

REVISTA

TECNOLOGICA

N° 17 / ENERO - DICIEMBRE 2024. PUBLICACIÓN ANUAL.



ISSN Impreso 2070-0458

ISSN Digital 2072-568X

LABORATORIO DE CONTROL DE PROCESOS DE FLUJO Y NIVEL DE FLUIDOS FPC CONTROLADO A DISTANCIA EN TIEMPO REAL APLICANDO LA TELEINGENIERÍA

DISEÑO Y DESARROLLO DE APLICACIÓN DE GEMELO DIGITAL DE CONTROL DE FLUJO Y NIVEL FPC UTILIZANDO REALIDAD MIXTA Y AUMENTADA

DISEÑO DE INSTRUMENTO VIRTUAL PARA EL MONITOREO DEL DESBALANCE DE TENSION Y CORRIENTE EN REDES ELÉCTRICAS TRIFÁSICAS

INNOVACIÓN DE LA DIDÁCTICA APLICADA EN EL AULA PARA FORTALECER LAS COMPETENCIAS EN MATEMÁTICAS A ESTUDIANTES DE SEGUNDO CICLO DE EDUCACIÓN BÁSICA, EMPLEANDO SCRATCH COMO HERRAMIENTA DE DISEÑO DE VIDEOJUEGOS

APROVECHAMIENTO DEL LACTOSUERO PARA EL DESARROLLO DE PRODUCTOS INNOVADORES DEL SECTOR ALIMENTOS Y COSMÉTICOS



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



REVISTA TECNOLÓGICA

No. 17. Enero - Diciembre 2024

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. María Rosa de Benítez
Licda. Vilma Cornejo de Ayala
Ing. David Emmanuel Ágreda

Licda. María Auxiliadora Yanme de Heymans
Diagramación

Téc. Alexandra María Cortez Campos
Traducción

607.3

R485

Revista Tecnológica

No. 17, Enero - Diciembre 2024. Escuela Especializada en Ingeniería ITCA-FEPADE. - Santa Tecla, El Salvador: ITCA Editores, 2023.

74p.: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: 85 ejemplares

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 empresariedad 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** **Laboratorio de control de Procesos de Flujo y Nivel de Fluidos FPC controlado a distancia en tiempo real aplicando la teleingeniería**
 Juan José Guevara Vásquez
 Carlos Geovanny Meléndez Molina
 Juan José Cáceres Chiquillo
Pág. 6
-
- 02** **Diseño y desarrollo de aplicación de gemelo digital de Control de Flujo y Nivel FPC utilizando Realidad Mixta y Aumentada**
 Luis Ernesto Elías Morales
Pág. 14
-
- 03** **Diseño de instrumento virtual para el monitoreo del desbalance de tensión y corriente en redes eléctricas trifásicas**
 Carlos Levi Cartagena Lobos
 David Ernesto Cortez
Pág. 20
-
- 04** **Simulador didáctico automotriz de red multiplexada CAN Bus y sistema de Dirección Asistida Eléctricamente EPS**
 Francisco Ernesto Cortez Reinoso
 Eduardo Antonio Amaya García
Pág. 27
-
- 05** **Aprovechamiento del lactosuero para el desarrollo de productos innovadores del sector alimentos y cosméticos**
 José Roberto Jacobo Marroquín
 Alma Verónica García Barrera
Pág. 31
-
- 06** **Análisis comparativo de variables climáticas entre una vivienda bioclimática y una convencional de interés social, construidas en el departamento de San Miguel, El Salvador**
 Eva Margarita Pineda Luna
 David Ernesto Chávez Escalante
Pág. 39
-
- 07** **Registro de hallazgos arqueológicos y propuesta de experiencia cultural innovadora en el Sitio Arqueológico San Andrés, aplicando Realidad Virtual**
 Melissa Alejandra Zepeda Mayén
 Henry Magari Vanegas Rodríguez
Pág. 45
-
- 08** **Aplicación de Indicadores de Rendimiento KPI en los procesos logísticos de las micro y pequeñas empresas, inscritas a la Agencia de Desarrollo Económico Local, ADEL La Unión**
 Samuel Enrique Orellana Paz
 Ulises Esai Pérez Flores
Pág. 51
-
- 09** **Diseño innovador de herramienta para la automatización de cálculo de materiales y presupuesto de obras civiles para uso de constructores MYPES en la Zona Oriental de El Salvador**
 Alonso Ulises Arias Guevara
 Benjamín Alessandro Ramírez
Pág. 57
-
- 10** **Innovación de la didáctica aplicada en el aula para fortalecer las competencias en matemáticas a estudiantes de Segundo Ciclo de Educación Básica, empleando Scratch como herramienta de diseño de videojuegos**
 Manuel de Jesús Gámez López
 Óscar Armando Sánchez Santos
Pág. 61
-
- 11** **Guía de métodos y técnicas de enseñanza utilizadas para formación en desarrollo de software aplicando enfoque basado en competencias**
 Santiago Eduardo Domínguez Mena
 Fredy Enrique Granadeño Ramos
Pág. 66
-

Instrucciones a los Autores

ITCA Editores

Pág. 71

Presentación

La Escuela Especializada en Ingeniería ITCA-FEPADE, en el marco del 55 aniversario de su fundación y a través de la Dirección de Investigación y Proyección Social, presenta a la comunidad académica, al sector productivo, instituciones gubernamentales y a la sociedad salvadoreña en general, la Revista Tecnológica N° 17, año 2024, en formato impreso y digital. En este número se comparten los resultados más destacados de los proyectos de Investigación Aplicada desarrollados por docentes investigadores de diversas carreras técnicas e ingenierías, tanto en la Sede Central como en los Centros Regionales de ITCA-FEPADE.

Esta edición incluye artículos de proyectos enfocados en la Industria 4.0 y la Ingeniería Electrónica, destacando entre ellos el diseño de un laboratorio de Control de Procesos de Flujo y Nivel de Fluidos FPC, controlado a distancia y en tiempo real por teleingeniería. Se presenta otro artículo sobre el diseño y creación de un instrumento virtual para el monitoreo en la nube del desbalance de tensión y corriente en redes eléctricas trifásicas, incluyendo la emisión de alertas e identificación de las causas al presentarse anomalías.

En el área de Tecnologías de la Información y Comunicación TIC, se publican tres artículos; el primero describe el diseño de un gemelo digital del entrenador de Flujo y Nivel de Fluidos FPC, usando herramientas de Realidad Mixta y Aumentada, Unity, Vuforia y Vectary; el segundo detalla una innovación en didáctica aplicada en el aula para fortalecer competencias en matemáticas a estudiantes de Segundo Ciclo de Educación Básica, utilizando Scratch como herramienta de diseño para videojuegos; y el tercero documenta una investigación de campo y propone una guía de métodos y técnicas de enseñanza para la formación en desarrollo de software, aplicando un enfoque basado en competencias.

Se presenta un artículo en el área de Patrimonio Cultural, sobre una investigación histórico-antropológica en el Sitio Arqueológico San Andrés. Éste muestra la investigación realizada para el registro de hallazgos arqueológicos y el diseño de un recorrido virtual inmersivo del sitio, en dos idiomas, proporcionando una experiencia cultural innovadora.

En el campo de la Ingeniería Logística, esta edición contiene un artículo sobre la aplicación de Indicadores de Rendimiento KPI en procesos logísticos de micro y pequeñas empresas, inscritas en la Agencia de Desarrollo Económico Local ADEL, del departamento de La Unión, El Salvador.

Se muestra un artículo técnico sobre el fortalecimiento del taller de la Escuela de Ingeniería Automotriz de ITCA-FEPADE, a través del diseño y construcción de un simulador didáctico con red multiplexada CAN Bus y un Sistema de Dirección Asistida Eléctricamente EPS.

En el ámbito industrial, se aborda el aprovechamiento del lactosuero, proponiendo el desarrollo de productos innovadores para los sectores de alimentos y cosméticos, sorbete, yogur, bebida hidratante y jabón líquido.

Se incluyen artículos de investigaciones realizadas en vínculo con la Proyección Social institucional, entre ellos, el análisis comparativo de variables climáticas entre una vivienda con diseño bioclimático y una vivienda convencional de interés social, ubicadas en el departamento de San Miguel, El Salvador; otro artículo muestra el diseño de una herramienta automatizada para el cálculo de materiales y presupuesto en obras civiles, facilitando el trabajo de pequeños y micro constructores de la Zona Oriental del país.

En esta celebración del 55 aniversario, el Equipo ITCA-EDITORES agradece el respaldo de las autoridades y el valioso aporte de los docentes investigadores, cuyos artículos expuestos en esta Revista, muestran la calidad, el compromiso y el progreso significativo en el campo de la Ciencia, la Tecnología y la Innovación.

Dirección de Investigación y Proyección Social
ITCA-FEPADE

LABORATORIO DE CONTROL DE PROCESOS DE FLUJO Y NIVEL DE FLUIDOS FPC CONTROLADO A DISTANCIA EN TIEMPO REAL APLICANDO LA TELEINGENIERÍA

Juan José Guevara Vásquez

Ingeniero en Electrónica. Docente Investigador de la Escuela de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, ITCA-FEPADE Sede Central.

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

Juan José Cáceres Chiquillo

Ingeniero en Electrónica. Docente Coinvestigador de la Escuela de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, ITCA-FEPADE Sede Central.

Correo electrónico: jcaceres@itca.edu.sv

Carlos Geovanny Meléndez Molina

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

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

Recibido: 31/05/2024 - Aceptado: 17/07/2024

Resumen

En este artículo, se describe el proyecto de investigación y los resultados obtenidos en el diseño y construcción de un laboratorio de experimentación para prácticas de control de procesos industriales de flujo y nivel, el cual fue desarrollado por la Escuela de Ingeniería Eléctrica y Electrónica de ITCA-FEPADE. El objetivo de la investigación fue mejorar la experiencia de aprendizaje y experimentación de estudiantes y profesores en el campo de control de procesos industriales. Se diseñó el hardware y firmware de un circuito controlador electrónico para automatizar y controlar el laboratorio a distancia, utilizando el Internet Industrial de las Cosas IIoT; se interconectó el controlador electrónico a un gateway industrial por medio de Modbus y un Protocolo de Control de Transmisión TCP para el intercambio de información; se creó un dashboard de control en una plataforma de Red Virtual VNET en la nube para monitorizar los datos del proceso y alterar a distancia las condiciones operativas de un controlador Proporcional Integral Derivativo PID. Al dashboard se accede utilizando un navegador web, cuya administración se encuentra centralizada en una plataforma de teleingeniería. Se diseñó un "Manual de Instalación" y un "Manual de Prácticas" de diferentes niveles para que el entrenador pueda ser utilizado para prácticas remotas programadas por estudiantes de carreras técnicas en el área de Ingeniería Electrónica.

Palabras clave

Control de procesos, control de procesos industriales, control PID, microcontroladores, control de flujo, semiconductores, teleingeniería, Modbus TCP, circuitos electrónicos.

REAL-TIME REMOTE CONTROLLED FLUID FLOW AND LEVEL PROCESS CONTROL LABORATORY APPLYING TELEENGINEERING

Abstract

This article describes the research project, and the results obtained in designing and constructing an experimental laboratory for flow and level industrial process control practices, which the Escuela de Ingeniería Eléctrica y Electrónica of ITCA-FEPADE developed. The research objective was to improve students' and professors' learning and experimentation experience in industrial process control. The hardware and firmware of an electronic controller circuit were designed to automate and control the laboratory remotely, using the Industrial Internet of Things IIoT; the electronic controller was interconnected to an industrial gateway via Modbus and a Transmission Control Protocol TCP for information exchange; a control dashboard was created on a cloud-based VNET Virtual Network platform to monitor process data and remotely alter the operating conditions of a Proportional Integral Derivative PID controller. The dashboard is accessed using a web browser, the administration of which is centralized on a teleengineering platform. An "Installation Manual" and a "Practices Manual" of various levels were designed so the trainer can be used for remote practices scheduled by students of technology degree programs in Electronics Engineering.

Keyword

Process control, industrial process control, PID control, microcontrollers, flow control, semiconductors, teleengineering, Modbus TCP, electronic circuits.

Introducción

En Educación Superior, el acceso a laboratorios de experimentación suele estar limitado por el alto costo de adquisición de la maquinaria y equipo. El campo del control de procesos industriales no es una excepción, por lo general se dispone únicamente de un entrenador para un control de procesos específico, lo cual reduce el tiempo de acceso para experimentación a estudiantes y profesores. Este proyecto se enmarca en la búsqueda de soluciones que permitan optimizar el tiempo de acceso a los equipos para las prácticas de control de procesos industriales, registrar las actividades que los estudiantes lleven a cabo, generar métricas, que permitan al docente identificar aprendizajes para tomar acciones pedagógicas y alcanzar las competencias de una manera efectiva para el control de procesos industriales aplicando Teleingeniería.

