcionamiento normal y estable, sin signos de sobrecargas o fluctuaciones inusuales.

Potencia

- **Factor de Potencia FP.** Un Factor de Potencia cercano a 1 es ideal. Los valores observados de alrededor de 0.98 son buenos y están dentro de un rango aceptable.

Desbalances

- **Desbalance de Voltaje.** Los valores de desbalance de voltaje son bajos, son inferiores al 2% lo que indica un buen equilibrio de voltaje entre las fases.
- **Desbalance de Corriente.** Los valores de desbalance de corriente presentan variaciones, pero no muestran picos significativos que puedan indicar problemas graves. Estas variaciones se deben a que las cargas conectadas fluctúan a lo largo del tiempo, lo que dificulta mantener un desbalance de corriente estable. Durante el periodo observado, se verificó que el desbalance de corriente estaba fuera del parámetro aceptado; sin embargo, esto se debe a que, en el momento de las mediciones, no se estaba utilizando toda la carga instalada en el Centro de Cómputo 2 (CC2).

C. Análisis del impacto económico derivado de la implementación del sistema de corrección del Factor de Potencia.

El análisis se basa en una muestra de 1483 datos recopilados durante un periodo específico. Aunque esta muestra ofrece una visión preliminar del comportamiento del sistema, se recomienda extender la recolección de datos a un periodo mínimo de un año, con el fin de incorporar variaciones estacionales y otros factores que podrían influir en el rendimiento y en el impacto económico del sistema.

Resultados del análisis. Los datos obtenidos revelan un Factor de Potencia promedio de 0.98, lo cual indica un funcionamiento altamente eficiente, cercano al valor ideal de 1.0. No se registraron periodos en los que el Factor de Potencia FP, estuviera por debajo de 0.9, lo que implica que no se aplicaron penalizaciones por bajo rendimiento energético.

D. Manual Técnico del Módulo Didáctico para la Corrección del Factor de Potencia y Monitoreo de Variables Eléctricas en Baja Tensión

El manual presenta las instrucciones detalladas para el uso de un módulo didáctico diseñado con fines educativos y técnicos, orientado a la corrección automática del Factor de Potencia y al monitoreo de variables eléctricas en instalaciones de baja tensión. El sistema tiene como objetivo principal mejorar la eficiencia energética y proporcionar datos precisos sobre el comportamiento eléctrico de los sistemas analizados.

Descripción del Módulo Didáctico

El módulo está compuesto por tres elementos principales que interactúan de manera integrada:

- **Controlador automático.** Este componente regula el Factor de Potencia mediante la conexión y desconexión de bancos de condensadores, ajustando dinámicamente la compensación de energía reactiva según las condiciones del sistema.
- **Sensores de monitoreo.** Incorporan dispositivos de medición que registran variables eléctricas clave como voltaje, corriente y potencia activa/reactiva. Estos datos permiten evaluar el rendimiento del sistema en tiempo real.
- **Interfaz de usuario.** Proporciona un entorno gráfico para la visualización de parámetros eléctricos y la configuración del sistema. Facilita la interacción del usuario con el módulo, permitiendo ajustes operativos y análisis de datos.

Conclusiones

1. El uso de tecnologías avanzadas de visualización de datos permite un monitoreo y control eficiente de las variables eléctricas, las cuales se han integrado y se visualizan en un monitor basado en LabVIEW y comunicación con un PLC S7 1200 mediante MODBUS TCP/IP. Este diseño ha facilitado la gestión en tiempo real y la toma de decisiones informadas.
2. El sistema desarrollado no solo ha cumplido con los objetivos técnicos del proyecto, sino que también ha proporcionado una valiosa herramienta didáctica para la formación de estudiantes en el campo de la ingeniería eléctrica. La posibilidad de realizar prácticas relacionadas con la Calidad de la Energía y la Corrección del Factor de Potencia en un entorno real, enriquece el proceso educativo y fomenta la investigación aplicada.
3. La implementación del sistema de corrección del Factor de Potencia ha demostrado ser una inversión valiosa, para eliminar las penalizaciones y mejorar la eficiencia energética de la red eléctrica. Esto se traduce en ahorros económicos directos y en una operación más sostenible y confiable del sistema eléctrico del Centro Regional.

4. Es importante continuar con la investigación y el desarrollo de nuevas técnicas y algoritmos para la corrección del Factor de Potencia y el monitoreo de variables eléctricas. La integración de Inteligencia Artificial IA y Aprendizaje Automático ML, podría mejorar la precisión y la eficiencia del Sistema de Control Automático para Corrección del Factor de Potencia y Monitoreo de Variables Eléctricas en Instalaciones de Baja Tensión, abriendo nuevas oportunidades para la innovación en el campo de la ingeniería eléctrica.

Referencias

- [1] Ortea Next. "Sistemas de corrección del Factor de Potencia en baja tensión". Accedido: 10 feb., 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.orteanext.com/es/productos/sistemas-de-correccion-del-factor-de-potencia-de-baja-tension/>
- [2] A. Gordillo Solano, "Corrección de Factor de Potencia en baja tensión", Informe del trabajo de aplicación. Fac. de Tec. Carr. De Elec. Universidad Mayor de San Andrés, La Paz, Bolivia, 2018. [En línea]. Disponible en: <https://www.studocu.com/es-ar/document/universidad-tecnologica-nacional/mediciones-electricas/correccion-factor-de-potencia-en-baja-tension/17996035>
- [3] Electricity & Magnetism. "4 tipos de métodos de corrección de Factor de Potencia eléctrica más comunes", Accedido: 10 feb., 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.electricity-magnetism.org/es/4-tipos-de-metodos-de-correccion-de-factor-de-potencia-electrica-mas-comunes/>
- [4] Ministerio de Industria, Turismo y Comercio, "Guía técnica de aplicación: Instalaciones de enlace. Previsión de cargas para suministros en baja tensión", 2003 <https://www.studocu.com/es/document/universidad-politecnica-de-madrid/electrotecnia/guia-tecnica-de-aplicacion-instalaciones-de-enlace-prevision-de-cargas-para-suministros-de-baja-tension/21542389>
- [5] R. L. Boylestad y L. Nashelsky, Introducción al Análisis de Circuitos, 12ª ed., Ciudad de México, México: Pearson Educación, 2016.
- [6] YT ELECTRIC. "Cargas eléctricas de CA, cargas no lineales, armónicos y filtros". Accedido: 10 feb. 2025. [en línea]. Disponibel en: https://es.ytelect.com/blog/understanding-ac-electrical-loads-linear-vs-non-linear_b79
- [7] A. M. López, "Clasificación de las cargas no lineales", Cuadros Comparativos, 2019. <https://grupomobilitymurcia.es/clasificacion-de-las-cargas-no-lineales/>
- [8] Electrica Aplicada. "¿Qué son cargas no lineales, qué problemas generan y que dice la Norma?". Accedido: 10 feb. 2025. [En línea]. Disponible en: <https://electricaplicada.com/cargas-no-lineales/>
- [9] Arqhys.com. "Tipos de cargas eléctricas". Accedido: 10 feb. 2025. [En línea]. Disponible en: https://www.arqhys.com/decoracion/tipos-de_cargas_electricas.html
- [10] Electricity-Magnetism. "Corrección del Factor de Potencia: 4 Métodos Comunes". Accedido: 10 feb.2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.electricity-magnetism.org/es/4-tipos-de-metodos-de-correccion-de-factor-de-potencia-electrica-mas-comunes/>
- [11] Risoul.RS. "Normativas en Factor de Potencia con el Código de Red". Accedido: 10 mar. 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.risoul.com.mx/blog/normativas-en-factor-de-potencia-con-el-codigo-de-red>
- [12] SIGET, Código de Red, 2011. [En línea]. Disponible en: <https://www.aes-elsalvador.com/es/manual-tecnico-y-comercial-para-electricistas>
- [13] ANTECH El Salvador. "Recargos en la factura bajo factor de potencia". Accedido: 10 mar. 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.antechsv.com/2018/02/recargo-en-las-facturas-por-bajo-factor.html>
- [14] National Instruments Corp. "Leáme LabVIEW 2022 Q3 para Windows". Accedido: 12 abr. 2025. Jul. 2022. [Online]. Available in : <https://www.ni.com/pdf/manuals/lv-2022-q3.html>
- [15] Scribd. "Modbus TCP/IP Implementation Guide". Accedido: 12 abr. 2025. [Online]. Available in: <https://goo.su/tlweAb>
- [16] TDK Electronics AG, User Manual for BR6000 Power Factor Controller, Version 5.2, March 2011. [En línea]. Disponible en: <https://www.mgi.com.uy/images/pdf/epcos/BR6000.pdf>

EDUROBOLEARNING: KIT EDUCATIVO DE ROBÓTICA BÁSICA PARA FORTALECER COMPETENCIAS TECNOLÓGICAS EN EDUCACIÓN MEDIA

Nilson Erick Galdámez Martínez

Máster en Docencia Universitaria. Ingeniero en Sistemas Informáticos. Docente Investigador, Escuela Especializada en Ingeniería ITCA-FEPADE, Centro Regional Zacatecoluca.

Correo electrónico: ngaldamez@itca.edu.sv

Jimmy Gerson Ruiz Carmona

Técnico Superior en Electrónica. Docente Coinvestigador, Escuela Especializada en Ingeniería ITCA-FEPADE, Centro Regional Zacatecoluca.

Correo electrónico: gerson.ruiz@itca.edu.sv

Recibido: 26/05/2025 - Aceptado: 14/10/2025

Resumen

El presente artículo describe el desarrollo del proyecto EduRoboLearning, una iniciativa orientada a fortalecer la enseñanza de la robótica básica, la programación Arduino y la impresión 3D, enfocada en la Educación Media de El Salvador. El objetivo principal fue diseñar y validar un kit educativo de robótica básica, de bajo costo y accesible, basado en tecnologías de código abierto. Para ello, se elaboró un manual de construcción que utiliza piezas del proyecto open source Escornabot, para impresión 3D con material PLA. Se desarrolló un código fuente en Arduino compatible con entornos de aprendizaje y se diseñó una estructura curricular modular para su implementación pedagógica. La metodología incluyó validaciones prácticas realizadas por estudiantes de la carrera Técnico en Hardware Computacional de ITCA-FEPADE, Centro Regional Zacatecoluca. Como resultado, se obtuvo un kit de robótica básica educativa, un conjunto de recursos pedagógicos validados en el aula y una programación orientada al aprendizaje activo. Con este kit, los estudiantes podrán desarrollar competencias elementales para ensamblar el robot, personalizar su programación y resolver desafíos prácticos. EduRoboLearning es una solución replicable, que puede ser implementada en instituciones de Educación Media Técnica para contribuir al cierre de la brecha digital. Este proyecto vincula el quehacer académico y la investigación con la proyección social, en beneficio de docentes y estudiantes de diferentes Centros Educativos del sector público del departamento de La Paz.