Esta investigación se fundamenta en el trabajo realizado previamente referente al diseño de un laboratorio de experimentación de un proceso industrial de temperatura [1] así como el diseño, análisis y modelado matemático del proceso industrial de flujo y nivel, [2] que tuvo entre sus principales objetivos la elaboración del diagrama esquemático del circuito controlador electrónico y un circuito driver para válvulas proporcionales de control de paso de fluidos. Dentro de la metodología de la investigación se detalla la protección del circuito, la elaboración del circuito impreso PCB, los problemas detectados y las mejoras aplicadas, el diseño del firmware, diseño del dashboard para el control de procesos, así como el montaje del entrenador para pruebas de funcionamiento de las prácticas correspondientes.

Desarrollo

METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

A partir del diseño del diagrama electrónico del controlador existente se realizó el siguiente proceso de revisión y rediseño:

A. Protecciones del circuito

1) Entradas y salidas

Se listaron los riesgos de seguridad del proceso para personal operario y los dispositivos que forman parte del entrenador. Se hicieron modificaciones en los circuitos del controlador electrónico para que sus entradas y salidas estuviesen protegidas por sobretensiones. Se incorporaron dispositivos de protección ESD que han demostrado ser ideales para proteger entradas y salidas [3], [4], [5]. En la Fig. 1, se aprecia una entrada analógica del controlador que está protegida por medio del diodo ESD D15.

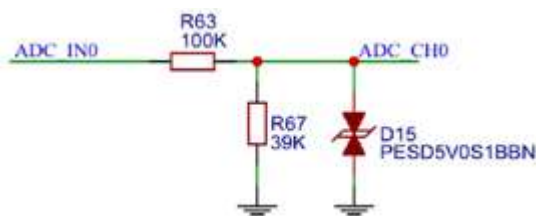


Fig. 1. Entrada analógica para estándar de industria de 0V a 10V con protección ESD por medio de D5V0S1.

2) Inversión de polaridad

Es posible que se inviertan por error las líneas de alimentación del controlador. Por esta razón, resulta conveniente dotar al circuito de alimentación de una etapa previa que lo proteja. Existen diversas y efectivas maneras de proteger circuitos contra la inversión de polaridad, estas van desde el uso de fusibles, hasta semiconductores como diodos rectificadores y Schottky [6], [7]. Sin embargo, el circuito que ha mostrado ser más eficiente y efectivo está formado por un transistor de efecto de campo MOSFET canal P [8], [9], [10]. En la Fig. 2, se muestra el circuito diseñado, que fue sometido a pruebas de inversión mostrando resultados satisfactorios.

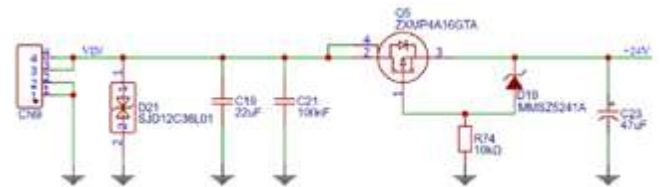


Fig. 2. Circuito de protección contra inversión de polaridad con MOSFET canal P. El circuito también cuenta con protección ESD en la Entrada de Voltaje VIN.

3) Luz de estado

Es importante indicar a los técnicos y demás personal que se encuentra cerca del entrenador, el estado operativo de éste, ya que existe la posibilidad de que esté siendo utilizado y que las personas que se encuentren en el laboratorio no se enteren de esto. Para solventar este requerimiento, se dotó al equipo de una luz de estado que mediante secuencias de apagado/encendido o blinks, indique su estado operativo. Se utilizó una luz táctil de grado industrial con activación PNP, conectada a una salida digital del circuito controlador electrónico, cuya codificación de blinks y su relación con el estado del equipo se indica en la Tabla I.

TABLA I. Patrón de blinks de la luz de estado del entrenador.

| PATRÓN DE BLINKS | ESTADO |
|------------------|---------------|
| 1 | Paro |
| 2 | Reiniciando |
| 3 | Esperando |
| 4 | Iniciando |
| Apagado | Marcha |
| Encendido | No energizado |

B. Elaboración del Circuito Impreso (PCB)

El PCB se diseñó utilizando el programa EasyEDA que es gratuito. La fabricación del PCB así como el montaje de los componentes de montaje superficial (SMD) fue realizada por encargo. Todos los dispositivos electrónicos se eligieron de las librerías de la empresa JLCPCB quien fue la elegida para fabricar el PCB y soldar los componentes SMD. El PCB es multicapa, cuenta con cuatro capas

de cobre. Para su diseño se siguieron las reglas y recomendaciones correspondientes [11, p. 12], [12], [13], [14].

La capa Top que se aprecia en la Fig. 3, se utilizó para conectar líneas de alimentación y de comunicación. El área destinada a la fuente de alimentación posee las pistas de cobre más anchas debido a que por ellas circula una mayor cantidad de corriente.

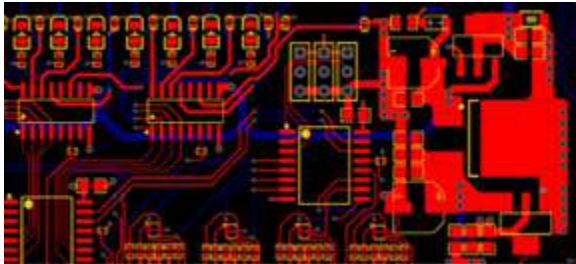


Fig. 3. Capa Top del PCB del controlador electrónico. Entre los diversos circuitos integrados se observan pistas mucho más delgadas (de hasta 0.127 mm) que se han destinado a las líneas de comunicación en las cuales circulan corrientes muy pequeñas.

Bottom, es la capa que conecta las entradas y salidas. La parte inferior del PCB corresponde a las ocho entradas analógicas de 0V a 10V y ocho digitales de +24V tipo NPN. Inner 1, es la tercera capa que se utilizó para distribuir la tensión de +3.3V a todos los dispositivos que se alimentan con este nivel de tensión. Inner 2, es la cuarta capa y corresponde a la referencia a tierra. El estándar extendido Gerber es el más utilizado en la industria manufacturera de PCB [15], por lo que a partir del diseño original de las capas, se procedió a crear los ficheros en este formato, los cuales se enviaron al fabricante de PCB junto con la lista de partes de componentes SMD para el montaje directamente en la fábrica, el resultado se aprecia en la Fig. 4.



Fig. 4. PCB del controlador electrónico. Los componentes electrónicos SMD fueron soldados de fábrica.

Después de recibir el PCB del fabricante, se soldaron los dispositivos THT que corresponden a los terminales de sujeción con tornillo para las entradas y salidas, así como los conectores pin header macho y hembras. Las pruebas eléctricas consistieron en realizar mediciones de continuidad para verificar la existencia de corto circuitos y aislamiento de las capas. Posteriormente, se energizó el circuito con una fuente de +24V por 5A y se invirtieron las polaridades para

verificar el funcionamiento de las protecciones obteniendo resultados satisfactorios.

C. Problemas detectados y mejoras aplicadas

Al realizar pruebas de funcionamiento, se determinó que el circuito integrado expensor de puertos PCF8574T presentaba conflictos con los datos en sus entradas y corrientes de excitación insuficientes en sus salidas, lo cual producía un funcionamiento no deseado en las entradas y salidas de 24V. La solución a estos problemas fue sustituir los expansores de entradas y salidas colocando en su lugar un microcontrolador.

Una investigación exhaustiva determinó que el microcontrolador RP2040 puede utilizarse en este tipo de aplicaciones, siendo además compatible con el procesador principal [16], [17], [18]. El RP2040 viene embebido en una placa de desarrollo Raspberry Pi Pico con suficientes entradas y salidas digitales, así como puertos de comunicación configurables y compatibles con el bus I²C.

Las funciones principales del RP2040 son comunicarse con el microcontrolador principal ESP32 WROOM32 bajo demanda, cuando se detecte un cambio de estado en las entradas y recibir los cambios de estados del microcontrolador principal para aplicarlos a las salidas digitales. El circuito se montó sobre el PCB del controlador principal como se aprecia en la Fig. 5. Posteriormente se realizaron pruebas eléctricas de compatibilidad siendo estas satisfactorias.

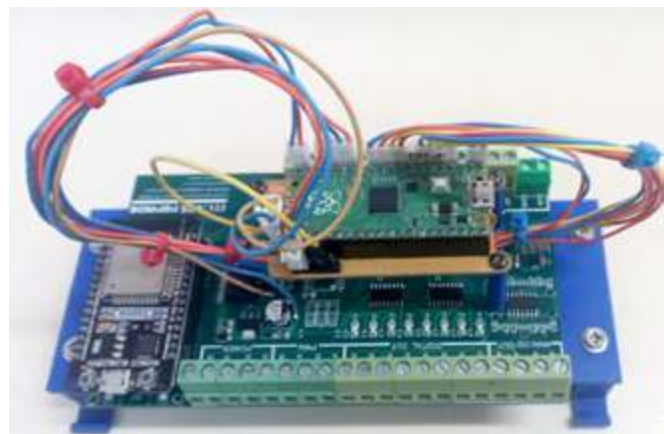


Fig. 5. Montaje del controlador de entradas y salidas en el circuito principal.

D. Diseño del Firmware

El diseño del firmware o programa del controlador se dividió en dos etapas:

1) Diseño del firmware del controlador de entradas y salidas digitales

El programa se creó utilizando el framework SDK de Raspberry Pi Pico que está basado en el lenguaje C. La plataforma está diseñada para trabajar con MicroPython para crear el firmware de microcontroladores [19], [20]. En este proyecto se utilizó

lenguaje C ya que es más flexible para crear aplicaciones con microcontroladores en donde se manejan múltiples procesos de forma asíncrona y que requieren intercambio de información a través de redes Ethernet [21]. Además, existe una alta disponibilidad de librerías de código abierto.

El firmware de este controlador tiene como función realizar tres tareas:

• *Monitorear el estado de las entradas digitales*

En donde una función temporizada que se ejecuta cada 10 ms, se encarga de monitorear constantemente el estado de las entradas digitales. Cuando se detecta un cambio de estado, se activa una interrupción por hardware que avisa al controlador principal que se ha producido un cambio en las entradas y que este debe responder preguntando por medio del bus I²C cuál de las entradas cambió de estado.

• *Cambiar el estado de las salidas digitales*

Una función se encarga de cambiar el estado de las salidas cuando el controlador principal ha enviado un comando con la orden de cambio. Esta función determina cuál es la salida afectada y realiza los cambios de estado correspondientes.

• *Mantener comunicación por el bus I²C con el controlador principal*

Para esto se creó una función manejadora de eventos (handler) que se encarga de detectar cuando se produce un evento de comunicación que viene desde el máster del bus I²C (el microcontrolador principal), este controlador de eventos es el encargado de determinar si la acción a realizar está relacionada con la lectura del estado de las entradas con algún cambio en las salidas. Es una función asíncrona por lo tanto se ejecuta bajo demanda en el microcontrolador principal. El diagrama de estados del firmware del controlador de entradas y salidas se muestra en la Fig. 6.

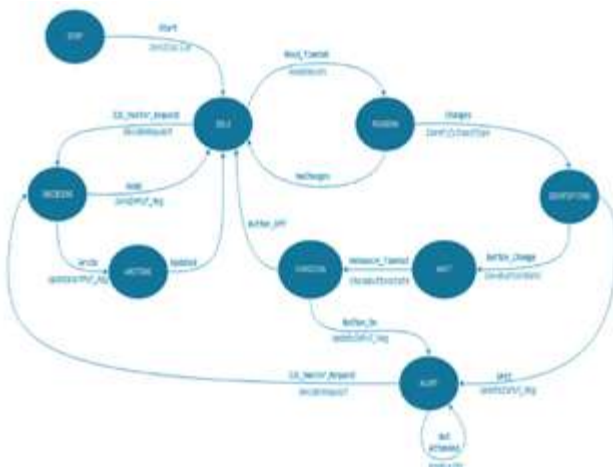


Fig. 6. Diagrama de estados del firmware del controlador de entradas y salidas.

2) *Diseño del firmware del controlador principal*

El objetivo principal de este programa es garantizar que las tareas se realizaran bajo demanda, de forma asíncrona para acciones que requieren acceso a redes de datos o síncronas lanzadas por medio de un temporizador con un período base de 100 ms. Cada vez que se activa el temporizador se lanza una función que activa las banderas que controlan la ejecución de las tareas que se muestran en la Tabla II. Cada tarea tiene a su vez un registro que controla el intervalo de décimas de segundo que deben transcurrir para que esta se pueda ejecutar. Estos valores fueron ajustados experimentalmente de acuerdo con su importancia en el proceso.

TABLA II. Tareas del programa principal del controlador ESP32.

| TAREA | ACCIÓN |
|----------------|---|
| update_outputs | Actualizar el estado de las salidas digitales y analógicas. |
| read_adc_value | Leer los canales analógicos activos. |
| compute_pid | Calcular el valor de respuesta del controlador PID. |
| check_states | Verificar el estado de máquina del proceso. |
| refresh_states | Cambiar el estado de máquina del proceso. |
| modbus_request | Actualizar registros modbus. |

Dentro de las tareas del Programa principal están las siguientes:

1) *Manejar la comunicación con el controlador de entradas y salidas*

La comunicación se establece a partir de dos condiciones. La primera es cuando el controlador de entradas y salidas detecta un cambio de estado en sus entradas digitales. En este caso, se activa una interrupción por hardware que pone en alto a PIO26 del ESP32 que corresponde a la interrupción PCF01_INT. Esto hace que se active una bandera para indicar que en la siguiente transacción I²C se debe determinar que entrada ha sido alterada.

La segunda condición se produce cuando se cambia el estado de las salidas como parte del proceso que se está controlando ya sea de forma automatizada (establecido en los estados de máquina del proceso) o por acción directa del usuario. Para tal efecto, se programó la acción de cambio utilizando registros de estado actual y anterior. Ambos registros se comparan cada 100 ms, en caso de existir diferencias, se comunica vía I²C al controlador de entradas y salidas que realice un cambio de estado.

2) *Leer las entradas analógicas*

El controlador fue diseñado para manejar hasta cuatro entradas analógicas con una resolución de 16 bits lo que equivale a 65536 valores discretos. En la Fig. 7 se muestra el circuito utilizado que está basado en un convertidor analógico a digital ADS1115 de baja potencia tipo SAR, que ha mostrado ser efectivo para este tipo de aplicaciones [22], [23].

Para controlar al circuito conversor, se utilizó la librería ADS1X15 que es de acceso y uso libre [24]. Una bandera se utiliza para indicar el momento de leer las entradas analógicas. Cada entrada se activa y configura durante el arranque, lo cual depende de cuantos circuitos estén conectados al controlador. La lectura de los canales analógicos se realiza cuando el tiempo transcurrido es igual al establecido en una constante cuyo valor por defecto es de diez, lo que equivale a una lectura cada un segundo. Al primer canal analógico se conectó un sensor ultrasónico de grado industrial Pepperl Fuchs 3RG6343 que envía información sobre el nivel del agua en el tanque 2 (Fig. 8) donde se realiza la acción de control. Mientras que en el segundo canal se conectó un sensor de flujo SMC PF2W720 que provee información sobre el caudal en litros por segundo del agua que circula por el sistema.

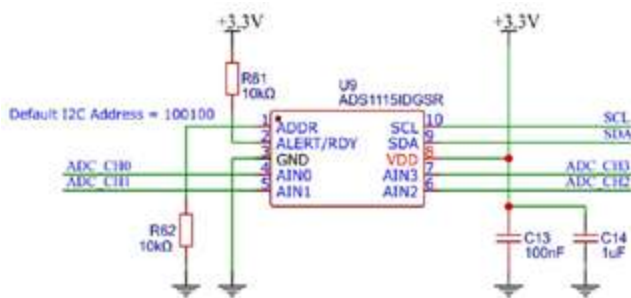


Fig. 7. Circuito convertidor de analógico a digital de 16 bits con ADS1115.

3) *Controlar las salidas analógicas y de alta velocidad PWM*

El controlador posee dos salidas de alta velocidad PWM y cuatro analógicas. Las salidas analógicas proveen señales de 0V a 10V. A una de las salidas se conectó la válvula proporcional de flujo con control Burkert type 1094 para realizar el proceso de regulación del caudal. Para aumentar o disminuir el voltaje de salida analógico, se varía el ciclo de trabajo de la señal PWM por medio de una función que también define la frecuencia de la señal.

4) *Mantener comunicación con el gateway industrial Vbox*

Se utilizó Modbus TCP para establecer comunicación con el gateway industrial Vbox ya que se dispone de la librería Modbus-esp8266 [25], es un protocolo bien documentado [26] y ampliamente utilizado en aplicaciones industriales [27], [28], [29].

Modbus TCP funciona por sobre TCP/IP con registros de intercambio, en este proyecto se utilizaron registros tipo bobina (Coils) para lanzar o detener acciones y actuadores todo o nada, registros variables (IREG) para el intercambio de valores enteros de hasta 16 bits como son el flujo y el nivel que cambian en función del tiempo y, registros de retención (HREG) para valores enteros de 16 bits que no cambian constantemente como las variables que controlan el proceso. En la Tabla III se muestran los registros utilizados, funcionalidad y direcciones programadas.

5) *Realizar cálculos del controlador PID*

En el control de procesos continuos se utilizó el controlador PID. Este controlador se implementó con una librería de Arduino creada y distribuida bajo licencia de MIT [30] que implementa la fórmula 1, la cual es una ecuación diferencial ordinaria lineal con lazo cerrado en la señal de error [31], [32].

Fórmula 1:

$$Output = K_p e(t) + K_i \int e(t)dt + K_d \frac{d}{dt} e(t)$$

De acuerdo con la fórmula, para realizar un control básico, el valor de Kp debe ser de un valor superior a cero, pero tanto Ki como Kd si pueden ser cero, con esto se logra un control proporcional siempre y cuando el Set Point sea un valor superior a cero, y se encuentre dentro de los límites del tanque de agua cuyo nivel no debe exceder los 250 mm. El límite de la salida se estableció en 100, que equivale a la máxima apertura de la válvula proporcional. Una constante que posee un valor por defecto de 10 permite que los cálculos se realicen cada segundo.

TABLA III. Registros MODBUS TCP utilizados para la gestión del proceso industrial.

| VARIABLE | DESCRIPCIÓN | DIRECCIÓN DE REGISTRO MODBUS | TIPO DE REGISTRO MODBUS |
|----------|--|------------------------------|-------------------------|
| SP_M | SP Controller Memory | 200 | IREG |
| PV | Real Time Level | 210 | IREG |
| P_M | P Controller Memory | 220 | IREG |
| I_M | I Controller Memory | 230 | IREG |
| D_M | D Controller Memory | 240 | IREG |
| FLOW | Proportional Valve Real Time Flow in l/min | 250 | IREG |
| PUMP | Water Pump Power in % | 260 | IREG |
| SV1_M | Solenoid Valve 1 Status | 270 | IREG |
| SV2_M | Solenoid Valve 2 Status | 280 | IREG |
| UP_LS | Up Water Level Sensor | 290 | COIL |
| DN_LS | Down Water Level Sensor | 300 | COIL |
| START_M | Plant Start Status | 320 | COIL |
| STOP_M | Plant Stop Status | 330 | COIL |
| RESET_M | Plant Reset Status | 340 | COIL |
| EMRG | Plant Emergency Flag | 350 | COIL |

| VARIABLE | DESCRIPCIÓN | DIRECCIÓN DE REGISTRO MODBUS | TIPO DE REGISTRO MODBUS |
|----------|---------------------------------|------------------------------|-------------------------|
| SV1 | Solenoid Valve 1 ON/OFF Command | 360 | I REG |
| SV2 | Solenoid Valve 2 ON/OFF Command | 370 | I REG |
| MODE_L | Plant Operation Mode Level | 380 | I REG |
| MODE_F | Plant Operation Mode Flow | 390 | |
| START | Plant Start Command | 400 | COIL |
| STOP | Plant Stop Command | 410 | COIL |
| RESET | Plant Reset Command | 420 | COIL |
| SP | Desired Water Level in mm | 430 | H REG |
| P | Proportional Value for PID | 440 | H REG |
| I | Integral Value for PID | 450 | H REG |
| D | Derivative Value for PID | 460 | H REG |

Una bandera de estado indica al procesador que el controlador PID debe funcionar solo cuando el estado del proceso es "ejecutando". En este caso el procesador debe empezar a realizar los cálculos a partir de los valores de las variables SP, Kp, Ki, y Kd.

SP se actualiza cada segundo con el nivel actual en el tanque en donde se está realizando la acción de control.

6) Manejar los estados de máquina del proceso

En la Fig. 8 se muestra el esquema general del proceso del entrenador de flujo y nivel.

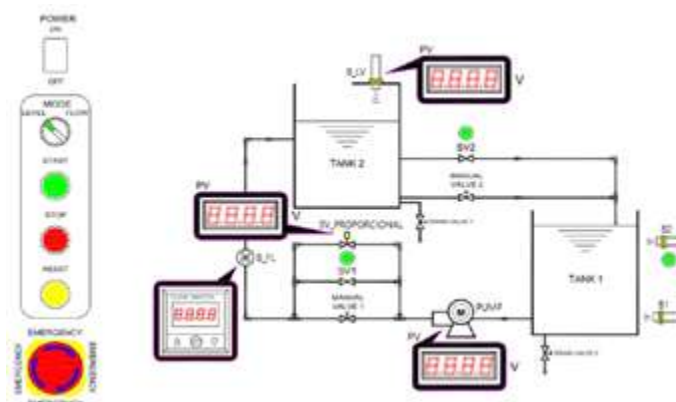


Fig. 8. Esquema del Proceso Industrial de Flujo y Nivel FPC.

A partir del esquema del proceso FPC, se definieron cinco estados:

• INICIO O PARO

Es el estado al que entra la máquina (entrenador) cuando es energizada por primera vez o cuando se activa el interruptor de paro o STOP. En esta condición, el indicador luminoso de estado hace blink de forma continua. Se puede pasar a estado de inicio en cualquiera de los otros cuatro estados de máquina.

• REINICIANDO

Si la máquina se encuentra en estado de inicio se puede activar el estado reiniciando. En este estado, se descarga el líquido del tanque 2 y se detiene; se pasa al siguiente estado hasta que los sensores capacitivos B1 (nivel inferior) y B2 (nivel superior) del tanque 1, se encuentren activados simultáneamente. Para descargar el líquido del tanque 2, se abre la electroválvula SV2 lo cual es indicado por la intermitencia o blinks del indicador de estado en el tablero principal. En el estado reiniciando, el indicador luminoso de la máquina hace dos blinks.

• ESPERA

Después del proceso de reinicio, se espera a que el operario establezca los parámetros mínimos de control, que son el establecimiento del nivel deseado SP y el control proporcional P. Mientras esta condición no se cumpla solamente se puede pasar a estado de inicio. El indicador de estado hace tres blinks.

• INICIANDO

Es un estado temporal con transición automática al siguiente y su finalidad es indicar al operario que la máquina ya se encuentra lista para entrar en estado de ejecución o marcha. El indicador de estado hace cuatro blinks.

• EJECUTANDO O MARCHA

En este estado, se ejecuta el proceso industrial tratando de hacer llegar el nivel del líquido en el tanque 2 al nivel establecido en el SP. El controlador PID funciona y su salida de control se pasa a la salida analógica correspondiente para controlar el grado de apertura de la válvula proporcional de flujo. El operario puede actualizar en cualquier momento los parámetros de control o variables SP, P, I y D, para poner a prueba el sistema. El indicador de estado se encuentra encendido.

E. Diseño de dashboard para el control del proceso

El diseño del dashboard se hizo utilizando las herramientas que proporciona la plataforma VNET que es utilizada por el gateway Vbox para intercambiar los datos del proceso. Primero, se crearon todas las etiquetas o tags en VNET que corresponden a los registros Modbus de la Tabla III. A continuación, se verificó que todos los tags tuviesen conectividad activa desde VNET hacia el controlador electrónico.

Posteriormente, se diseñó un dashboard de pruebas, cuyo objetivo fue comprobar el funcionamiento de cada uno de los módulos del firmware del controlador a medida que estos fueron incorporándose.

El uso del dashboard de pruebas detectó que era necesario crear variables de memoria que retroalimenten al usuario remoto sobre los datos almacenados en las variables. Esto permite al estar seguro de que el controlador ha recibido los parámetros que se han enviado desde VNET.

Finalmente, se elaboró el dashboard del control del proceso que se muestra en la Fig. 9, que incorpora todos los elementos de control correspondientes.



Fig. 9. Dashboard del proceso industrial de flujo y nivel creado en la plataforma industrial VNET.

F. Montaje del entrenador

Se diseñó una base compatible con riel DIN para montar la tarjeta electrónica del controlador y se instaló en el tablero de control y potencia del entrenador. Se creó una estructura metálica para montar las cámaras IP, los dispositivos de la red de datos y la instalación eléctrica como se muestran en la Fig. 10. Con la puesta en marcha del laboratorio de experimentación FPC, se procedió a realizar ajustes en el funcionamiento.