Palabras clave

Robótica educativa, Arduino, impresión 3D, código abierto, currículo técnico.

EDUROBOLEARNING: EDUCATIONAL ROBOTICS KIT TO STRENGTHEN TECHNOLOGICAL SKILLS IN SECONDARY EDUCATION

Abstract

This article describes the development of the EduRoboLearning project, an initiative aimed at strengthening the teaching of basic robotics, Arduino programming, and 3D printing, focused on secondary education in El Salvador. The main objective was to design and validate a low-cost, accessible educational kit for basic robotics, based on open-source technologies. To this end, a construction manual was developed using parts from the open source Escornabot project for 3D printing with PLA material. An Arduino source code compatible with learning environments was developed, and a modular curriculum structure was designed for its pedagogical implementation. The methodology included practical validations, carried out by students of the Computer Hardware Technician career at ITCA-FEPADE Zacatecoluca Regional Center. The result was a basic educational robotics kit, a set of classroom-validated teaching resources, and active learning-oriented programming. With this kit, students will be able to develop basic skills to assemble the robot, customize its programming, and solve practical challenges. EduRoboLearning is a replicable solution that can be implemented in technical secondary education institutions, to help closing the digital divide. This project links academic work and research with social outreach, benefiting teachers and students from different public education centers in the La Paz department.

Keyword

Educational robotics, Arduino, 3D printing, open source, technical curriculum.

Introducción

Es importante fortalecer los recursos tecnológicos y la capacitación docente para desarrollar competencias en diseño digital y programación Arduino en Educación Media. La robótica educativa, combinada con impresión tridimensional, promueve este aprendizaje activo.

El proyecto EduRoboLearning, implementado por ITCA-FEPADE Centro Regional Zacatecoluca, contribuye a fortalecer los recursos tecnológicos, con un kit robótico básico de código abierto, impresión 3D, manuales didácticos y una estructura curricular propuesta organizada en módulos y unidades didácticas, que avanzan progresivamente, desde conceptos básicos hasta la ejecución de kits funcionales de robótica educativa. Este proyecto servirá para capacitar docentes y fortalecer la educación técnica; propone métodos didácticos efectivos para desarrollar competencias en robótica básica educativa, utilizando tecnologías accesibles. Fue validado por estudiantes de la carrera técnica en Hardware Computacional de ITCA-FEPADE Zacatecoluca.

Dentro de la metodología y resultados obtenidos están el diseño y construcción del robot didáctico, técnicas de impresión 3D, la programación del código fuente en Arduino, y la estructura del modelo curricular.

Desarrollo

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

El proyecto EduRoboLearning se estructuró para proporcionar recursos tecnológicos – didácticos accesibles para la enseñanza de programación y robótica básica en la Educación Media. A partir de esta premisa, se definieron tres objetivos: el diseño del robot educativo, la elaboración de un código fuente en Arduino y la estructuración de un plan curricular adaptado a entornos escolares.

A. Diseño y Construcción del Robot

Para la parte física del robot, se utilizaron diseños provenientes del proyecto de software libre Escornabot [1], adaptándolos y optimizándolos mediante herramientas CAD para su impresión en 3D [2]. Esto permitió reducir tiempos de diseño, garantizar compatibilidad funcional y facilitar el ensamblaje del kit.

El Manual de Construcción resultante incluye instrucciones detalladas para cada fase del montaje; éste fue validado por estudiantes.

B. Desarrollo del Código Fuente en Arduino

El robot EduRoboLearning fue programado utilizando el lenguaje de Arduino, complementado con la biblioteca de código abierto Escornabot.h y funciones personalizadas desarrolladas específicamente para este proyecto. El código incluye rutinas para

el manejo de motores, sensores de ultrasonido e infrarrojos, y control mediante botonera y Bluetooth. Los estudiantes validaron su efectividad programando sus propios robots y realizando pruebas de funcionamiento en distintos escenarios. Se elaboró un Manual de Programación Arduino.

C. Diseño de Estructura Curricular

Está compuesta por módulos progresivos que abarcan desde fundamentos de electrónica y programación básica, hasta la creación y control del robot. Esta propuesta pedagógica incorpora metodologías activas como el Aprendizaje Basado en Proyectos ABP, promueve el pensamiento lógico y computacional y se adapta a distintos niveles educativos. El currículo incluye actividades prácticas, criterios de evaluación y herramientas didácticas para facilitar su implementación en el aula.

D. Validación

Durante la validación, los estudiantes participantes lograron ensamblar el robot, personalizar su programación y resolver desafíos de navegación y control, demostrando la viabilidad pedagógica del proyecto. Esta experiencia contribuyó a fortalecer las habilidades técnicas de los estudiantes.

Resultados

El proyecto EduRoboLearning alcanzó satisfactoriamente los objetivos propuestos:

- Diseño de hardware y construcción del robot.
- Desarrollo de software educativo, código fuente en Arduino.
- Desarrollo del diseño curricular.

A. Diseño e implementación del Kit Robótico

Se fabricó el kit EduRoboLearning utilizando archivos STL provenientes del repositorio del proyecto Escornabot, ajustados para su impresión 3D mediante tecnología FDM. [2][3]

Componentes utilizados en el diseño y ensamblaje del kit EduRoboLearning.

Cada elemento fue seleccionado según su funcionalidad, compatibilidad y disponibilidad para ambientes educativos. La placa Arduino Nano actúa como el cerebro del sistema, permitiendo la integración con diversos sensores y actuadores. Los motores DC proporcionan la movilidad del robot, mientras que el sensor ultrasónico HC-SR04 facilita la detección de obstáculos. El chasis, fabricado mediante impresión 3D con material PLA, constituye la estructura física del robot y fue diseñado para facilitar el montaje. El sistema es alimentado por una batería recargable de 7.4V y 1200mAh, que garantiza la autonomía suficiente para las prácticas educativas. Esta configuración permite un equilibrio entre funcionalidad, bajo costo y facilidad de implementación en entornos de enseñanza técnica.

Los estudiantes imprimieron y ensamblaron con éxito los componentes físicos del robot, validando la funcionalidad mecánica de cada pieza. Esta etapa permitió confirmar la viabilidad del Manual de Construcción y obtener recomendaciones para la mejora del mismo.

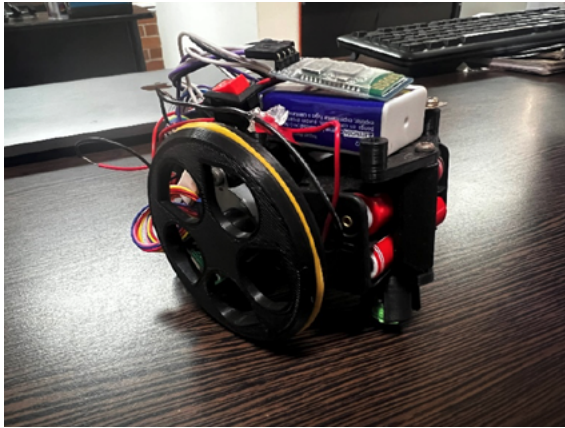


Fig. 1. Robot ensamblado.



Fig. 2. Manipulación del robot con la App de control remoto.

B. Resultados en el Desarrollo del Código Arduino

El código fuente fue probado con éxito en distintos escenarios de uso: control de motores, interacción mediante botonera, respuesta a comandos vía Bluetooth y lectura de sensores de distancia y de línea. Los estudiantes desarrollaron ejercicios personalizados que validaron la eficiencia de las funciones

implementadas. Se documentó la programación y ejecución del código, nivel de comprensión por parte de los estudiantes y la necesidad de incluir nombres de funciones más descriptivas en futuras versiones.

C. Diseño de Estructura Curricular

La estructura curricular fue implementada de forma experimental en entornos de aprendizaje reales, permitiendo evaluar su aplicabilidad. La división modular y las actividades propuestas facilitaron el desarrollo progresivo de competencias en robótica básica educativa. Se logró un equilibrio entre teoría y práctica. Los estudiantes desarrollaron competencias para la ejecución de proyectos, integrando conocimientos de electrónica, programación y ensamblaje.

Discusión

- En relación con el primer objetivo, la creación del Manual de Construcción basado en archivos STL del proyecto de código abierto Escornabot, permitió reducir considerablemente los tiempos de diseño de piezas y la viabilidad del ensamblaje mediante impresoras 3D FDM. [4] La participación activa de estudiantes en la validación del kit demostró que es posible integrar tecnologías abiertas de forma efectiva en contextos educativos.
- Respecto al segundo objetivo, el desarrollo del código fuente en Arduino, con librería Escornabot.h, complementada con otras funciones, ofreció una base funcional para que los estudiantes realizaran prácticas reales de programación básica y control de robots. Esto coincide con la visión de Papert (1980) y Resnick (2007), quienes destacan el valor de la programación como medio para fomentar el pensamiento crítico, la resolución de problemas y la creatividad, aspectos claramente evidenciados en las actividades de aula realizadas.
- El tercer objetivo, referido a la estructura curricular modular diseñada para este proyecto, demostró ser aplicable y flexible, permitiendo adaptarse a distintos niveles de habilidad y conocimientos previos. La combinación de teoría, práctica guiada y proyectos integradores, responde a metodologías activas de aprendizaje, tales como el enfoque STEM y el Aprendizaje Basado en Proyectos ABP, recomendados por la UNESCO (2022) para la enseñanza de disciplinas tecnológicas.
- Comparado con otras alternativas, EduRoboLearning se destaca por su bajo costo de implementación y la posibilidad de ser replicado en centros educativos con limitaciones tecnológicas. Con el uso de recursos open source, se procura la sostenibilidad del proyecto, alineándose con tendencias globales de democratización del conocimiento y reducción de la brecha digital (OEI, 2023).

Conclusiones

- El desarrollo del proyecto EduRoboLearning, permitió abordar con éxito una solución educativa accesible y contextualizada para la enseñanza de robótica básica, programación Arduino e impresión 3D en la Educación Media.
- Se obtuvo una herramienta didáctica y funcional, a través de la elaboración de un Manual de Construcción basado en un proyecto de hardware libre Escornabot, la implementación de código fuente en Arduino y la estructura de una propuesta curricular modular con lecciones y actividades prácticas. La herramienta demostró ser una base sólida para guiar el proceso formativo en robótica básica educativa.
- EduRoboLearning ofrece un balance entre costo, aplicabilidad pedagógica y adaptabilidad curricular. Es una opción viable para ser implementada en programas institucionales de proyección social, enfocados en la capacitación de docentes de Educación Media.
- La implementación del proyecto EduRoboLearning contribuirá al fortalecimiento de competencias tecnológicas en estudiantes de Educación Media, particularmente en el campo de la robótica básica educativa.

Recomendaciones

A partir de los resultados obtenidos con el desarrollo del proyecto EduRoboLearning, se plantean las siguientes recomendaciones orientadas a su implementación, mejora continua y potencial escalabilidad:

- Fortalecer la estrategia de formación docente. Es fundamental diseñar e implementar programas de capacitación dirigidos a docentes de educación media, especialmente en áreas técnicas, para garantizar una correcta integración de la robótica educativa en sus prácticas pedagógicas.
- Desarrollar una plataforma digital de apoyo didáctico que facilite el acceso abierto. Se recomienda crear una plataforma virtual que integre el manual de construcción, el código fuente, los recursos curriculares, tutoriales y foros de intercambio docente-estudiantil.
- Ampliar el alcance del proyecto a nuevas tecnologías. Este proyecto puede ser escalable al incorporar sensores avanzados, módulos de Inteligencia Artificial educativa y herramientas de simulación robótica, para un aprendizaje más profundo y contextualizado.
- Se recomienda a las instituciones públicas de Educación Media implementar y evaluar la efectividad del aprendizaje de la robótica básica educativa con este proyecto.

Agradecimientos

Se agradece el valioso apoyo de los estudiantes de segundo año, promoción 2024 de la carrera Técnico en Hardware Computacional de ITCA-FEPADE, Centro Regional Zacatecoluca.

Se reconoce el acompañamiento y orientación técnico pedagógica del maestro Santiago Domínguez. Su colaboración fue fundamental para alcanzar los resultados obtenidos.

Referencias

- [1] Escornabot Community, "Escornabot: Plataforma robótica de código abierto para educación," Escornabot, España, 2025. [En línea]. Disponible: <https://escornabot.com/>
- [2] I. Gibson, D. Rosen, y B. Stucker, Additive Manufacturing Technologies, 3rd ed. New York, USA: Springer, 2021.
- [3] J. Horvath y R. Cameron, The New Shop Class: Getting Started with 3D Printing, Arduino, and Wearable Tech, New York, USA: Apress, 2020.
- [4] B. Redwood, F. Schöffner, and B. Garret, The 3D Printing Handbook: Technologies, Design and Applications, 3D Hubs, Amsterdam, Netherlands: Multitude, 2017.



DISEÑO DE UN SISTEMA AUTOMATIZADO, INTUITIVO Y AMIGABLE PARA EL CÁLCULO DE PROYECTOS FOTOVOLTAICOS DE USO DOMÉSTICO O INDUSTRIAL

Fermín Osorio Gómez

Técnico en Ingeniería Eléctrica. Docente Investigador, Escuela Especializada en Ingeniería ITCA-FEPADE, Centro Regional San Miguel.
Correo electrónico: : fg.osorio@itca.edu.sv

Benjamín Alessandro Ramírez Chévez

Técnico en Ingeniería de Sistemas Informáticos. Docente Coinvestigador, Escuela Especializada en Ingeniería ITCA-FEPADE, Centro Regional San Miguel.
Correo electrónico: bramirez@itca.edu.sv

Recibido: 16/05/2025 - Aceptado: 16/09/2025

Resumen

Este artículo contiene información referente al diseño e implementación de un proyecto multidisciplinario denominado “Sistema automatizado, intuitivo y amigable para el cálculo de proyectos fotovoltaicos de uso doméstico o industrial”; fue desarrollado por docentes investigadores de las carreras de Técnico en Ingeniería Eléctrica y Técnico en Ingeniería de Desarrollo de Software de ITCA-FEPADE Centro Regional San Miguel. Dentro de la metodología utilizada se identificaron los requerimientos clave para los procesos esenciales para el cálculo y dimensionamiento de sistemas solares fotovoltaicos domésticos o industriales, tanto aislados como conectados a la red. A partir de estos requisitos, se creó una base de datos relacional y se diseñaron interfaces de usuario para una aplicación móvil Android. Esta aplicación permite a técnicos y estudiantes del área de eléctrica automatizar cálculos y dimensionar sistemas solares fotovoltaicos, facilitando el diseño, levantamiento de datos y el presupuesto o cantidad de materiales. La aplicación resulta accesible en la Play Store para cualquier profesional del área eléctrica, contribuyendo al uso eficiente de Tecnologías de la Información y Comunicación TIC, para el diseño de sistemas solares fotovoltaicos.

Palabras clave

Aplicación móvil, sistema aislado, sistema inyectado a la red, Android, energía solar fotovoltaica.

AUTOMATED SYSTEM DESIGN, INTUITIVE AND USER-FRIENDLY FOR THE CALCULATION OF PHOTOVOLTAIC PROJECTS FOR DOMESTIC OR INDUSTRIAL USE

Abstract

This article contains information on the design and implementation of a multidisciplinary project called “Automated, intuitive and user-friendly system for the calculation of photovoltaic projects for domestic or industrial use”; it was developed by research professors of the Electrical Engineering Technician and Software Development Engineering Technician careers of ITCA-FEPADE San Miguel Regional Center. Within the methodology used, the key requirements for the essential processes for the calculation and sizing of domestic or industrial solar photovoltaic systems, both isolated and connected to the grid, were identified. From these requirements, a relational database was created and user interfaces were designed for an Android mobile application. This application allows technicians and students in the electrical field to automate calculations and dimension solar photovoltaic systems, facilitating the design, data collection and the budget or quantity of materials. The application is accessible in the Play Store for any professional in the electrical area, contributing to the efficient use of Information and Communication Technologies ICT, for the design of solar photovoltaic systems.

Keywords

Mobile application, isolated system, system injected into the grid, Android, photovoltaic solar energy.

Introducción

Los sistemas de generación eléctrica fotovoltaica requieren incursionar en mejores formas dimensionar y calcular eficientemente sus componentes. La integración de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones TIC, busca optimizar procesos, mejorar la precisión en la planificación y la ejecución de proyectos de energía renovable. Este proyecto consistió en el desarrollo de una aplicación móvil Android para el cálculo de sistemas solares fotovoltaicos, ya sea en modalidad aislada o inyectada a la red.

La creciente demanda de soluciones energéticas sostenibles, junto con la acelerada evolución tecnológica, impulsa la necesidad de herramientas digitales que faciliten el trabajo de estudiantes, ingenieros y técnicos en el campo de energías renovables. En este contexto, el desarrollo de una aplicación móvil especializada puede proporcionar beneficios significativos, desde el cálculo automatizado de presupuestos o cantidad de materiales y configuraciones técnicas, hasta la mejora en la toma de decisiones informadas basadas en datos.

Tomando en consideración metodologías aplicadas en el sector eléctrico, este proyecto se apoya en estrategias de sistematización y automatización de procesos, con el fin de ofrecer una solución adaptada a las necesidades reales de emprendedores y profesionales que laboran en el sector fotovoltaico. La implementación de una herramienta digital como ésta, no solo representa un avance en la gestión eficiente de sistemas solares, sino que también sienta las bases para futuras innovaciones en la digitalización del sector energético.

Desarrollo

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

Con el desarrollo de una aplicación móvil para dimensionar sistemas solares fotovoltaicos, tanto aislados como inyectados a la red, (Fig. 1, Fig. 2) se busca optimizar el proceso de cálculo y planificación de proyectos de energía renovable. Con el apoyo de herramientas digitales inteligentes, la aplicación Android permite realizar cálculos precisos sobre la cantidad y capacidad de paneles solares, bancos de baterías, inversores, controladores de carga y protecciones necesarias para cada proyecto.

Además de mejorar la eficiencia y la precisión en el levantamiento de datos y la elaboración de presupuestos o cantidades de materiales, esta aplicación se ha diseñado con una interfaz amigable para que cualquier usuario, independientemente de su nivel técnico, pueda obtener resultados confiables.

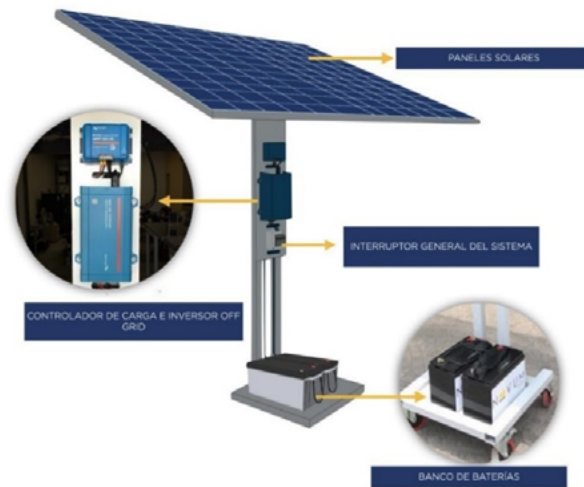


Fig. 1 Sistema solar fotovoltaico aislado.

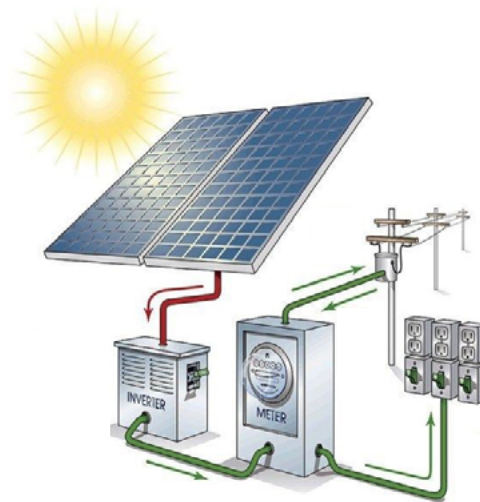


Fig. 2 - Sistema solar fotovoltaico inyectado a la red.

Dentro de la metodología para el diseño e implementación de la Aplicación se trabajó en las siguientes fases:

Fase 1. Investigación Técnica y Científica para el Desarrollo de Sistemas Solares Fotovoltaicos. Este componente se centró en la investigación técnica y científica para impulsar el desarrollo de sistemas solares fotovoltaicos innovadores y eficientes. Aprovechando al máximo las TIC se realizaron sesiones de trabajo de manera presencial y virtual, lo que permitió avanzar en el progreso del proyecto de investigación e integrar el trabajo de las carreras de Ingeniería Eléctrica y Desarrollo de Software.