Fig. 10. Estructura para montaje de cámaras y dispositivos de red de datos del entrenador.

Resultados

- Circuito Controlador Electrónico Principal de propósito general, que permite la gestión a distancia y en tiempo real del entrenador FPC de flujo y nivel.

- Panel de Control Web o Dashboard que permite monitorear y realizar ajustes a distancia de un control de procesos industriales de flujo y nivel.
- Manual de Prácticas para el laboratorio de control de procesos industriales de flujo y nivel utilizando Teleingeniería.
- Manual de Instalación para el laboratorio de control de procesos industriales de flujo y nivel.

Conclusiones

1. Se puede diseñar un controlador electrónico a la medida de los requerimientos, cumpliendo requisitos de control, de señales de entrada-salida y demás características que poseen los controladores industriales existentes en el mercado.
2. Es posible monitorear y manipular las variables de proceso de forma remota, usando el protocolo de comunicación industrial Modbus TCP, implementándolo en un controlador electrónico utilizando librerías de código abierto.
3. La plataforma en la nube VNET, facilita el trabajo de diseño de los Dashboard de control de procesos.
4. Se pueden monitorear y manipular las variables de proceso de forma remota utilizando el protocolo de comunicación industrial MODBUS TCP implementándolo en un controlador electrónico con librerías de código abierto.
5. La plataforma con ejecución basada en la nube VNET facilita el trabajo de diseño de los Dashboard de control de procesos, permitiendo a los ingenieros concentrarse en los mecanismos de comunicación y actualización de los datos.
6. Es posible interactuar directamente con el entorno virtual, ajustar parámetros y observar las respuestas en tiempo real, lo que fomenta la experimentación. Esto facilita la retención del conocimiento y mejora las habilidades de resolución de problemas.

Referencias

- [1] J. J. Guevara, J. J. Cáceres, "Diseño de plataforma de teleingeniería para prácticas de laboratorio a distancia: control de proceso industrial de temperatura", Revista Tecnológica ITCA-FEPADE, no. 15, pp. 19-22. Ene./Dic. 2022.
- [2] J. J. Guevara, et al, "Diseño matemático y modelado de componentes de control de proceso de flujo y nivel FPC para integrar un simulador virtual con realidad aumentada y control a distancia por teleingeniería", Revista Tecnológica, no. 16, pp. 12-16, ene. 2023, Accedido: el 15 de mayo de 2024. [En línea]. Disponible en: <http://redicces.org.sv/jspui/handle/10972/5134>
- [3] E. Rosenbaum, et al, "Compact Models for Simulation of On-Chip ESD Protection Networks", IEEE Trans. Electron Devices, vol. 71, núm. 1, pp. 151-166, ene. 2024, doi: 10.1109/TED.2023.3320093. [En línea]. Disponible en: <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=10292739>

- [4] Texas Instruments, "System-Level ESD Protection Guide", 2022. [En línea]. Disponible en: <https://www.ti.com/lit/sg/sszb130d/sszb130d.pdf?ts=1716272366714>
- [5] Solutions Cubed, "Protecting Inputs in Digital Electronics", Digikey. Consultado: el 15 de mayo de 2024. Abr. 2012. Disponible en: <https://www.digikey.com/en/articles/protecting-inputs-in-digital-electronics>
- [6] Cadence Design Systems, Inc. "Simple Solutions for Reverse Polarity Protection", Cadence. Consultado: el 23 de mayo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://resources.pcb.cadence.com/blog/simple-solutions-for-reverse-polarity-protection>
- [7] R. Keim, "Reverse Polarity Protection: How to Protect Your Circuits Using Only a Diode, All about circuits. Consultado: el 23 de mayo de 2024. 28 Jun. 2018 [En línea]. Disponible en: <https://www.allaboutcircuits.com/technical-articles/how-to-protect-your-circuits-using-only-a-diode/>
- [8] Components. "Design Guide - PMOS MOSFET for Reverse Voltage Polarity Protection", Components101. Consultado: el 12 de septiembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://components101.com/articles/design-guide-pmos-mosfet-for-reverse-voltage-polarity-protection>
- [9] Ly-Minh-Duy, "Analytical Expressions of Time-Domain Responses of Protection Circuits to ISO Reverse Transients in Automotive Applications", IEEE Xplore, vol.10, pp. 1-9, May. 2022, doi: 10.1109/ACCESS.2022.3176639. [En línea]. Disponible en: <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=9779151>
- [10] "Designing a Reverse Polarity Protection Circuit (Part I) | Article | MPS", Por MPS Proprietary Information (07 Jul. 2022). Article #W045 Rev. 1.0 Consultado: el 23 de mayo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.monolithicpower.com/designing-a-reverse-polarity-protection-circuit-part-i>
- [11] H. Zumbahlen, "Chapter 12: Printed Circuit Board Design Issues", en Linear Circuit Design Handbook, H. Zumbahlen, 1a ed., Estados Unidos: Analog Devices, 2007. no.12., pp. 1-97.
- [12] JLCPCB, "Advancing Your Circuit Design Skills: Tips and Techniques for Improving Performance". JLCPCB. Consultado: el 23 de mayo de 2024. 26 Jul. 2023 [En línea]. Disponible en: <https://secure.livechatinc.com/>
- [13] D. Knight. "Practical PCB Layout Tips Every Designer Needs to Know - Technical Articles". All about circuits. Consultado: el 23 de mayo de 2024. 13 no. 2015. [En línea]. Disponible en: <https://www.allaboutcircuits.com/technical-articles/practical-pcb-layout-tips/>
- [14] Cadence Design Systems, Inc. "PCB Layers Explained: Multilayer Boards and Stackup Rules". Cadence. Consultado: el 23 de mayo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://resources.pcb.cadence.com/blog/2019-pcb-layers-explained-multilayer-boards-and-stackup-rules>
- [15] The gerber Layer Format Specification, UCAMCO, 2021. pp.1-203. [En línea]. Disponible en: https://www.ucamco.com/files/downloads/file_en/416/the-gerber-layer-format-specification-revision-2021-02_en.pdf
- [16] Z. C. M. Davidson, S. Dang, y X. Vasilakos, "Blended Laboratory Design Using Raspberry Pi Pico for Digital Circuits and Systems", IEEE Trans. Learn. Technol., vol. 17, pp. 1170-1183, 7 Feb. 2024, Consultado: 23 de mayo de 2024. doi: 10.1109/TLT.2024.3363230. [En línea]. Disponible en: <https://ieeexplore.ieee.org/document/10423829>
- [17] Raspberry Pi documentation. "Raspberry Pi Documentation - Raspberry Pi Pico and Pico W". Raspberry Pi. Consultado: el 22 de febrero de 2024. 2012-2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.raspberrypi.com/documentation/microcontrollers/raspberry-pi-pico.html>
- [18] S. Yamanoor; S. Yamanoor, "Raspberry Pi Pico DIY Workshop: Build exciting projects in home automation, personal health, gardening, and citizen science", IEEE Xplore, 2022. [En línea]. Disponible en: <https://ieeexplore.ieee.org/document/10163107>
- [19] G. Gaspar, P. Fabo, M. Kuba, J. Flochova, J. Dudak and Z. Florkova "Development of IoT applications based on the MicroPython platform for Industry 4.0 implementation", en 2020 19th International Conference on Mechatronics - Mechatronika (ME), Prague, Czech Republic dic. 2020, pp. 1-7. doi: 10.1109/ME49197.2020.9286455
- [20] M. Popovic, M. Djukic, I. Basicic, y M. Popovic, "DPSTM-PS Based Edge Network with MicroPython Based IoTs", en 2023 31st Telecommunications Forum (TELFOR), Belgrade, Serbia, nov. 2023 - ene 2024, pp. 1-4. doi: 10.1109/TELFOR59449.2023.10372679
- [21] V. M. Ionescu y F. M. Enescu, "Investigating the performance of MicroPython and C on ESP32 and STM32 microcontrollers", en 2020 IEEE 26th International Symposium for Design and Technology in Electronic Packaging (SIITME), Pitesti, Romania, Oct./Dic 2020, pp. 234-237. doi: 10.1109/SIITME50350.2020.9292199.
- [22] T. Li, Y. Zhang, y Y. Ni, "An Ultra-fast ADC Linearity Test and Calibration Method", en 2019 IEEE 13th International Conference on Anti-counterfeiting, Security, and Identification (ASID), Xiamen, China, oct. - dic. 2019, pp. 282-285. doi: 10.1109/ICASID.2019.8925271.
- [23] N. Yan, C. Kang, G. Mu, S. Chen, M. Wang, y H. Min, "A 10-bit 16-MS/s Ultra Low Power SAR ADC for IoT Applications", en 2018 14th IEEE International Conference on Solid-State and Integrated Circuit Technology (ICSICT), Qingdao, China, Oct./Dic. 2018, pp. 1-3. doi: 10.1109/ICSICT.2018.8564872.
- [24] R. Tillaart, "RobTillaart/ADS1X15". RobTillaart. Consultado: el 22 de febrero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://github.com/RobTillaart/ADS1X15>
- [25] A. Emelianov. "modbus-esp8266/examples/TCP-ESP at master · emelianov/modbus-esp8266", GitHub. Consultado: el 22 de febrero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://github.com/emelianov/modbus-esp8266/tree/master/examples/TCP-ESP>
- [26] Modbus Organization, "Modbus Messaging on TCP/IP Implementation Guide V1.0b". Modbus Organization, 24 oct. 2006. [En línea]. Disponible en: https://modbus.org/docs/Modbus_Messaging_Implementation_Guide_V1_0b.pdf
- [27] M. Dwiyaniti, Y. E. S. Situmorang, Y. D. Handoyo, H. Setiana, y A. K. Wardhany, "Implementation of IoT on PLC-Based Induction Motor Speed Control", en 2023 International Conference on Converging Technology in Electrical and Information Engineering (ICCTEIE), Bandar Lampung, Indonesia, oct.-dic 2023, pp. 118-123. doi: 10.1109/ICCTEIE60099.2023.10366716.
- [28] P. Nguyen-Hoang y P. Vo-Tan, "Development An Open-Source Industrial IoT Gateway", en 2019 19th International Symposium on Communications and Information Technologies (ISCIT), Ho Chi Minh City, Vietnam, sep.-nov. 2019, pp. 201-204. doi: 10.1109/ISCIT.2019.8905157.
- [29] N. A. Reyes y H. I. Cerrato, "Modbus TCP Bridging for Interconnecting Non-Compatible Devices in the Energy Sector Using Node-RED and Edge Computing", en 2023 IEEE 41st Central America and Panama Convention (CONCAPAN XLI), Tegucigalpa, Honduras, nov. 2023, pp. 1-4. doi: 10.1109/CONCAPANXLI59599.2023.10517535.
- [30] br3ttb, "br3ttb/Arduino-PID-Library". el 26 de febrero de 2024. Consultado: el 27 de febrero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://github.com/br3ttb/Arduino-PID-Library>
- [31] L. Wang, "Basics of PID Control", en PID Control System Design and Automatic Tuning using MATLAB/Simulink, IEEE, 2020, pp. 1-30. doi: 10.1002/9781119469414.ch1.
- [32] F. Zayas Gato, et al, Diseño de Controladores PID, 1a ed. España: Universidad da Coruña, 2020. [En línea]. Disponible en: https://ruc.udc.es/dspace/bitstream/handle/2183/25824/Zayas_Gato_2020_Dise%C3%B1o_de_controladores_PID.pdf

DISEÑO Y DESARROLLO DE APLICACIÓN DE GEMELO DIGITAL DE CONTROL DE FLUJO Y NIVEL FPC UTILIZANDO REALIDAD MIXTA Y AUMENTADA

Luis Ernesto Elías Morales

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

Recibido: 27/05/2024 - Aceptado: 17/07/2024

Resumen

La Escuela de Ingeniería en Computación de ITCA-FEPADE diseñó y desarrolló un gemelo digital con elementos 3D para simular el comportamiento de un Control de Flujo y Nivel. El gemelo digital replica virtualmente el entorno físico de la instalación, incluyendo tanques de almacenamiento, bombas de flujo y sensores, utilizando algoritmos de control Proporcional Integral Derivativo PID, para regular y monitorear el flujo y el nivel de líquido en tiempo real. Esta herramienta permite analizar y optimizar el desempeño del controlador, proporcionando una plataforma segura para pruebas y mejoras sin afectar la operación real, permitiendo la formación práctica y evaluación del aprendizaje de los estudiantes en un entorno controlado y seguro. El gemelo digital fue diseñado y desarrollado utilizando herramientas tecnológicas innovadoras de Realidad Mixta y Aumentada, tales como Vectary, Unity, Vuforia y Visual Studio. Tomando como base un modelo matemático del proceso, se creó un programa computacional para que a partir de datos de entradas típicas de un control Proporcional Integral Derivativo PID, sea capaz de generar comportamientos similares a los que se producen en el proceso real. Se comprobaron los resultados de forma satisfactoria con pruebas en Matlab y de forma experimental. Al programa se le integraron objetos tridimensionales que en su conjunto conforman el simulador.

Palabras clave

Realidad aumentada, realidad mixta, inteligencia artificial, herramientas tecnológicas, algoritmos PID, control de flujo.

DESIGN AND DEVELOPMENT OF AN APPLICATION OF DIGITAL FPC FLOW AND LEVEL CONTROL TWIN APPLYING MIXED AND AUGMENTED REALITY

Abstract

The Escuela de Ingeniería en Computación of ITCA-FEPADE designed and developed a digital twin with 3D elements to simulate the behavior of a flow and level control. The digital twin virtually replicates the physical environment of the trainer, including storage tanks, flow pumps, and sensors, using Proportional Integral Derivative PID control algorithms to regulate and monitor the flow and liquid level in real time. This tool allows for analyzing and optimizing the controller's performance, providing a safe platform for testing and improvement without affecting the actual operation, allowing practical training and the assessment of student's learning in a controlled and secure environment. The digital twin was designed and developed using innovative augmented and mixed reality technological tools such as Vectary, Unity, Vuforia, and Visual Studio. Based on a mathematical model of the process, a computer program was created that, from typical input data of a Proportional Integral Derivative PID control, can generate behaviors similar to those occurring in the actual process. The results were satisfactorily verified by using tests in Matlab and experimentally. Three-dimensional objects were integrated into the program, which together form the simulator.

Keyword

Augmented reality, mixed reality, artificial intelligence, technology tools, PID algorithms, flow control.

Introducción

El uso de controladores Proporcional, Integral, Derivativo PID, permite que a través de un lazo de realimentación del proceso, un determinado sistema alcance un estado deseado. En el ámbito educativo, la disponibilidad limitada de equipos especializados para prácticas de laboratorio es un desafío común, dado su alto costo y mantenimiento. Esta limitación reduce significativamente las oportunidades de los estudiantes para interactuar directamente con estos equipos, lo que a su vez obstaculiza su proceso de aprendizaje. “Los conocimientos teóricos se refuerzan con las prácticas y necesitar estaciones físicas para poder probar los controladores conlleva a gastos económicos representativos” [1]-[4].

En respuesta a esta problemática, el uso de asistentes virtuales y la educación a distancia [5] han emergido como recursos cruciales para respaldar la enseñanza y el aprendizaje. Sin embargo, la implementación exitosa de la educación virtual enfrenta desafíos [6] que van desde la formación tecnológica, tanto de docentes [7] como de alumnos, hasta la superación de retos y barreras digitales presentes en el entorno educativo [8].

Con el propósito de abordar estas dificultades, se busca desarrollar soluciones que optimicen el acceso a equipos para prácticas relacionadas con el control de procesos industriales PID [9], además de registrar las actividades estudiantiles y generar métricas para evaluar el desempeño y comprensión de los alumnos. Este proyecto se enfoca en el diseño y desarrollo de un gemelo digital que “hace referencia a una tecnología de software con el que se trata de representar digitalmente una realidad física” [10], utilizando Realidad Mixta y Aumentada. Este simulador mejorará la eficiencia y seguridad de las prácticas de laboratorio y posibilitará a los estudiantes adquirir competencias en un entorno controlado y seguro.

“El 3D presenta un panorama en permanente innovación. Actualmente, el uso de los objetos o figuras en 3D tiene una gran importancia en diversos campos, como la arquitectura, el diseño de productos, la ingeniería y la industria del entretenimiento” [11]. En este artículo se presenta el diseño de modelos 3D utilizando Vectary y la exportación de formatos compatibles con Unity [12]. Al diseño del gemelo digital, se le aplicaron diferentes tipos de materiales, texturas, comportamientos y funcionalidades. Se muestran las pruebas realizadas y los resultados obtenidos.

Desarrollo

METODOLOGÍA

A. Modelo Matemático

“El algoritmo de control PID consiste en tres modos básicos, el Proporcional, el Integral y el Derivativo; cuando se usa esta técnica de control clásico, es necesario decidir cuales modos serán usados (P, I, o D) y especificar los parámetros o ajustes para cada uno de esos

modos” [13]. El punto de partida para el desarrollo del gemelo digital del controlador de flujo y nivel es el modelo matemático que actúa como el cerebro del programa. Este modelo matemático es crucial para representar con precisión el comportamiento del sistema físico en el entorno virtual. La base del control se establece a través del Controlador Proporcional-Integral-Derivativo (PID), cuya fórmula es:

$$\text{Posición en Y} = K_p \cdot e(t) + K_i \cdot \int e(t) dt + K_d \cdot \frac{de(t)}{dt}$$

Donde:

- $e(t)$ es el error actual, que representa la diferencia entre la posición deseada y la posición actual.
- K_p , K_i y K_d son los coeficientes del controlador PID para la ganancia proporcional, integral y derivativa, respectivamente.
- $\int e(t) dt$ denota la integral del error respecto al tiempo.
- $de(t)/dt$ representa la derivada del error respecto al tiempo.

Este modelo permite controlar dinámicamente la posición de los objetos que representan el fluido en el entorno virtual.

B. Diseño de Modelos 3D en Vectary

“Los recientes avances en renderizado diferenciable han despertado el interés por aprender modelos generativos de mallas 3D texturizadas a partir de colecciones de imágenes” [14]. Para el diseño del modelado 3D de los componentes del controlador de flujo y nivel se utilizó la plataforma Vectary, como se muestra en la Figura 1. Se seleccionaron y asociaron formas básicas con cada elemento específico del equipo físico. Para representar los tanques de almacenamiento, se empleó la forma básica “Box”, ajustando la profundidad interna hasta la base para simular con precisión el volumen del recipiente. Las tuberías fueron modeladas utilizando la forma básica “Tube”, con el diámetro y la longitud adecuados según las especificaciones técnicas. Además, se utilizaron formas básicas como el “Cylinder” para los componentes cilíndricos y se combinaron varias formas básicas para modelar otros elementos complejos del equipo. Este enfoque permitió capturar detalladamente las geometrías y dimensiones exactas de cada componente.



Fig. 1. Plataforma Vectary con modelos 3D.

Para la realización del modelado 3D, se tomó cada elemento del equipo físico de controlador de flujo y nivel como base, como se ilustra en la

Fig. 2, evaluando cuidadosamente sus dimensiones, formas y otras características fundamentales. Esto permitió replicar digitalmente cada componente de manera precisa e individualizada, asegurando que la representación virtual reflejara fielmente las especificaciones físicas del equipo real.



Fig. 2. Entrenador físico de control de flujo y nivel, FPC.

C. Exportación de formatos compatibles con Unity

El modelado en 3D se exportó al motor de desarrollo Unity en formato OBJ. Además, se importó la librería de Vuforia que incluía la cámara de Realidad Aumentada (RA) [15 - 18], la cual se configuró para enfocar el equipo modelado, tal como se ilustra en la Fig. 3. Esta configuración aseguró que la experiencia de Realidad Aumentada integrara de manera efectiva el modelo digital del controlador de flujo y nivel en el entorno físico del usuario.

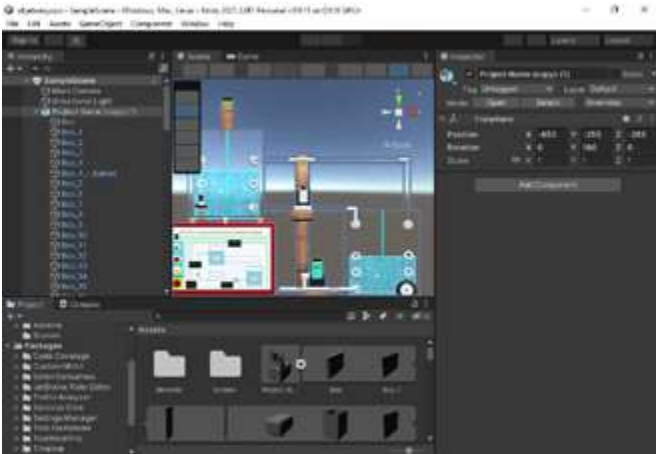


Fig. 3. Motor de desarrollo Unity.

D. Configuración de materiales y texturas

Se exportaron texturas metálicas y de madera, así como imágenes, como se muestra en la Fig. 4. Además, se crearon materiales de vidrio dentro del mismo editor, los cuales fueron aplicados a los objetos de tubos y recipientes, mientras que se utilizaron texturas sólidas para los demás componentes.



Fig. 4. Pantalla de materiales y texturas.

E. Implementación de comportamiento y funcionalidades

Se programó el script necesario en el framework Visual Studio y se adjuntó a cada objeto para lograr un mayor realismo. En este caso, para simular el comportamiento del fluido o líquido, se utilizó la posición en el eje Y del objeto "agua 1" y se hizo que la posición en Y del objeto "agua 2" disminuyera simétricamente o viceversa. Esto permitió simular de manera efectiva el vaciado de los recipientes de manera virtual.

Técnicamente, se aplicó la fórmula del Controlador Proporcional-Integral-Derivativo (PID) a la posición en Y.

Este enfoque permitió controlar dinámicamente la posición de los objetos "agua 1" y "agua 2" para simular el llenado y vaciado de los recipientes de manera precisa y realista dentro del entorno virtual desarrollado.

Para facilitar la interacción del usuario con el gemelo digital en Unity, se desarrollaron pantallas y menús intuitivos con botones que permiten controlar y monitorear el flujo y nivel de líquido. Se diseñó una pantalla inicial para seleccionar modos de simulación y configuraciones, junto con un menú principal que incluye submenús y opciones específicas para herramientas de visualización y análisis. Cada componente interactivo dentro del gemelo digital está asociado con botones virtuales, que permiten ajustar parámetros como la velocidad del flujo y la altura del nivel de líquido, asegurando una experiencia de usuario intuitiva y eficiente.

F. Simulación y pruebas

Para validar el rendimiento del simulador, se realizaron pruebas comparativas utilizando el entrenador físico y el simulador digital. Inicialmente, se enviaron comandos al entrenador físico para llevar el sistema a un punto específico, registrando meticulosamente el tiempo necesario para alcanzar dicho estado. Estos mismos comandos y condiciones se introdujeron luego en el simulador del gemelo digital. Se procedió a medir el tiempo que el simulador digital requería para alcanzar el mismo punto específico que el entrenador físico, asegurando así una sincronización precisa entre ambos entornos. Este proceso se repitió varias veces para obtener resultados consistentes y significativos.

G. Experiencia de usuario

El usuario puede utilizar la aplicación Android desarrollada a través de un Smartphone. Tiene la opción de visualizar el entorno del gemelo digital a través de gafas de Realidad Virtual VR, lo que proporciona una experiencia inmersiva y detallada. Se pueden explorar diferentes áreas del sistema de control de flujo y nivel, verificar estados y ajustar parámetros.

El control Bluetooth actúa como un dispositivo de entrada para los usuarios, permitiéndoles realizar acciones específicas y ajustes precisos en el gemelo digital [19]-[21]. Esto incluye el control del flujo y nivel de líquido mediante comandos definidos, que son interpretados y ejecutados dentro del entorno virtual de Unity.

Los usuarios además pueden emplear una tablet equipada con tecnología de Realidad Aumentada AR para interactuar con el gemelo digital. Mediante la visualización superpuesta de elementos virtuales sobre el entorno físico a través de la pantalla de la Tablet [22], los usuarios pueden manipular y controlar parámetros como el flujo y nivel de líquido. Utilizando gestos táctiles e inserción de datos, se pueden realizar ajustes precisos en tiempo real.

Resultados

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

1. Los componentes renderizados en 3D con alta fidelidad del entrenador de flujo y nivel han sido validados mediante una comparación directa con los componentes físicos reales, mostrando una coincidencia del 98% en términos de dimensiones y características.
2. La implementación exitosa de simulación virtual con Realidad Mixta y Aumentada ha pasado todas las pruebas funcionales planificadas, cumpliendo con los criterios de rendimiento y estabilidad establecidos.
3. Optimización del tiempo de práctica al simular los equipos de laboratorio costosos y de difícil mantenimiento. El uso del simulador ha demostrado reducir el tiempo de práctica en un 30% en comparación con el uso de equipos físicos.
4. Mejorar la seguridad y reducción de riesgos al manipular equipos reales en prácticas de laboratorio. La simulación previene los riesgos físicos al usar equipos reales.
5. Interactividad y realismo mejorados con la aplicación desarrollada en Unity, que ofrece una representación tridimensional altamente realista de los componentes del sistema de control de flujo y nivel. La aplicación desarrollada en Unity ha mejorado la interactividad y el realismo de las prácticas de laboratorio en un 40% en comparación con simulaciones previas.