Se elaboró una lista de requerimientos, con el objetivo de utilizarlos en tiempo en las diferentes etapas de diseño, desarrollo, pruebas y depuración de la aplicación a desarrollar en Android.

Fase 2. Recolección de datos. Se estableció una metodología rigurosa para la recolección de datos mediante la realización de experimentos controlados y ensayos prácticos. Esta fase incluyó la integración de tablas técnicas, fórmulas y normativas del dominio de aplicación. La finalidad de esta etapa fue garantizar la validez y confiabilidad de los insumos técnicos necesarios para respaldar el desarrollo y validar la funcionalidad del sistema. Se identificaron y documentaron los requisitos específicos que permitirían modelar de manera precisa los procesos que serían automatizados posteriormente en la aplicación.

Fase 3. Implementación Lógica. A partir del análisis de los datos recopilados, se definieron las estructuras y procedimientos lógicos necesarios para el desarrollo del sistema. Se llevaron a cabo pruebas unitarias sobre los cálculos a implementar, los cuales fueron validados con base en criterios técnicos derivados de la investigación inicial. Como parte de este proceso, se diseñó una base de datos local que permite almacenar, organizar y recuperar eficientemente la información.

Esta implementación busca transformar cálculos manuales, en flujos digitales estructurados, permitiendo la automatización de cálculos, la consulta ágil de información y la generación de reportes dinámicos.

Fase 4. Automatización de la Aplicación Android. Para la implementación móvil, se optó por el desarrollo de una aplicación Android, utilizando el lenguaje de programación Dart junto con el framework Flutter, reconocido por su eficiencia en el desarrollo de interfaces multiplataforma. Esta elección tecnológica permite construir una aplicación robusta, moderna y altamente escalable, capaz de adaptarse a diferentes dispositivos y entornos de ejecución sin comprometer el rendimiento. La automatización permite al usuario realizar registros, cálculos y consultas desde su dispositivo móvil de manera intuitiva y eficiente, elevando significativamente la usabilidad y el valor práctico del sistema desarrollado. Con el uso de estas tecnologías y usando una estructura ordenada de los recursos del proyecto, se diseñó una interfaz accesible por cualquier dispositivo Android, que tenga una versión 7 o superior de sistema operativo. (Fig. 3)

Fase 5. Testeo de Software y Validación de Resultados. En esta última fase, se desarrolló en conjunto con estudiantes, investigadores y docentes del área de ingeniería eléctrica, pruebas de estrés de la aplicación y validación de resultados.

Entre las ventajas de este sistema automatizado, intuitivo y amigable destacan:

- Eficiencia energética y sostenibilidad. Facilita el diseño y la planificación óptima de sistemas solares fotovoltaicos, contribuyendo a la reducción del desperdicio energético y a



Fig. 3 - Stack principal de la aplicación. Fuente: Docente Investigator.

la disminución de emisiones de gases de efecto invernadero.

- Ahorro de costos. Permite una correcta estimación del presupuesto de materiales, evitando gastos innecesarios en la compra de equipos y accesorios.
- Accesibilidad y facilidad de uso. Está diseñada para profesionales y emprendedores del sector eléctrico, así como para personas interesadas en la instalación de energía solar, garantizando una experiencia intuitiva.
- Proyección social y educación. La aplicación es de acceso gratuito en la PlayStore; promueve el conocimiento sobre energía solar fotovoltaica en estudiantes y es útil para técnicos, emprendedores, instituciones sin fines de lucro ONG, gobiernos locales y comunidades interesadas en instalar proyectos de eficiencia energética.

Resultados

La aplicación Android, ofrece una variedad de opciones que permiten a los usuarios poder crear los diferentes escenarios en el diseño de proyectos solares fotovoltaicos; puede elegir entre los métodos de cálculo para sistemas aislados o inyectados a la red y puede decidir

entre realizar el estudio completo del consumo energético, o encontrar los resultados esperados únicamente colocando el valor del consumo diario, según la factura del consumo energético del inmueble. Además, le facilita generar reportes en tiempos muchísimos más rápidos que hacerlo de manera manual. Entre las opciones desarrolladas están las siguientes:

- Sistemas Inyectados.
- Sistemas Aislados.
- Tablas de configuración.
- Tablas de información.

Dimensionamiento del sistema solar fotovoltaico inyectado y sistema aislado.

Ambos sistemas ofrecen la opción de utilizar los equipos y/o electrodomésticos predefinidos y aplicar las tablas con datos típicos de consumo por defecto; además tiene la opción de añadir cargas y obtener los resultados deseados.

Puede además utilizarse en los dos sistemas, la función especial ¿conoce la carga total? la cual permite realizar los cálculos únicamente colocando el valor de la carga consumida en un mes, a fin de obtener los valores requeridos en capacidad de inversores, controladores de carga, cantidad de paneles solares, baterías, material eléctrico y de montaje, entre otros. (Fig. 4, 5 y 6)

Fig. 4 - Cálculos con Sistema inyectado

Fig. 5 - Pantalla de ingreso de Datos Sistema Aislado.

Fi. 6 - Pantalla de ingreso de Datos Sistema Aislado.

Generación de informe de cálculos.

Estos documentos que genera la aplicación, permiten al usuario revisar la cantidad de equipos y sus capacidades, así como conocer los materiales y accesorios para cotizar a proveedores, determinar sus costos y poder enviar presupuestos. Fig. 7.

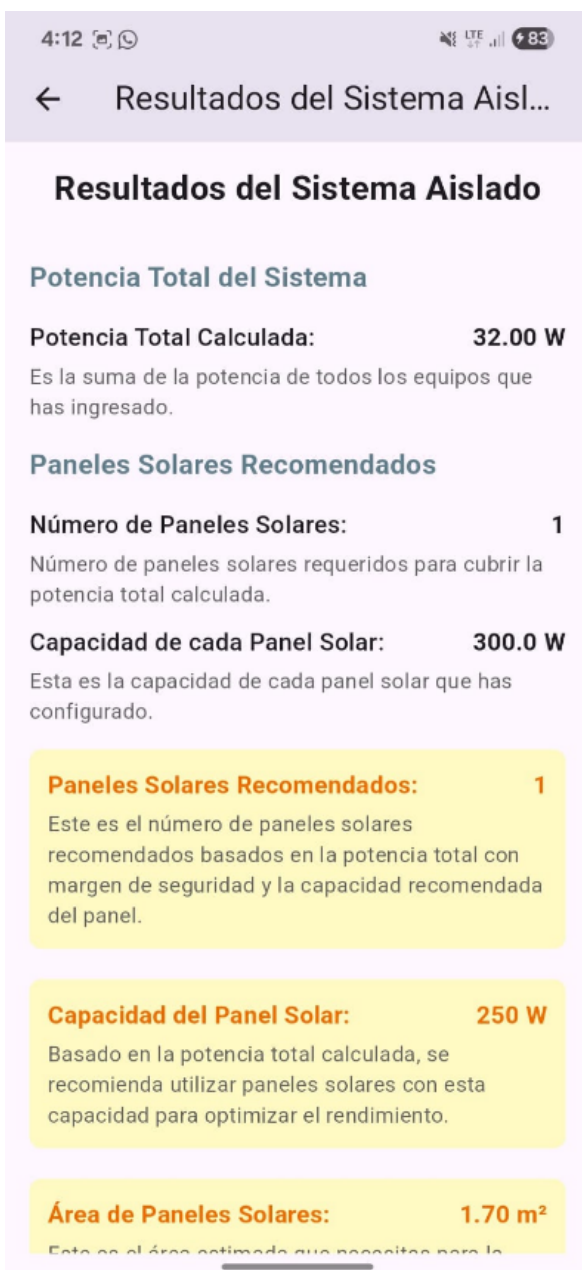


Fig. 7 – Generación de informe. Fuente: Docente Investigador.

Se desarrolló una aplicación Android nativa compatible con diferentes dispositivos móviles y su respectivo manual de usuario.

Conclusiones

- Se investigaron los métodos de cálculo de sistemas solares fotovoltaicos, tanto aislados como inyectados a la red, lo que permitió desarrollar una aplicación móvil para Android que facilita el dimensionamiento de ambos sistemas.

- La herramienta informática permite dimensionar con precisión los componentes de los sistemas fotovoltaicos, tales como inversores, paneles solares, controladores de carga y bancos de baterías, entre otros.
- Esta aplicación está diseñada para ayudar a los usuarios a calcular los requerimientos de sistemas fotovoltaicos de manera accesible; los resultados dependerán de la exactitud de la información con la que se alimente.
- Los datos predefinidos de consumo están basados en electrodomésticos genéricos. Los usuarios pueden modificar estos valores de acuerdo con los equipos reales que se usarán para el dimensionamiento.
- Es importante ajustar los datos técnicos a las especificaciones del fabricante para obtener resultados más precisos, así como definir el uso simultáneo y las horas de uso.
- Los resultados de este proyecto se vinculan con la Proyección Social, a través de la capacitación de docentes y estudiantes de bachilleratos técnicos de la Zona Oriental del país.

Bibliografía

- J. Martín Jiménez, Energía solar fotovoltaica y energía eólica, 1a. ed. Madrid, España: Editorial: AMV Ediciones, 2014.
- M. Pareja Aparicio, Energía solar fotovoltaica: cálculo de una instalación aislada, 2a.ed. Barcelona, España: Marcombo, 2010.