Aplicación App de gemelo digital para sistemas Android compuesto de las siguientes partes:

En la Fig.5, se presenta la pantalla inicial de la aplicación desarrollada en Unity, la cual actúa como punto de partida para acceder al menú principal accesible desde los lentes VR si se emplea la Realidad Mixta y también accesible utilizando la Realidad Aumentada.



Fig. 5. Pantalla inicial de aplicación Android de gemelo digital.

En la Fig.6, se presenta el menú principal, que constituye una interfaz intuitiva y funcional, ofreciendo diversas opciones para la interacción del usuario con el gemelo digital de control de flujo y nivel. Este menú principal permite a los usuarios seleccionar entre diferentes escenarios de simulación y acceder a herramientas avanzadas de visualización y análisis.



Fig. 6. Pantalla del menú principal de la aplicación de gemelo digital.

La Fig. 7 ejemplifica la accesibilidad al presentar la pantalla de la aplicación en opción mixta, donde se permite visualizar el objeto en Realidad Mixta. Esta opción mixta [23]-[25] ofrece una experiencia enriquecida al combinar elementos virtuales con el entorno físico, facilitando una comprensión más profunda y práctica del funcionamiento del sistema. La inclusión de esta funcionalidad amplía las posibilidades de interacción del usuario, permitiendo explorar el gemelo digital desde una perspectiva más inmersiva y dinámica. Esta innovadora característica no solo mejora la experiencia del usuario, sino que también enriquece el proceso de aprendizaje al proporcionar una representación más realista y tangible del control de flujo y nivel en un entorno industrial, en el cual el estudiante podrá realizar sus prácticas adquiriendo competencias y la comprensión de los principios del PID e implementación de controladores.



Fig. 7. Pantalla opción Realidad Mixta de la aplicación de gemelo digital.

La aplicación ofrece además accesibilidad a la opción de Realidad Aumentada del gemelo digital de control de flujo y nivel, como se muestra en la Fig. 8. Esta característica permite una experiencia interactiva y envolvente al combinar elementos virtuales con el entorno físico del usuario. Al utilizar la Realidad Aumentada, los usuarios pueden superponer el modelo digital del controlador de flujo y nivel en el mundo real a través de la pantalla de su dispositivo móvil o tableta. Esto ofrece una representación más inmersiva y tangible del sistema, permitiendo a los usuarios explorar y estudiar el comportamiento del controlador en el contexto de su entorno físico. La opción de Realidad Aumentada añade una dimensión adicional a la accesibilidad del gemelo digital, enriqueciendo aún más la experiencia de aprendizaje y capacitación en control de procesos industriales, FPC.



Fig. 8. Pantalla opción Realidad Aumentada de la aplicación de gemelo digital.

Conclusiones

- 1) Modelar procesos industriales de flujo y nivel con herramientas avanzadas de simulación basadas en el cálculo diferencial no solo es factible, sino también imperativo en la era de la transformación digital. Este enfoque ofrece la posibilidad de explorar dinámicas complejas y simular condiciones que sería costoso o peligroso reproducir en un entorno físico. Al obtener resultados precisos comparables a los de los dispositivos reales, representa una oportunidad inestimable para que las industrias se anticipen a los problemas, optimicen las operaciones y, en última instancia, mejoren la eficiencia y la sostenibilidad de sus procesos. La cuestión que se plantea es cómo estas simulaciones pueden transformar no sólo la producción, sino también la cultura de la innovación dentro de las instituciones.

- 2) Las tecnologías de Realidad Aumentada surgen como poderosas herramientas en la educación y la formación industrial. Su capacidad para crear representaciones visuales y funcionales de alta fidelidad en entornos virtuales no sólo mejora la comprensión de sistemas complejos, sino que también permite una interacción más intuitiva y significativa con el contenido. Esta inmersión puede cambiar radicalmente la forma en que los estudiantes adquieren habilidades y conocimientos, convirtiendo el aprendizaje en una experiencia activa y participativa.

- 3) La viabilidad de diseñar y construir un prototipo de gemelo digital que emule a un entrenador de procesos industriales plantea cuestiones intrigantes sobre el futuro de la formación. Este enfoque no sólo proporciona un espacio seguro para la experimentación, sino que también promueve el aprendizaje continuo. Al permitir que los estudiantes se enfrenten a retos simulados, se les da la oportunidad de desarrollar no sólo habilidades técnicas, sino también capacidades de resolución de problemas y pensamiento crítico.

- 4) La creación de modelos 3D mediante programas informáticos como Vectary pone de relieve la convergencia de la tecnología y la creatividad en el ámbito educativo. Al proporcionar un espacio virtual donde los diseños pueden visualizarse y modificarse en tiempo real, abre la puerta a la innovación colaborativa.

- 5) Aunque los resultados preliminares sugieren que el simulador podría optimizar el tiempo de práctica en comparación con los equipos físicos, es innegable la necesidad de una evaluación más exhaustiva. Esta evaluación debe ir más allá de las métricas de rendimiento y considerar el impacto en la cultura organizativa, la seguridad y la satisfacción de los estudiantes. ¿Qué lecciones pueden extraerse de las experiencias al interactuar con estas tecnologías? ¿Cómo pueden ajustarse los simuladores para maximizar su eficacia y pertinencia en diversos entornos? La búsqueda de respuestas a estas preguntas será fundamental para validar y potenciar el uso de simuladores en el futuro de la educación.

Referencias

- [1] J. A. Córdoba Mendoza, "Diseño y Construcción de una Herramienta para la Simulación de los Métodos de Control PID y SLIDING Mode Control (SMC) Aplicado a un Motor BLDC", Tesis de Grado Ingeniería Electrónica, Universidad de los Llanos, 2020.
- [2] A. E. M. Canales, "Realidad mixta aplicada a entornos educativos", Revista de Investigación de Sistemas e Informática, vol. 16, no. 2, pp. 77-84, Dic. 2023.

- [3] E. D. Hess, "Inmersión Académica: Innovación educativa a través de Realidad Aumentada, Realidad Virtual y Realidad Mixta" Blog de Grezan. 10 Ago., 2023. [En línea]. Disponible en: <https://acortar.link/vuMILn>
- [4] A. R. Guano Bermeo, "Diseño de un Sistema Virtual 3D de una estación de control de presión enfocado a la sintonía de controladores PI-PID", Tesis de maestría Magister en Electrónica y Automatización, Mención, Redes, Industriales, Centro de estudio de Posgr., Univ. De las Fuerzas Armadas, Ecuador, 2021.
- [5] L. M. Hernández-López, "La educación a distancia". Vida Científica Boletín Científico de la Esc. Prep. vol. 12, no. 23, pp. 51-52, 2024.
- [6] J. P. Crespo Obaco, J. B. Bailón, "Beneficios y desafíos de los asistentes virtuales en el aprendizaje", Latam: Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales y Humanidades, vol.5, no. 2, pp 685-700, Ene. 2024.
- [7] C. E. Briceño Núñez, "Impacto de la educación a distancia en la sensibilización cultural de los estudiantes". Culturas. Revista de Gestión Cultural, vol.11, pp. 33-42, Jun. 2024.
- [8] K. E. Espinoza Castro, et al. (2024). Laboratorios digitales y plataformas de acceso abierto: retos y propuestas para la democratización del aprendizaje. Edutec, Revista Electrónica de Tecnología Educativa, vol. 87, pp. 90-100. Mar. 2024.
- [9] L. Wang, PID Control System Design and Automatic Tuning using MATLAB/Simulink. Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons, 2020.
- [10] M., Varas Chiquito, et al., "Gemelos digitales y su evolución en la industria," Revista científica Mundo de la Investigación y el conocimiento, vol. 4, no. 4, pp. 300-308, Nov. 2020
- [11] A. B. Loureiro, "3D Foto-Gen: El poder del mundo3D," Tesis de licenciatura, Fac. de Artes Licenciatura en multimedia, Universidad Nacional de La Plata, 2023.
- [12] M. Pilco, M. Pilataxi, "Simulador 3D de un proceso de nivel de un tanque esférico para evaluar controladores," Revista Ibérica de Sistema Tecnologías de Informação, no. E55, pp. 158-170, Jun. 2023.
- [13] A.P. Lorandi Medina, et al. "Controladores PID y Controladores difusos", Revista de ingeniería industrial, vol. 5 no. 1, 2011.
- [14] D. Pavllo, J. Kohler, T. Hofmann, y A. Lucchi, "Aprendizaje de modelos generativos de mallas 3D texturizadas a partir de imágenes del mundo real", en Actas de la Conferencia Internacional IEEE/CVF sobre Visión por Computador, 2021, pp. 13879-13889.
- [15] I. A. V. Iatsyshyn et al., "Application of augmented reality technologies for preparation of specialists of new technological era", 2020.
- [16] T. Masood, J. Egger, "Adopting augmented reality in the age of industrial digitalisation," Computers in Industry, vol. 115, pp. 1-37, 2019.
- [17] G. M. Santi, et al., "Augmented reality in industry 4.0 and future innovation programs", Technologies, vol. 9, no. 3, pp. 2-18, 2021.
- [18] K. Lavingia, S. Tanwar, "Augmented reality and industry 4.0," en A Roadmap to Industry 4.0: Smart Production, Sharp Business and Sustainable Development, A. Nayyar · A. Kumarpp, Ed., Springer, 2020, pp.142-155.
- [19] C. de Prada et al., "Gemelos digitales en la industria de procesos," Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial, vol. 19, no. 3, pp. 285-296, Jul./Sep. 2022.
- [20] P. Calvo, "Gemelos digitales y democracia," Revista del CLAD Reforma y Democracia, no. 83, pp.43-70. Jul. 2022.
- [21] F. Tao et al., "Digital twin modeling," Journal of Manufacturing Systems, vol. 64, pp. 372-389, Jul. 2022.
- [22] Y. S. Pascuas-Rengifo, J. A. Garcia-Quintero y M. A. Mercado-Varela, "Dispositivos móviles en la educación: tendencias e impacto para la innovación," Revista Politécnica, vol. 16, no. 31, pp. 97-109, Ene./Jun. 2020.
- [23] S. Rokhsaritalemi, A. Sadeghi-Niaraki, y S.-M. Choi, "A review on mixed reality: Current trends, challenges and prospects", Applied Sciences, vol. 10, no. 636, pp. 1-26. Ene. 2020.
- [24] C. P. Beltrán. Arquitectura, gemelos digitales y realidad mixta. Teks del Sud, vol. no.1, 25-30. 2023.
- [25] Díaz, V. M., Requena, B. E. S., & Vega-Gea, E. Creencias del profesorado de Educación Secundaria en torno al uso de la Realidad Mixta en el aula. Revista electrónica interuniversitaria de formación del profesorado, vol. 26. no. 1, 85-97. 2023.

DISEÑO DE INSTRUMENTO VIRTUAL PARA EL MONITOREO DEL DESBALANCE DE TENSIÓN Y CORRIENTE EN REDES ELÉCTRICAS TRIFÁSICAS

Carlos Levi Cartagena Lobos

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 Eléctrico. Docente Coinvestigador, Escuela Especializada en Ingeniería ITCA-FEPADE, Centro Regional Santa Ana.

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

Recibido: 31/05/2024 - Aceptado: 17/07/2024

Resumen

La producción de energía eléctrica es esencial para el desarrollo económico y social de un país. Sin embargo, la calidad de la energía suministrada puede verse afectada por variaciones de carga, perturbaciones externas y desequilibrios entre las fases, para contar con una herramienta para el monitoreo del desbalance, la Escuela Especializada en Ingeniería ITCA-FEPADE Centro Regional Santa Ana desarrolló una investigación en automatización e instrumentación virtual, con el objetivo de diseñar un sistema para monitorear el desbalance del voltaje y la corriente entre las fases A, B y C de redes eléctricas trifásicas. El diseño experimental utilizó hardware especializado para el acondicionamiento de señales de voltaje y corriente. El resultado es una aplicación que funciona como un instrumento virtual, con la que se puede monitorear el desbalance de voltaje y corriente. Se demostró que el aumento del desequilibrio de voltaje entre las fases en un sistema trifásico también conduce a un aumento en el desequilibrio de corriente. El diseño incluye el registro de alarmas, visualización de señales de voltaje y corriente en formato rectangular y fasorial. El modelo se puede implementar en el monitoreo del desbalance de voltaje y corriente en subestaciones y generadores trifásicos. También tiene uso académico en el campo de la calidad de la energía, utilizándolo como instrumento virtual en ambientes controlados de un laboratorio de pruebas de sistemas de potencia. El sistema almacena en la nube y de forma local datos de corrientes y voltajes presentes en la red eléctrica, segundos antes de presentar un desbalance para el análisis de las causas de la anomalía. El instrumento virtual incluye sensores, una tarjeta de adquisición de datos, un Dashboard y una plataforma de servicios en la nube. De la investigación se concluye que todo proceso de generación y distribución de energía eléctrica para mantener la calidad debe contar con sistemas de monitoreo periódico de las principales variables eléctricas, utilizando software y hardware especializado como el diseñado, para tomar medidas correctivas en el campo.

Palabras clave

Sistema trifásico, sistemas de potencia, redes eléctricas, sensores remotos, máquinas eléctricas, corrientes eléctricas, instrumentación virtual.

DESIGN OF A VIRTUAL INSTRUMENT FOR MONITORING VOLTAGE AND CURRENT UNBALANCE IN THREE-PHASE POWER NETWORKS

Abstract

Electrical energy production is essential for a country's economic and social development. However, the quality of the energy supplied can be affected by load variations, external disturbances and unbalance between phases. To have a tool for monitoring unbalance, the Escuela Especializada en Ingeniería ITCA-FEPADE Centro Regional Santa Ana developed a research on automation and virtual instrumentation to design a system to monitor the voltage and current unbalance between phases A, B, and C of three-phase electrical networks. The experimental design used specialized hardware for voltage and current signal conditioning. The result is an application that functions as a virtual instrument to monitor voltage and current unbalance. It was demonstrated that an increase in voltage unbalance between phases in a three-phase system also increases current unbalance. The design includes alarm logging and displays voltage and current signals in rectangular and phasor format. The model can be implemented to monitor voltage and current unbalance in three-phase substations and generators. It also has academic applications in power quality, using it as a virtual instrument in controlled environments of a power system testing laboratory. The system stores data of currents and voltages in the cloud and locally, captured seconds before an unbalance occurs to analyze the causes of the anomaly. The virtual instrument includes sensors, a data acquisition card, a Dashboard, and a cloud services platform. From the research, it is concluded that every process of generation and distribution of electrical energy, to maintain quality, must have periodic monitoring systems of the main electrical variables, using specialized software and hardware such as the one designed to take corrective measures in the field.

Keyword

Three-phase system, power systems, electricity grids, remote sensors, electrical machines, electrical currents, virtual instrumentation.

Introducción

Uno de los indicadores de la calidad de la energía eléctrica es el desbalance de tensión y corriente, que se produce cuando el valor eficaz de tensiones de fase o desfases entre fases no son iguales [1]. El desbalance de tensión y corriente puede causar pulsaciones de par, sobrecalentamiento, vibraciones, ruido y daños en las máquinas eléctricas, entre otros efectos negativos.

Para evitar o minimizar estos problemas, es necesario contar con un sistema de monitoreo que permita medir y registrar el desbalance de tensión y corriente en las redes eléctricas, así como generar alarmas cuando se detecten anomalías que superen los límites establecidos por las normas técnicas. El sistema de monitoreo debe ser capaz de integrarse con otros sistemas de control y supervisión, como los sistemas SCADA y de utilizar servicios en la nube para facilitar el acceso remoto y el almacenamiento de datos.

El instrumento virtual tuvo como objetivo diseñar un sistema para el monitoreo del desbalance de tensión y corriente entre las fases A, B y C en redes eléctricas trifásicas, utilizando una red de sensores de voltaje y corriente con registro de datos en la nube. El sistema se basa en el uso de una tarjeta de adquisición de datos, una aplicación desarrollada en el entorno de LabView y una plataforma de servicios en la nube.

El artículo presenta el estado de la técnica referente al desequilibrio de tensiones y normas que regulan el desbalance de voltaje y corriente. Se presenta el diseño y los componentes del sistema para el monitoreo del desbalance, el registro en la nube y las alertas predictivas.

Desarrollo

A. Caracterización histórica del desequilibrio de tensiones

El primer estudio sistemático y generalizado para el estudio de sistemas de tensión desequilibrados lo propuso, en 1918, Fortescue en su clásico artículo "Method of Symmetrical Coordinates Applied to the Solution of Polyphase Networks" [2], el cual fue desarrollado precisamente cuando estudiaba la operación del motor de inducción, en estado estacionario, alimentado con tensiones desequilibradas.

En este artículo Fortescue propone descomponer el sistema trifásico desequilibrado en tres sistemas de tensiones trifásicos, cada uno de ellos con componentes de igual magnitud: el sistema de secuencia cero, el sistema de secuencia 1 (secuencia positiva), y el sistema de secuencia 2 (secuencia negativa); el efecto total sobre el motor se encuentra sumando el efecto de cada sistema.

Asimismo, Fortescue muestra que el sistema de secuencia cero no produce campo resultante en el entrehierro, por lo que no debe considerarse en la conversión de potencia.

Es interesante precisar que en el "método de coordenadas simétricas" [2], los sistemas de secuencia positiva y negativa son, desde el punto de vista geométrico, sistemas simétricos pues presentan una simetría rotacional de 120 grados. Por lo tanto solo es necesario calcular una componente de cada sistema pues las otras componentes se obtienen desplazando la primera componente en 120 y 240 grados. Este hecho dio lugar a que posteriormente se usara el nombre de "método de componentes simétricas" y se popularice el término de "componentes simétricas" ó "componentes de secuencia" [3], [4]. Igualmente es importante mencionar que el método fue propuesto por Fortescue para el análisis de sistemas eléctricos en estado estacionario.

B. Definición de la norma IEC para el Desequilibrio de Tensiones

La International Electrotechnical Commission adopta el factor de desequilibrio de tensiones propuesto en el método de componentes simétricas, en su norma IEC 61000-4-27 [5], define el desequilibrio de tensiones mediante el índice VUF (Voltage Unbalance Factor) de la siguiente forma "la relación de la componente de secuencia negativa entre la componente de secuencia positiva medida a la frecuencia del sistema (50 Hz o 60 Hz) tal como lo define el método de las componentes simétricas". La definición verdadera del factor de desbalance de tensiones corresponde a la relación entre los módulos de las componentes de secuencia inversa y directa de la tensión [6], [7], [8], [9], se muestra en (1):

$$VUF = \text{Voltage Unbalance Factor} = \frac{|V_2|}{|V_1|} \quad (1)$$

Donde:

$|V_2|$ es el valor r.m.s. de la componente de secuencia negativa del voltaje aplicado.

$|V_1|$ es el valor r.m.s. de la componente de secuencia positiva del voltaje aplicado

Así, dado un conjunto de tensiones desequilibradas V_{ab} , V_{bc} y V_{ca} , las tensiones de secuencia positiva y negativa viene dado por (2):

$$\begin{bmatrix} 0 \\ V_1 \\ V_2 \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_{ab} \\ V_{bc} \\ V_{ca} \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$\text{Con:} \quad a = -0.5 + j0.866 \quad (3)$$

$$a^2 = -0.5 - j0.866 \quad (4)$$

C. Definición de la norma NEMA para el Desequilibrio de Tensiones

La National Electrical Manufacturer Association en su Norma MG1 [10], acepta el índice VUF del método de componentes simétricas. Sin embargo, entre los años 1969 y 1970 la sección de Motores y Generadores de NEMA propuso el índice Percent Voltage Unbalance PVU como un método alternativo al VUF para el cálculo del desequilibrio de tensiones. Este nuevo índice PVU no requiere el uso del algebra vectorial para calcular las componentes de secuencia pues usa solo el valor r.m.s. de las tensiones línea-línea, y calcula la relación entre la máxima desviación respecto a la tensión de línea promedio entre la tensión de línea promedio. Así, sean V_{ab} V_{bc} V_{ca} , los valores r.m.s. de las tensiones línea-línea del sistema trifásico de tensiones, el índice PVU se observa en (5).

$$PVU = \text{Percent Voltage Unbalance} = \frac{MDV}{VP} \times 100 \quad (5)$$

Donde:

$$MDV = \max \{ |VP - V_{ab}|, |VP - V_{bc}|, |VP - V_{ca}| \} \quad (6)$$

$$VP = \frac{V_{ab} + V_{bc} + V_{ca}}{3} \quad (7)$$

Este nuevo índice PVU fue adoptado por NEMA desde la Norma NEMA MG1- 1972 y también aparece en su versión la MG1-2003 [10]. El uso del índice PVU está muy difundido en las prácticas industriales debido a que no requiere el uso del algebra compleja como si lo necesita el cálculo del VUF que está basado en el método de componentes simétricas.

D. Definición de la norma IEEE para el Desequilibrio de Tensiones

En 1969 el IEEE Power System Engineering Committee, al discutir la IEEE Std. 141 [11], Recommended Practice for Electric Power Distribution for Industrial Plant, propone una definición, adicionalmente al índice VUF, donde se usa solo la magnitud de las tensiones de fase del sistema que se muestra en (1).

$$PVUR = \text{Phase Voltage Unbalance Rate} = \frac{MDVF}{VFP} \times 100 \quad (8)$$

$$MDVF = \max \{ |V_a - VFP|, |V_b - VFP|, |V_c - VFP| \} \quad (9)$$

$$VFP = \frac{V_a + V_b + V_c}{3} \quad (10)$$

Así, el índice PVUR (Phase Voltage Unbalance Rate) fue incluido en la norma IEEE Std. 141 [11] desde 1969 y tiene la característica de expresar el desequilibrio a partir de la medición de la magnitud de las tensiones fase-neutro. Por lo tanto, para calcular este índice no es necesario usar el método de las componentes simétricas. Si se desea aplicar este índice para la desclasificación del motor es necesario conocer las tensiones r.m.s. línea-neutro del motor. Como las tensiones línea-neutro del motor son difíciles de medir en la práctica industrial pues generalmente el neutro del motor no está disponible, es más práctico usar el índice PVU que solo requiere conocer las tensiones línea-línea aplicadas al motor [12].

E. Efectos del desequilibrio de tensiones en máquinas eléctricas.

Cuando el motor de inducción está alimentado por un sistema de tensiones trifásico desequilibrado, las corrientes del motor también serán desequilibradas y una tensión de secuencia negativa pequeña puede producir grandes corrientes en los bobinados que excedan considerablemente la corriente nominal del motor. Por lo tanto, para evitar que un calentamiento excesivo pueda afectar el tiempo de vida del motor es necesario reducir la potencia de operación del motor, este proceso se conoce como desclasificación de la potencia del motor debido al desequilibrio de tensiones [12].

En 1978 la National Electrical Manufacturers Association incluye en la NEMA Standard MG1 un método para calcular los factores de desclasificación. NEMA construye una curva basada en resultados experimentales, que indican que el porcentaje de incremento de la temperatura del motor debido al desequilibrio de tensiones es aproximadamente igual a dos veces el PVU elevado al cuadrado [13], la curva de desclasificación propuesta por NEMA da una relación entre el factor de desclasificación y el índice PVU, ver Fig. 1

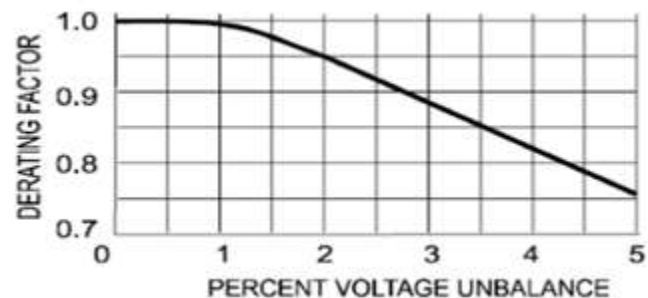


Fig. 1. Curva NEMA para la desclasificación de la potencia del motor de inducción de mediana potencia en condiciones de desequilibrio de tensiones [14].

Otro efecto del desbalance de tensiones se presenta en rectificadores con tecnología PWM se aumenta la distorsión de corriente armónica, incrementan los reactivos de la carga y se generan rizados de corriente en la etapa de continua. (c.c.) [15].

F. Normas que regulan el desbalance de voltaje y corriente.

La norma NTC 5001 es una norma técnica colombiana que establece las metodologías de evaluación y los valores de referencia de los parámetros asociados a la calidad de la potencia eléctrica en el punto de conexión común entre el operador de red y el usuario para todos los niveles de tensión, bajo condiciones normales de operación [15].