DISEÑO DE TUTOR DIGITAL PARA POTENCIAR EL APRENDIZAJE UTILIZANDO HERRAMIENTAS DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL

Luis Ernesto Elías Morales

Licenciado en Informática. Docente Investigador, Escuela de Ingeniería en Computación. Escuela Especializada en Ingeniería ITCA-FEPADE, Sede Central Santa Tecla.
Correo electrónico: lelías@itca.edu.sv

José Francisco Quezada Alas

Ingeniero en Ciencias de la Computación. Docente Coinvestigador, Escuela de Ingeniería en Computación. Escuela Especializada en Ingeniería ITCA-FEPADE, Sede Central Santa Tecla.
Correo electrónico: jquezada@itca.edu.sv

Recibido: 19/08/2025 - Aceptado: 04/09/2025

Resumen

La Escuela de Ingeniería en Computación de ITCA-FEPADE, desarrolló un proyecto que tuvo como objetivo crear un Tutor Digital Web como tutor virtual o docente sustituto temporal, integrando Inteligencia Artificial (IA) y Realidad Virtual (RV) para apoyar el proceso educativo de los estudiantes. La metodología se basó en principios de ingeniería de software con un enfoque incremental, iniciando con un análisis detallado de requerimientos y continuando con un diseño centrado en el usuario, priorizando usabilidad y accesibilidad. Se incorporaron modelos de Deep Learning para personalizar la experiencia de aprendizaje y se elaboró documentación técnica y funcional que garantiza la instalación, mantenimiento y uso adecuado del Tutor Digital. Este proyecto se desarrolló utilizando HTML, CSS, JavaScript, Vue.js y Vuetify, priorizando la usabilidad y una experiencia fluida, así como la implementación de una API con estructura en múltiples carpetas, cada una con un propósito específico en el desarrollo de la aplicación web basada en Django, la cual incluye “las potencialidades de los chatbots con Inteligencia Artificial IA. Se llevó a cabo un proceso de entrenamiento de la IA, utilizando dos tipos principales de recursos: archivos de texto (TXT) extraídos de manuales técnicos y videos educativos con Unity. Paralelamente a los archivos TXT, se produjo una serie de elementos multimedia en Filmora. Para responder de manera dinámica a las consultas del estudiante dentro del entorno 3D, se utilizó el modelo de “servicio de procesamiento de lenguaje natural basado en Ollama”. Los resultados obtenidos incluyen el desarrollo de un módulo académico estructurado conforme al plan de estudios de la asignatura Lógica de Programación, así como la implementación de una aplicación Web interactiva y responsiva orientada a mejorar la experiencia y las competencias del estudiante; se incluyó la producción de manuales técnicos y de usuario final. Se comprobó que la identificación precisa de requerimientos y el diseño enfocado en la Experiencia del Usuario UX fueron factores clave para el éxito del proyecto. El modelo de IA implementado demostró eficacia y adaptabilidad en el entorno educativo, por lo que se recomienda un monitoreo y actualización periódica de sus componentes para mantener su vigencia y relevancia.

Palabras clave

Procesamiento de Lenguaje Natural NLP, Inteligencia Artificial, tutor, plataforma, aprendizaje, educación.

DIGITAL TUTOR DESIGN TO ENHANCE LEARNING USING ARTIFICIAL INTELLIGENCE TOOLS

Abstract

The Escuela de Ingeniería en Computación of ITCA-FEPADE, developed a project aimed at creating a Web Digital Tutor, as a virtual tutor or temporary substitute teacher, integrating Artificial Intelligence (AI) and Virtual Reality (VR) to support the educational process of students. The methodology was based on software engineering principles with an incremental approach, starting with a detailed requirements analysis and continuing with a user-centered design, prioritizing usability and accessibility. Deep Learning models were incorporated to personalize the learning experience, and technical and functional documentation was prepared to ensure the proper installation, maintenance, and use of the Digital Tutor. This project was developed using HTML, CSS, JavaScript, Vue.js, and Vuetify, prioritizing usability and a smooth experience, as well as the implementation of an API with a multi-folder structure, each with a specific purpose in the development of the web application based on Django, which includes ‘the potential of chatbots with Artificial Intelligence (AI). A training process for the AI was carried out using two main types of resources: text files (TXT) extracted from technical manuals and educational videos with Unity. Alongside the TXT files, a series of multimedia elements were produced in Filmora. To respond dynamically to the student’s queries within the 3D environment, a ‘natural language processing service model based on Ollama’ was used. The results

obtained include the development of an academic module structured according to the curriculum of the subject Programming Logic, as well as the implementation of an interactive and responsive web application aimed at improving the experience and skills of the student; the production of technical manuals and end-user manuals was included. It was confirmed that the precise identification of requirements and the design focused on user experience were key factors for the project's success. The implemented AI model demonstrated effectiveness and adaptability in the educational environment, so monitoring and periodic updating of its components is recommended to maintain its relevance and currency.

Keywords

Natural Language Processing NLP, Artificial Intelligence, tutor, platform, learning, education.

Introducción

En los entornos educativos actuales, muchas instituciones mantienen el uso de herramientas tecnológicas convencionales durante largos periodos, lo cual no está “evidenciando cómo estas innovaciones están redefiniendo los paradigmas educativos” [1], lo que limita la adopción de tecnologías emergentes esenciales para el avance del proceso formativo. Esta situación ha quedado especialmente reflejada ante los desafíos y “modelo de formación continua basado en entornos virtuales de aprendizaje, empleando tecnología adaptable a las necesidades particulares del contexto de estudio” [2].

Motivados por situaciones como el confinamiento por pandemia, “la modalidad de educación a distancia, fundamentalmente en soporte digital, vino a ofrecer soluciones de emergencia a dicha crisis” [3].

En este contexto, surge la necesidad de “revisar las nuevas tendencias en el uso de recursos y herramientas tecnológicas en la educación superior” [4], que contribuyan a mejorar la experiencia educativa y permitan una atención más personalizada a las necesidades del estudiante.

El propósito de la investigación fue desarrollar un Docente Digital Web para ser usado por estudiantes como tutor virtual o docente sustituto temporal, haciendo uso de tecnologías avanzadas, tales como la IA, “la irrupción de la Inteligencia Artificial IA, está transformando la educación mediante sistemas de aprendizaje adaptativo” [5], así como la Realidad Aumentada RA, demuestra que la Realidad Virtual RV, puede mejorar significativamente las habilidades prácticas y teóricas de los estudiantes, aumentar su motivación y facilitar un aprendizaje más inmersivo y colaborativo [6]. El desarrollo del Tutor Digital responde a la necesidad de mejorar la educación en línea en complemento a plataformas como Moodle y Teams [7], que, si bien han sido fundamentales en la educación en línea, requieren funcionalidades adaptativas e inmersivas que respondan a los estilos de aprendizaje individuales.

Desde el punto de vista técnico, se parte del reconocimiento de los avances en IA, particularmente en el uso del Deep Learning [8], como base para dotar al Tutor Digital de capacidades de personalización, análisis e interacción inteligente.

Se han realizado mejoras a la educación virtual mediante complementos en plataformas existentes, con resultados limitados. Por ello, el desarrollo de un Tutor Virtual Web con IA [9] se presenta como una oportunidad para fortalecer el aprendizaje autónomo de la asignatura Lógica de Programación, ya que “el uso de plataformas de aprendizaje en línea, simulaciones interactivas y aplicaciones de Realidad Virtual y Aumentada, facilitan un acceso más amplio y equitativo a los recursos educativos” [10].

El diseño del “Docente Sustituto Temporal Web” se desarrolló utilizando diferentes softwares y plataformas, HTML, CSS, JavaScript, Vue.js, Vuetify, Django, Archivos de Texto TXT), Unity y Filmora; y para responder de manera dinámica a las consultas del estudiante dentro del entorno 3D, se utilizó el modelo de “servicio de procesamiento de lenguaje natural basado en Ollama”.

Desarrollo

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

A. Identificación de Requerimientos

La identificación de requerimientos constituyó la primera fase del proyecto y fue fundamental para garantizar el desarrollo adecuado del Docente Digital Web. En esta etapa se realizó un análisis exhaustivo de las necesidades de los estudiantes y docentes, tomando en cuenta el contexto institucional y los objetivos pedagógicos.

El proceso incluyó la revisión del plan de estudios de la asignatura Lógica de Programación, entrevistas con docentes y encuestas a estudiantes, con el fin de recopilar expectativas sobre las funcionalidades y características deseadas en el sistema. Posteriormente, los requerimientos se clasificaron en dos categorías principales:

- **Requerimientos funcionales:** aquellos relacionados con las tareas que el sistema debía realizar, tales como la gestión de contenidos académicos, la interacción con los estudiantes, la incorporación de recursos multimedia, la aplicación de

actividades evaluativas y el soporte mediante Inteligencia Artificial y Realidad Virtual.

- **Requerimientos no funcionales:** aquellos vinculados con aspectos de calidad del sistema, tales como accesibilidad, usabilidad, diseño responsivo, escalabilidad, rendimiento y seguridad de la información.

La claridad en la identificación de estos requerimientos permitió orientar el diseño del prototipo, reducir riesgos durante la implementación y asegurar que la aplicación respondiera a las necesidades reales del entorno educativo.

B. Desarrollo Frontend

En el diseño visual e interacción de la aplicación Web desde el lado del usuario Frontend, se analizó la relevancia de los frameworks Frontend en el proceso de desarrollo Web actual [11]. Este proyecto se desarrolló utilizando HTML, CSS, JavaScript, Vue.js y Vuetify, priorizando la usabilidad y una experiencia fluida.

El Frontend permite a los usuarios (estudiantes y personal) interactuar con funciones clave como iniciar sesión (Fig.1), hacer preguntas "enfocándose en el uso de chatbots educativos" [12], cambiar entre modo claro y oscuro, y navegar intuitivamente (Fig 2). También se diseñó para ser responsivo, adaptándose a diferentes dispositivos.



Fig. 1. Pantalla de inicio de sesión.

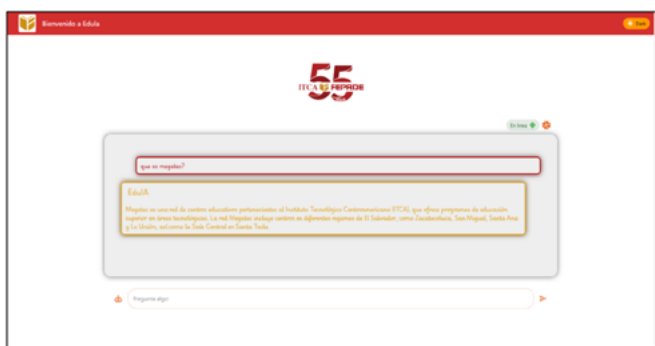


Fig. 2. Pantalla de chat para realizar consultas.

El Frontend cuenta con los siguientes elementos.

- **Barra Superior.** Contiene el logotipo, mensaje de bienvenida y botones para iniciar sesión y cambiar entre modo claro/

oscuro. Usa <header> y flexbox, con un fondo rojo. El cambio de tema se maneja con onClick y clases CSS dinámicas.

- **Logotipo Central.** Imagen del 55 aniversario de ITCA-FEPADE centrada con flexbox y margin: auto. Refuerza la identidad institucional.

- **Caja de Conversación.** Contenedor interactivo con estado "En línea", botón de funciones adicionales y mensaje de bienvenida. Usa WebSockets o AJAX para actualizar el estado en tiempo real.

- **Campo de Entrada para Preguntas.** Input con marcador "Pregunta algo" y botón con ícono de robot. Usa onSubmit y fetch/Axios para enviar preguntas al Backend. Visualmente atractivo y funcional.

- **Página de Inicio de Sesión.** Hecha con Vue.js y Vuetify. Incluye formulario validado, botones de acción, mensajes de alerta y diseño responsivo. "Se integraron tecnologías adicionales como Axios para realizar solicitudes HTTP de manera eficiente" [13].

- **Campo de Formulario.** Implementado con Vuetify. Incluye campos para carnet y contraseña, más un aviso que restringe el acceso a estudiantes activos de ITCA-FEPADE.

- **Validación y Funcionamiento.** El carnet se valida para permitir solo 6 dígitos; la contraseña se verifica contra datos encriptados en el Backend. No se permite enviar el formulario si hay campos vacíos.

- **Responsividad de la Página.** Uso de Vuetify y media queries para adaptar el diseño a distintos dispositivos.

C. Desarrollo Backend

"El desarrollo del Backend mediante la implementación de una API" [14] con estructura en múltiples carpetas (Fig. 3), cada una con un propósito específico en el desarrollo de la aplicación Web basada en Django, incluyen "las potencialidades de los chatbots con Inteligencia Artificial IA" [15].

.env	14/01/2025 10:14 a.m.	Archivo ENV	1 KB
.gitignore	14/01/2025 09:36 a.m.	Archivo de origen ...	4 KB
DBInstaller.py	14/01/2025 09:36 a.m.	Python File	1 KB
LICENSE	14/01/2025 09:36 a.m.	Archivo	2 KB
manage.py	14/01/2025 09:36 a.m.	Python File	1 KB
OllamaSetup.exe	14/01/2025 10:52 a.m.	Aplicación	764,567 KB
README.md	14/01/2025 09:36 a.m.	Archivo de origen ...	4 KB
requirements.txt	14/01/2025 09:36 a.m.	Documento de te...	1 KB

Fig. 3. Estructura del Backend.

El Backend cuenta con los siguientes elementos.

- **venv/**. Contiene el entorno virtual de Python con todas las dependencias aisladas del sistema.
- **vscode/**. Incluye configuraciones del editor Visual Studio Code para estandarizar el entorno de desarrollo.
- **admin-interface/**. Almacena elementos gráficos como el logo institucional utilizados en la interfaz.
- **controller/**. Gestiona la lógica de interacción entre el usuario, la base de datos y el chatbot de IA, incluyendo controladores específicos para el asistente.
- **db/**. Almacena la base de datos principal (db.sqlite3) y los embeddings generados mediante ChromaDB.
- **dbconfigapp/**. Contiene la estructura de modelos, vistas, rutas y serializadores del sistema siguiendo el patrón típico de Django.
- **eduasistenteapp/**. Desarrolla la lógica de interacción entre los estudiantes y el asistente virtual, gestionando el historial de preguntas y respuestas.
- **eduestudianteapp/**. Maneja la información académica y el perfil de cada estudiante.
- **edugeneralapp/**. Permite la gestión de chats generales y la carga de archivos (PDF).
- **edula/**. Directorio raíz del proyecto Django, donde se configuran rutas, entorno, archivos estáticos y plantillas HTML.
- **json/**. Almacena archivos de configuración del asistente, como su personalidad y parámetros de funcionamiento.
- **modelcustomapp/**. Gestiona modelos de lenguaje personalizados mediante Ollama, incluyendo la creación, consulta y visualización de modelos para el chatbot con IA.
- **modules/**. Implementa funciones de “desarrollos significativos en el procesamiento del lenguaje natural (PLN) y su impacto en la inteligencia artificial (IA)” [16], conectando embeddings y generación de respuestas contextualizadas con modelos LLM.
- **test/**. Incluye embeddings de prueba para validar la funcionalidad del sistema de recuperación y generación de información.

- **tmodel/**. Estructura destinada a contener y organizar los modelos utilizados en el sistema.

D. Clase Interactiva y Entrenamiento de Modelo IA.

En este proyecto, se llevó a cabo un proceso de entrenamiento de una Inteligencia Artificial IA, basado en una serie de temas relacionados con la programación. Para dicho entrenamiento, se utilizaron dos tipos principales de recursos: archivos de texto (TXT) extraídos de manuales técnicos y videos educativos diseñados en Unity para ser integrados en un entorno de “modelamiento 3D, ambiente Web 3D y aspectos de comunicación” [17] (Fig. 4).



Fig. 4. Interfaz de clase interactiva para el Desarrollo de Lógica de Programación.

A continuación, se describe el flujo de trabajo técnico utilizado para ambos tipos de recursos.

Cada uno de los temas fue estructurado en archivos de texto plano TXT, que sirvieron como insumos para el entrenamiento de la IA. Los archivos fueron organizados en función de las siguientes guías:

- Guía 1. Introducción a la programación.
- Guía 2. Algoritmos y diagramas de flujo.
- Guía 3. Introducción a la programación con Python.
- Guía 4-6. Operaciones básicas del lenguaje:
Estructuras de programación.
- Guía 7. Estructuras de datos, Listas y Tablas.
- Guía 8. Estructuras de datos, Diccionarios y Tuplas.
- Guía 9. Manipulación de archivos.
- Guía 10. Manejo de excepciones.
- Guía 11. Funciones.

Los archivos TXT fueron creados con la intención de ofrecer información estructurada y técnica que la IA pudiera procesar. Los textos contienen definiciones clave, algoritmos explicados paso a paso, ejemplos de código en Python, y ejercicios prácticos. Este formato permite que la IA no solo aprenda los conceptos teóricos, sino que también reconozca patrones en los ejemplos de código y la lógica detrás de los algoritmos presentados.

El flujo de trabajo técnico para la preparación de los archivos TXT incluyó:

- Extracción de contenido relevante de manuales técnicos y material de estudio.
- Limpieza y estructuración del contenido para adaptarlo al formato de entrenamiento de la IA.
- Inclusión de ejemplos de código comentados para permitir que la IA identifique las conexiones entre la teoría y la práctica.
- Uso de secciones claras con etiquetas que faciliten la indexación y el análisis por parte de la IA.

Para responder de manera dinámica a las consultas del estudiante dentro del entorno 3D, se utilizó el modelo de "servicio de procesamiento de lenguaje natural basado en Ollama" [18], lo que permite ejecutar e "incorporar eficazmente la IA generativa en los procesos educativos" [19], "buscando una arquitectura basada en servicios locales" [20]. Ollama fue integrado como Backend del chatbot, entrenado previamente con los contenidos temáticos extraídos de los archivos TXT.

Este chatbot fue vinculado con objetos en el aula virtual, tomando en cuenta que "la gamificación es una herramienta innovadora utilizada con el fin de mejorar la motivación y la participación activa de los estudiantes" [21]. "Unity como herramienta educativa ofrece una solución accesible y versátil" [22], fue utilizado para desarrollar un aula virtual, permitiendo que los usuarios interactuaran con la IA, mediante preguntas relacionadas con los temas tratados. El uso de "Ollama ofrece una experiencia más fluida y eficiente" [23], proporcionó respuestas contextuales rápidas, tomando en cuenta que "la privacidad, es considerada un derecho trascendental" [24] para la ejecución de modelos locales.

Paralelamente a los archivos TXT, se produjo una serie de elementos multimedia en Filmora (Fig. 5), tomando en cuenta las "pautas para la creación de videos educativos" [25] que cubren los temas descritos anteriormente.



Fig. 5. Interfaz de Filmora creación de videos.

E. Validación de Tutor

La validación del "Docente Digital Web" se centró en pruebas técnicas y pedagógicas realizadas en un entorno controlado. Se verificó la estabilidad del sistema, la accesibilidad desde distintos dispositivos, la usabilidad de las interfaces y la coherencia del módulo académico con el plan de estudios.

Los resultados preliminares confirmaron el cumplimiento de los requerimientos establecidos. Para medir la eficacia del tutor digital en condiciones de uso continuo y a mayor escala se requiere validarlo en un entorno de producción real.

Resultados

En la investigación realizada, se pueden resaltar los siguientes resultados significativos:

1. Se completó el módulo académico de la asignatura Desarrollo de Lógica de Programación, asegurando que su estructura siga estrictamente el plan de estudios institucional. Este módulo integra recursos multimedia como videos, imágenes, presentaciones interactivas y enlaces a material complementario, así como actividades evaluativas automatizadas. Permite una experiencia de aprendizaje dinámica y estructurada. La integración de estos elementos se realizó siguiendo criterios pedagógicos, analizando la coherencia de los contenidos y su alineación con los objetivos de aprendizaje.
2. Se implementó una aplicación Web interactiva e intuitiva, desarrollada con arquitectura modular para facilitar su mantenimiento y escalabilidad. El diseño responsivo asegura que la plataforma sea accesible desde distintos dispositivos, computadoras, tablets y smartphones.
3. Las funcionalidades se enfocan en optimizar la Experiencia del Usuario UX. Se incorporaron mecanismos de navegación clara, menús contextuales y herramientas de retroalimentación para usuarios, respetando principios de accesibilidad y usabilidad, de manera que el sistema sea fácilmente operable tanto por estudiantes como por docentes.
4. Se diseñó documentación técnica y administrativa completa del proyecto. Esto incluye un Manual Técnico del Sistema, que detalla los procedimientos de instalación, configuración, estructura de la base de datos, flujos de navegación y mantenimiento del software. Además, se desarrolló un Manual de Usuario Final, con instrucciones operativas detalladas, guías paso a paso y recomendaciones de uso para docentes y estudiantes, facilitando la adopción y correcta utilización del tutor digital.

Conclusiones

- 1) La realización de este proyecto permitió evidenciar la importancia de identificar claramente los requerimientos antes de iniciar el desarrollo de un sistema educativo. La etapa de análisis no solo facilitó la implementación técnica del tutor digital, sino que también subrayó la necesidad de comprender profundamente las necesidades de estudiantes y docentes para que la herramienta sea verdaderamente útil y pertinente en el entorno educativo.
- 2) El énfasis en un diseño accesible y funcional mostró cómo la Experiencia del Usuario UX puede impactar directamente en la efectividad del aprendizaje. La usabilidad y la accesibilidad no son solo características técnicas, sino elementos que determinan la aceptación y la interacción de los usuarios con la plataforma, reflejando la relación entre tecnología y pedagogía.
- 3) La implementación del modelo de Deep Learning evidenció que la integración de Inteligencia Artificial en la educación requiere más que algoritmos: implica entender cómo el sistema puede adaptarse dinámicamente a las necesidades de los estudiantes, generando un aprendizaje personalizado y significativo.
- 4) Esta experiencia sugiere que la combinación de diseño centrado en el usuario, pedagogía sólida y tecnologías emergentes, puede transformar la forma en que se conciben los tutores digitales, abriendo oportunidades para futuras investigaciones y mejora continua del Tutor Digital.

Referencias

- [1] C. Montalván-Vélez, J. N. Mogrovejo-Zambrano, A. E. Rodríguez-Andrade, and A. L. Andrade-Vaca, "Adopción y efectividad de tecnologías emergentes en la educación desde una perspectiva administrativa y gerencial". JESSR, vol. 4, no. 1, pp. 160-172. ene. mar. 2024. Accedido: Falta fecha de acceso. doi: <https://doi.org/10.55813/gaea/jessr/v4/n1/92>. [En línea]. Disponible en: <https://economicsocialresearch.com/index.php/home/article/view/92/316>
- [2] C. Centeno Caamal, L. A. Acuña Gamboa y C.C. Peña Estrada (2023). "Revisión sistemática de modalidades educativas y diseño instruccional en educación a distancia", IE Rev. de Inv. Educ. de la rediech, vol. 14, pp. 1-17. ene-dic. 2023. Accedido Falta fecha de accedido: https://doi.org/10.33010/ie_rie_rediech.v14i0.1668 [En línea]. Disponible en: https://revistas.rediech.org/index.php/ie_rie_rediech/article/view/1668/1921
- [3] L. García Aretio, "COVID-19 y educación a distancia digital: pre confinamiento, confinamiento y pos confinamiento". RIED, vol. 24 no. 1, pp. 9-32. 2021. Accedido: Falta fecha de acceso. doi: <http://dx.doi.org/10.5944/ried.24.1.28080> [en línea]. Disponible en: <https://revistas.uned.es/index.php/ried/article/view/28080/21886>
- [4] M. A. Cajamarca Correa, S. E. Sánchez Simbaña, A. L. Cangas Cadena, A. G. Pérez Guillermo, "Nuevas tendencias en el uso de recursos y herramientas de la Tecnología Educativa para la Educación Universitaria". JESSR, vol. 4 no. 3, 127-150. Jul-sept. 2024. Accedido: Falta fecha de acceso. doi: <https://doi.org/10.55813/gaea/jessr/v4/n3/124> [En línea]. Disponible en: <https://economicsocialresearch.com/index.php/home/article/view/124/411>
- [5] O. Y. Aparicio Gómez, y W. O. Aparicio Gómez, "Innovación educativa con sistemas de aprendizaje adaptativo impulsados por Inteligencia Artificial", RIPIE, vol.4 no. 2, pp. 343-363. 2024. Accedido: Falta fecha de acceso. doi: <https://doi.org/10.51660/ripie42222> [En línea]. Disponible en: <https://editic.net/journals/index.php/ripie/article/view/222/190>
- [6] M.A. Pinagote Castro, A G. Muñoz Piloza, y C. L. Orellana Londoño, "El Rol de la Realidad Virtual en la Educación Superior". Cienc. Lat. Rev. Cient. Multid., vol. 8 no. 3, pp. 9037-9045. may-jun. 2024. Accedido: Falta fecha de acceso doi: https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i3.12061 [En línea]. Disponible en: <https://ciencialatina.org/index.php/cienciala/article/view/12061/17533>
- [7] «teams», <https://support.microsoft.com/es-es/office/introducci%C3%B3n-a-microsoft-teams-b98d533f-118e-4bae-bf44-3df2470c2b12> (accedido 27 de febrero de 2022).
- [8] Pearson Corporate. "5 aplicaciones de la inteligencia artificial en la educación". Pearson. Accedido: 8 de en. de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://blog.pearsonlatam.com/educacion-del-futuro/5-aplicaciones-de-la-inteligencia-artificial-en-la-educacion>
- [9] J. Holdsworth. "¿Qué es el deep learning?". IBM. Accedido: 8 de enero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.ibm.com/es-es/think/topics/deep-learning>
- [10] Qi Zhu, J. E. Ramos Ruíz, y B. Maldonado López, "Problemas y optimización del uso de recursos educativos digitales en el contexto social y educativo de China". Sevilla, España, 2024, Presentado en FUTUREDUCA. [En línea]. Disponible en: <https://idus.us.es/server/api/core/bitstreams/4fc29c26-2649-4a2c-8554-fa2020340635/content>
- [11] L. R. Quisaguano Collaguazo, A. J. Lasluisa Alajo, L. M. Oto-Usuno, y G. G. Esquivel Paula, "Optimización del desarrollo Front-end aplicando frameworks de diseño web: Bootstrap, Foundation y Bulma", UTCiencia, vol. 11 no. 1, pp. 17-31, abr. 2024. Accedido: 14 de agosto de 2024. doi: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9595711>. [En línea]. Disponible en: <https://investigacion.utc.edu.ec/index.php/utciencia/article/view/650/885>

- [12] C. L., Anchapaxi Díaz, Y. M., Pinenla Palaguaray, S. P., Caiza Olapincha, I. A., Parra Taboada, M. A., Abad Guamán, & B. V., Viñamagua Arias, "Uso de Chatbots educativos y su impacto en el aprendizaje autónomo en bachillerato", *Ret. De la Cienc*, vol. 1, n° 4, pp. 200-214, Sept. 2024. Accedido:14 de agosto de 2024.
doi: <https://doi.org/10.53877/rc.8.19e.202409.16>
- [13] E. R., Arias, & C. D. M., Tenempaguay, "Soluciones de E-Commerce: Integración de Strapi y Next.js para la creación de una API Adaptable y Personalizable", *Rev. Cient. Conect.*, vol. 6, n° 1, pp. 76-85, ene. 2025. Accedido:14 de agosto de 2025.
doi: <https://orcid.org/0009-0006-5927-2053>
[En línea]. Disponible en: <https://revista.ister.edu.ec/ojs/index.php/ISTER/article/view/231>
- [14] L. M., Hincapie Martinez, "Informe final de práctica para optar al título de Ingeniero de Sistemas: Implementación de back end para sistema de generación de certificados", Tesis de Pregrado, Ingeniero en Sistemas, Fac. Preg. Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia, 2024. [En línea]. Disponible en: <https://bibliotecadigital.udea.edu.co/server/api/core/bitstreams/7b276a51-effd-4ad0-9b54-f42b6e7a76f3/content>
- [15] G. A. Alcántara, Aravena, y A. L. A., Muñoz Baldi, "Efectividad de los Chatbots Potenciados con IA como Herramienta de Apoyo a la Creatividad y Aprendizaje Activo en la Educación Superior". *Ref. Acad. en Dis. Y Comun.*, vol. 56, n° XXIV, pp. 265 – 269, oct. 2023. Accedido:14 de nov. de 2023. [En línea] Disponible en:
<https://dspace.palermo.edu/ojs/index.php/rad/article/view/11843/20509>
- [16] A. T. Delso Vicente, M. Carvajal Camperos, y D. Ángel Corral De La Mata, "La evolución del procesamiento del lenguaje natural y su influencia en la inteligencia artificial: Una revisión y líneas de investigación futura", *epsir*, vol. 10, pp. 1-23, dic. 2024. Accedido:14 de feb. de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://epsir.net/index.php/epsir/article/view/782>
- [17] F. S., Valencia Córdoba, P. J., Rodríguez Carrillo, y J. M., Reyes Vera, "Ambiente Web 3D inmersivo para la educación universitaria", *Revista UIS Ingenierías*, vol. 23, no. 3, pp. 47-60, jul. 2024. Accedido:14 de nov. de 2024.
[En línea]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=553781720004>
- [18] J. J., Gahona Cañar, "Chatbots interactivo basado en voz para responder a preguntas frecuentes acerca de la Universidad Técnica Particular de Loja", Tesis de Ingeniería, Ingeniero en sistemas informáticos y computación, Fac. de Ing. y Arq., Univ. Tec. Part. De Loja, Ecuador, 2025. [En línea]. Disponible en: <http://dspace.utpl.edu.ec/handle/29.500.19856/70185>
- [19] M., Zapata Ros, "IA generativa y ChatGPT en Educación: Un reto para la evaluación y ¿una nueva pedagogía?", *Rec. Paraguaya de Edc. A Dist.*, vol. 5, n° 1, pp. 12-44, feb. 2024. Accedido:14 de abril de 2024, doi: <https://doi.org/10.56152/reped2024-vol5num1-art2>
[En línea]. Disponible en: <https://revistascientificas.una.py/index.php/REPED/article/view/4183>
- [20] V., Chumillas Hernando, "Aplicación de Chatbots especializado", Tesis de Ingeniería, Ingeniería del Dep. de Sistemas Informáticos, Univ. Polt. De Madrid, Madrid, España, 2024.
[En línea]. Disponible en: https://oa.upm.es/82310/1/TFG_VICTOR_CHUMILLAS_HERNANDO.pdf
- [21] D. E. Olmedo Flores, G. J. Gordon Merizalde, H. M. Jara Zarria, M. E. Chuqui Shañay, S. X. Lema Coordonez, y D. A. Palaguaray Guagrilla, "La Eficacia de la gamificación en el fomento de la motivación y el aprendizaje activo en aulas virtuales", *Rev. Cient. Ret. De la Cienc.*, vol. 1, n° 4, pp. 239–251, sep. 2024. Accedido:14 de nov. de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.retosdelacienciaec.com/Revistas/index.php/retos/article/view/540>
- [22] M., Torres Martinez, J., Ríos Gerardo, y M., Santiago López, "Desarrollo de un videojuego en Blender y Unity como Herramienta didáctica lúdica para aprender a programar". *Transformar la educación: Herramientas tecnológicas para un aprendizaje eficaz*, S. J., Pech Campos, M. E., Prieto Mendez, P. J., Canto Herrera, R.I., Esperón Hernández, Ed. 1 ed. Ciudad Real, España: CIATA, 2024, cap.20, pp. 249-255.
- [23] M., Rodríguez Cañero, "Desarrollo de un chat bot basado en IA generativa con integración en sitio web", Trabajo final de grado, Ingeniería Informática, UAB, Barcelona, España, 2024. [En línea]. Disponible en: <https://ddd.uab.cat/record/298920>
- [24] J. Osorio, "La privacidad y los datos de carácter personal como nuevos principios a preservar en la inteligencia artificial", *Rev. Mult. De Inv. EKTENOS*, vol. 2, no. 1, pp. 71-79, junio 2024. Accedido:14 de sept. de 2024, [En línea]. Disponible en: <https://uhektenos.com/index.php/Uhektenos/article/view/46/31>
- [25] J. E., Rivera Bautista, y J., Moreno Tapia, "Pautas para la creación de videos educativos para estudiantes y docentes universitario". *Rev. Cient. Mult.de la Univ. Metrop. De Ecuador*, vol. 8, n° 1, pp. 14-22, ene. 2025. Accedido:14 de mayo de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://remca.umet.edu.ec/index.php/REMCA/article/view/809>

INSTRUCCIONES A LOS AUTORES

NORMAS DE PUBLICACIÓN DE ARTÍCULOS

La Revista Tecnológica es una publicación de la Escuela Especializada en Ingeniería ITCA-FEPADE, de periodicidad anual. Publica artículos científicos técnicos, académicos y de proyectos de investigación, asociados con las temáticas de las carreras técnicas e ingenierías que se imparten, tales como mecatrónica, gastronomía, arquitectura, química, computación y acuicultura.

La revista ha sido concebida para la comunidad académica y el sector productivo, como un aporte al desarrollo científico y tecnológico del país.

Los artículos que se presenten, deben cumplir con los criterios de originalidad, pertinencia, novedad y los lineamientos de redacción que se detallan a continuación.

ESTRUCTURA DE LOS ARTÍCULOS

Cada artículo debe contener:

Título, subtítulo, autores, resumen, palabras clave, introducción, desarrollo o metodología, resultados, conclusiones y recomendaciones, agradecimientos (opcional) y referencias de fuentes confiables impresas o electrónicas.

TÍTULO Y SUBTÍTULO

Debe contener la información esencial del contenido del trabajo y ser lo suficientemente atractivo para invitar a su lectura.

En el caso de tener subtítulo, éste irá separado por dos puntos.

El título y subtítulo deben ser claros y concisos; se recomienda un máximo de 15 palabras que reflejen el contenido del artículo, letra Century Gotic número 14. Si agrega subtítulo, máximo 10 palabras con letra número 12. No utilizar siglas ni abreviaturas. Adjuntar versión en inglés.

AUTORES

Se indica el nombre y apellidos del autor o autores y su filiación institucional, indicando una dirección electrónica de contacto.

Ejemplo: Juan Antonio Pérez. Ingeniero Mecánico, Maestría en Educación, Docente Investigador, Coordinador Escuela de Ingeniería en Computación, Escuela Especializada en Ingeniería ITCA FEPADE, Santa Tecla.
Email japerez@itca.edu.sv

Los autores son las personas que han hecho sustanciales contribuciones intelectuales en un trabajo de investigación a publicar. Si hay varios autores, el orden de quién encabeza la lista lo deciden entre ellos.

RESUMEN /ABSTRACT

El resumen se debe redactar en un solo párrafo; se recomienda no exceder de 250 palabras. Debe contener los objetivos del trabajo, breve descripción del desarrollo de la metodología empleada, los resultados más destacados del estudio y las principales conclusiones y recomendaciones.

Comunica en forma rápida y precisa el contenido básico del artículo sin tener que recurrir al resto de la información. Adjuntar versión en idioma Inglés.

Esta es la única parte del artículo que será publicada por algunas bases de datos y es la que leen los investigadores o los interesados en las revisiones bibliográficas para decidir si es conveniente o no acceder al texto completo.

No debe contener abreviaturas, términos poco corrientes, referencia a gráficos o cuadros que figuren en el artículo, ni citas particulares.

PALABRAS CLAVE

Son palabras del lenguaje natural o técnico, suficientemente significativas, extraídas del título o del contenido del documento.

El autor agregará como máximo cinco palabras clave para describir el contenido de su artículo. Adjuntar versión en idioma Inglés.

INTRODUCCIÓN

La introducción contiene el problema y la justificación del trabajo. Presenta antecedentes que fundamentan la importancia del estudio. Recoge la información sobre el propósito del artículo presentado y el conocimiento actual del tema.

Da a conocer los rasgos generales del estudio.

De utilizarse siglas en el texto del artículo deberá indicarse su significado.

DESARROLLO O METODOLOGÍA

Debe estar armonizado en su contenido para mantener la fluidez de la lectura.

Contiene la descripción de la metodología y procedimientos empleados. Para su organización se sugiere subdividirlo en diferentes secciones.

Se presentan las demostraciones, indagaciones y todo lo que el autor considere importante detallar y compartir. Se construye con párrafos de tipo expositivo, cada uno de los cuales expresa solo una idea.

Los métodos estadísticos deben describirse en detalle para su verificación.

En este apartado se describe el contenido medular del artículo y se brindan las explicaciones necesarias para hacer comprensible lo que queremos compartir.

RESULTADOS

Es el apartado que se emplea para comunicar los hallazgos o resultados originales.

Los resultados deben dar respuesta a los objetivos específicos en una investigación.

Se describen las tendencias más sobresalientes del trabajo realizado; se respaldan con el análisis de los datos, procedimientos, diseños experimentales, técnicas y estrategias metodológicas.

Se debe incluir evidencia de la información estadística cuando aplica; incluir tablas, cálculos, gráficas e ilustraciones para una mejor visualización.

En una investigación es importante señalar todos los hallazgos para evitar a otros investigadores incurrir en errores metodológicos innecesarios.

FIGURAS Y TABLAS

Deben ubicarse en el artículo con numeración consecutiva precedidas de la abreviatura Fig. o Tab. Las figuras pueden ser gráficos, dibujos o fotografías.

El texto de las tablas debe estar al inicio de cada una, el texto de la figura o ilustración debe estar al pie de cada una y estar redactada de forma clara para no recurrir al texto para su interpretación. Se debe indicar la fuente de cada objeto utilizado; todas las figuras, imágenes y fotografías deben adjuntarse en formato JPG; asegurar la calidad con al menos 5 megapíxeles.

CONCLUSIONES

Las conclusiones son los juicios emitidos por el autor sobre la base de los resultados obtenidos.

En un artículo científico se hace una síntesis de los principales hallazgos, que a la vez, dan respuesta al problema de investigación o temática del artículo; también se comparan estos hallazgos con los resultados obtenidos por otros autores en temas similares.

Se deben relacionar las conclusiones con los objetivos específicos del estudio. Las conclusiones deben estar respaldadas por datos disponibles.

RECOMENDACIONES / REFLEXIONES

Deben redactarse de tal forma que faciliten la toma de decisiones respecto al problema planteado, temática del artículo, los resultados alcanzados o futuras investigaciones. Se deben proponer alternativas de solución a un problema detectado en la temática o en la investigación.

Las recomendaciones deben ser claras y enfocarse en la búsqueda para incrementar el conocimiento, nuevas aplicaciones e innovaciones y brindar sugerencias sobre acciones futuras.

AGRADECIMIENTOS (OPCIONAL)

Recoge los nombres de las personas o instituciones que contribuyeron en aspectos claves del trabajo de investigación del artículo.

Se recomienda incluir a las personas que colaboraron y que no cumplen con los lineamientos de autoría.

REFERENCIAS DE FUENTES CONFIABLES CONSULTADAS: IMPRESAS Y ELECTRÓNICAS

En este apartado se hará referencia a todas las fuentes y documentos impresos, digitales y en línea consultados para soportar el artículo.

Las referencias bibliográficas preferiblemente se redactarán de acuerdo a las Normas IEEE.

Mayor información sobre normas IEEE disponible en:

https://www.researchgate.net/publication/317388407_Guia_para_citar_y_referenciar_Estilo_IEEE

Las referencias de sitios web deben ser de fuentes confiables y seguras; deben proceder de autores o instituciones de prestigio.

Las fuentes se citarán y redactarán de acuerdo con los ejemplos de referencias mostrados a continuación.

EJEMPLOS DE REFERENCIAS

Libros

[1] Iniciales y Apellido, Título del libro en letra cursiva, Edición abreviado. Lugar de publicación: Editorial, Año de publicación, capítulo, páginas (abreviadas pp.)

Artículo de una revista

[1] J. K. Autor, "Título del artículo," Título abreviado de la revista en letra cursiva, volumen (abreviado, vol.), número abreviado no.), páginas (abreviado pp.), Mes, Año.

Informe Técnico

[1] Iniciales y apellidos del autor, "Título del informe entre comillas," Nombre de la empresa, Sede de la empresa, Tipo de informe abreviado, Número de informe, Fecha de publicación

Recursos de Internet

Los recursos disponibles en Internet pueden presentar una tipología variada: libros, revistas, portales, bases de datos, entre otros. Se citan igual que los documentos impresos, añadiéndoles la indicación [en línea] u [online], dependiendo del idioma en que se redacta la referencia. Concluye con la URL del sitio y fecha de consulta.

NOTA:

Al citar referencias bibliográficas en el texto del artículo, deberán indicarse en forma numérica entre corchetes y en orden correlativo.

FORMATO PARA LA REDACCIÓN DE ARTÍCULOS

Usar la plantilla con el formato de artículos IEEE, disponible en: <https://ieeeuniversidadecci.files.wordpress.com/2016/08/formato-presentacion-documentos-ieee-es.doc>

Esta plantilla es un archivo de texto "Microsoft Word". Este documento contiene las instrucciones para el formato del artículo y además sirve de ejemplo. El archivo viene listo para utilizar, para redactar su artículo solo deberá reemplazar los títulos, los subtítulos, el contenido, las imágenes y las referencias.

Cada artículo deberá tener como mínimo 4 páginas y no exceder de 8 páginas.

Entregar en un archivo digital y con alta resolución los objetos, las fotografías e imágenes utilizadas en el artículo. No deberán utilizarse imágenes copiadas y pegadas de Internet.

CONVOCATORIA

ITCA-Editores invita a directores, docentes, docentes investigadores de ITCA-FEPADE y profesionales externos, a escribir y compartir sus aportes intelectuales a través de la Revista Tecnológica. Enviar los artículos en un archivo digital adjunto a la siguiente dirección: revistatecnologica@itca.edu.sv

SEDE CENTRAL Y CENTROS REGIONALES EL SALVADOR



La Escuela Especializada en Ingeniería ITCA-FEPADE, fundada en 1969, es una institución estatal con administración privada, conformada actualmente por 5 campus: Sede Central Santa Tecla y cuatro centros regionales ubicados en Santa Ana, San Miguel, Zacatecoluca y La Unión.

1. SEDE CENTRAL SANTA TECLA

Km. 11.5 carretera a Santa Tecla, La libertad.
Tel.: (503) 2132-7400

2. CENTRO REGIONAL SANTA ANA

Final 10a. Av. Sur, Finca Procavia.
Tel.: (503) 2440-4348

3. CENTRO REGIONAL ZACATECOLUCA

Km. 64.5, desvío Hacienda El Nilo sobre autopista a Zacatecoluca.
Tel.: (503) 2334-0763 y 2334-0768

4. CENTRO REGIONAL SAN MIGUEL

Km. 140 carretera a Santa Rosa de Lima.
Tel.: (503) 2669-2298

5. CENTRO REGIONAL LA UNIÓN

Calle Sta. María, Col. Belén, atrás del Instituto Nacional de La Unión.
Tel.: (503) 2668-4700

www.itca.edu.sv