Los valores de referencia para el voltaje definidos en la norma NTC 5001 [15], se muestran en la siguiente tabla:

Tabla I. Porcentaje máximo de desbalance de tensión.

| Rango de Tensión | Valor de Referencia |
|------------------|---------------------|
| Vn < 69 kV | 2,0 % |
| Vn ≥ 69 kV | 1,5 % |

La norma mexicana CFE L000-45 [16], define los valores de referencia para el desbalance de voltaje y corriente que se muestran en las tablas 2 y 3.

Tabla II. Desbalance máximo permitido en la tensión en el punto de acometida.

| Tensión (kV) | Desequilibrio (%) |
|--------------------|-------------------|
| Menor de 1 | 3 |
| Mayor o igual de 1 | 2 |

Tabla III. Desbalance máximo permitido en la corriente en el punto de acometida.

| Impedancia relativa (Icc / IL) | Desbalance (%) | | |
|-----------------------------------|-----------------|--------------------|------------------|
| | Menor a 1 kV | De 1 kV a 35 kV | Mayor a 35 kV |
| < 20 | 5 | 2.5 | 2.5 |
| 20 ≤ (Icc / IL) < 50 | 8 | 4 | 3 |
| 50 ≤ (Icc / IL) < 100 | 12 | 6 | 3.75 |
| 100 ≤ (Icc / IL) ≤ 1000 | 15 | 7.5 | 4 |
| > 1000 | 20 | 10 | 5 |

Según el estándar IEEE 1159. El desbalance de voltaje en un sistema trifásico se define como la relación de la magnitud del componente de secuencia negativa respecto a la magnitud del componente de secuencia positiva, expresado en porcentaje. Típicamente, el desbalance de voltaje de un servicio trifásico es menor al 3%. El desbalance de corriente puede ser considerablemente mayor, especialmente cuando hay cargas monofásicas presentes. Matemáticamente, el desbalance de voltaje está representado por la ecuación (1) [17].

METODOLOGÍA

El proyecto se ejecutó utilizando el diseño experimental; se analizaron diferentes conceptos y normas para el desequilibrio de tensiones y para la implementación del instrumento virtual se utilizó la norma CFE L000-45. La metodología incluyó:

A. Diagnóstico

Se realizaron mediciones en una estación de prueba en los laboratorios de ITCA-FEPADE Centro Regional Santa Ana, utilizando instrumentos físicos para poder tener un marco de referencia de las variables eléctricas involucradas en el sistema a diseñar.

B. Diseño del sistema para el monitoreo del desbalance.

Se diseñó el instrumento tomando en cuenta el acondicionamiento de señales analógicas y digitales, creación de la interfaz de usuario (HMI) y programación de los algoritmos para el cálculo del desbalance, visualización y almacenamiento de datos mediante el entorno de desarrollo LabView. Se realizó la calibración del sistema ejecutando experimentos con hardware de National Instruments (NI), sensores de corriente y voltaje genéricos en los laboratorios de ITCA.

El sistema se basó en dos etapas principales: la etapa de adquisición de datos y la etapa de procesamiento de datos. La etapa de adquisición de datos requiere de la atenuación y acondicionamiento de señales; para ello se utilizaron sensores de voltaje y corriente y una tarjeta de adquisición de datos NI 6009. Los datos adquiridos se transfieren a la etapa de procesamiento conformada por una aplicación desarrollada con LabVIEW, en la que se integran módulos de visualización, módulos de almacenamiento, generación de informes y módulos de comunicación para compartir datos con otros dispositivos como PLC y poder integrarse en un sistema más amplio como un ESCADA, la arquitectura del sistema se muestra en la Fig. 2.

En la etapa de sensores para medir la corriente se utilizó el sensor de la serie SCT-013 que trabajan como transformadores, la corriente que circula por el cable que deseamos medir actúa como el devanado primario (1 espira) e internamente tiene un devanado secundario que dependiendo del modelo pueden tener hasta más de 2000 espiras [18].

La cantidad de espiras representa la relación entre la corriente que circula por el cable y la que el sensor nos entrega, esta relación o proporción es la que diferencia entre los diferentes modelos de sensores SCT-013, adicionalmente pueden tener una resistencia de carga en la salida de esta forma en lugar de corriente se trabaja con una salida de voltaje [18].

Para medir el voltaje se utilizó un transformador reductor en cuyo devanado secundario proporciona una salida de 12Vrms, garantizando que el voltaje pico no sobrepase los 20V.

En la etapa de adquisición de datos se utilizó la tarjeta NI USB 6009, que se muestra en la Fig. 3, es un dispositivo DAQ multifunción de bajo costo. Ofrece E/S analógicas, E/S digitales y un contador de 32 bits. El USB-6009 brinda funcionalidad básica para aplicaciones como registro de datos simple, medidas portátiles y experimentos académicos de laboratorio. El dispositivo tiene una cubierta mecánica ligera y es energizado por bus para fácil portabilidad. Puede conectar fácilmente sensores y señales al USB-6009 con conectividad de terminal de tornillo. El controlador NI-DAQmx y la utilidad de configuración que están incluidos simplifican la configuración y las medidas [19], [20].

La etapa de procesamiento de datos está conformada por una aplicación desarrollada en ambiente LabVIEW. La interfaz de usuario diseñada muestra las variables eléctricas en formato lineal (honda senoidal) y polar (representación fasorial), el porcentaje de desbalance de voltaje y corriente con letras resaltadas para que el usuario pueda monitorear cómodamente la variable de interés para el proyecto, como se observa en Fig. 4. Para complementar la información de interés se han incorporado tablas en donde se registran los valores máximos y mínimos de voltaje y corriente. También se incorpora el registro de eventos de alarma cuando el desbalance esta fuera de los estándares permitidos (Fig.6), para alertar al operador o usuario se incorpora un elemento visual que indica con texto y cambio de color al activarse una alarma por desbalance fuera de rango, al presionar el botón "SALIR", se genera automáticamente un reporte con las alarmas registradas durante la sesión en formato Excel, para que el operador o usuario las almacene de forma permanente.

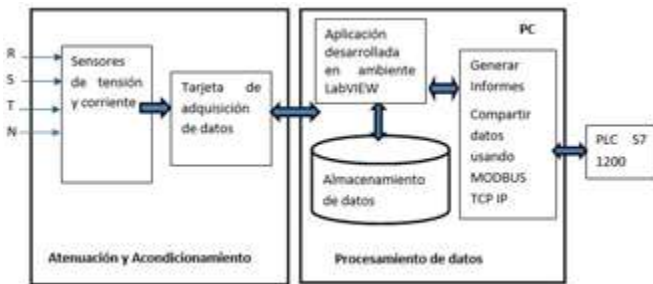


Fig. 2. Arquitectura del sistema de monitoreo.

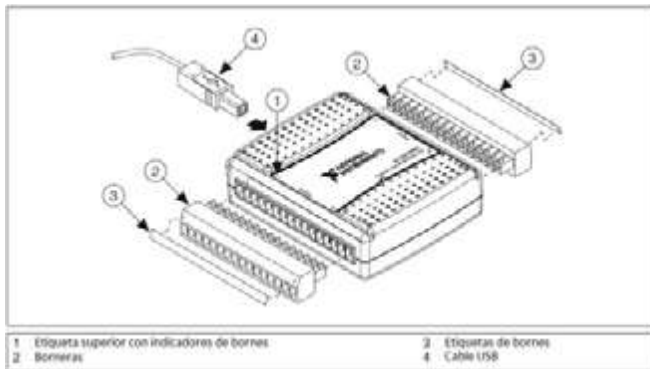


Fig. 3. Tarjeta NI DAQ-6009 [20]

Resultados

A. Diseño de la aplicación.

El resultado del diseño es una aplicación que funciona como un instrumento virtual para el monitoreo y el análisis del desbalance del voltaje y la corriente en un sistema trifásico, como se observa en la Fig. 5 y Fig. 6. La aplicación cuenta con un módulo de comunicaciones usando el protocolo de comunicación industrial MODBUS TCP IP, para compartir datos con otras aplicaciones y otras tecnologías que se integran en una red industrial que conforman un modelo basado en el concepto de Industria 4.0, es decir que los datos pueden ser compartidos usando una nube, pueden enviarse a un autómata programable para integrarse a un proceso, se pueden proyectar los datos en una HMI remota que se encuentra en un área diferente al punto de medición, entre otras aplicaciones. En este proyecto se implementó el módulo de comunicaciones para compartir datos con un PLC S7 1200 que está enlazado con un VPN IXON, que permite utilizar una nube segura para conexión remota y compartir datos en la nube. El acceso al módulo se efectúa mediante un botón llamado "EXPORTAR", que se localiza en la pantalla principal.



Fig. 5. Pantalla principal de la aplicación.



Fig. 4. Monitor de desbalance.



Fig. 6. Vista general del monitor de desbalance.

B. Resultados experimentales.

Para evaluar el desempeño del sistema diseñado y monitorear el desbalance de voltaje y corriente en una red trifásica, se conectaron 2 motores trifásicos de jaula de ardilla con el propósito de determinar la relación entre el desbalance de voltaje y corriente obteniendo los siguientes resultados.

Tabla IV. Lecturas de desbalance de voltaje y corriente.

| # | Desbalance V | Desbalance I |
|----|--------------|--------------|
| 1 | 1.58% | 5.28% |
| 2 | 1.68% | 5.37% |
| 3 | 1.70% | 5.40% |
| 4 | 1.70% | 5.36% |
| 5 | 1.66% | 5.61% |
| 6 | 1.69% | 5.60% |
| 7 | 1.70% | 5.57% |
| 8 | 1.71% | 5.64% |
| 9 | 1.78% | 6.40% |
| 10 | 3.28% | 9.27% |

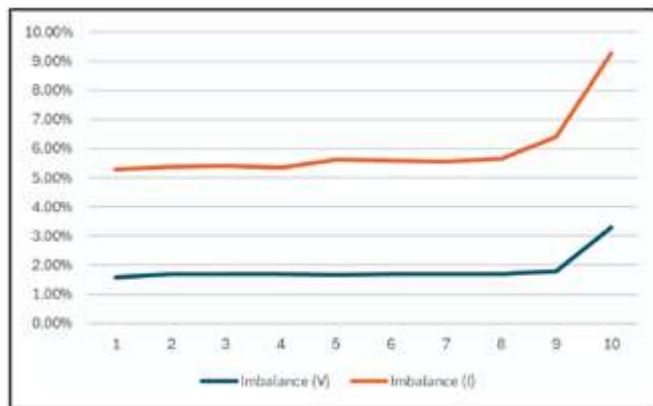


Fig.7. Relación del desbalance entre voltaje y corriente.

Conclusiones

1. Se demostró que, al aumentar el desbalance de voltaje entre las fases, también se incrementa el desbalance de corriente. Esto sugiere una fuerte correlación entre ambas variables eléctricas.
2. La investigación subraya la importancia de contar con sistemas de monitoreo periódico de las principales variables eléctricas para tomar medidas correctivas y garantizar una generación y distribución de energía eléctrica eficiente y confiable.
3. Para el desbalance de voltaje y corriente, se deben tomar en cuenta los estándares internacionales o nacionales que definen los valores máximos permitidos para mantener la calidad de la energía en la red eléctrica.

4. El diseño del instrumento virtual para medir el desbalance en generadores trifásicos utilizó la norma internacional CFE L000-45.
5. El instrumento permite detectar y alertar sobre las anomalías por desbalance en la red eléctrica, así como almacenar y analizar los datos para identificar las posibles causas y tomar medidas preventivas y correctivas.
6. El sistema contribuye a mejorar la calidad del servicio de generación, reducir las pérdidas de potencia, evitar el sobrecalentamiento, el daño de los equipos y optimizar el mantenimiento de las máquinas eléctricas.

Referencias

- [1] Voltage characteristics of electricity supplied by public electricity networks, UNE-EN 50160:2011/A2, Mar. 2011. [En línea]. Disponible en: <https://acortar.link/6z1afa>
- [2] C.L. Fortescue, "Method of Symmetrical Coordinates Applied to the Solution of Poliphase Networks", AIEE Transaction, Vol. 37, Part II, pp. 1027- 1140, 7 abr. 2009. doi: 10.1109/T-AIEE.1918.4765570 [En línea]. Disponible en: <https://ieeexplore.ieee.org/document/4765570/authors#authors>
- [3] C. F . Wagner, R.D. Evans, Symmetrical Components. As Applied to the Analysis of Unbalanced Electrical Circuits, New York, E.E.U.U. McGraw-Hill Book Company, Inc. 1933, [En línea]. Disponible en: <https://www.nature.com/articles/132876b0#citeas>
- [4] W. B. Lyon, Application of the Method of Symmetrical Components, New York, E.E.U.U. Mc Graw Hill Book Company AIEE, Inc., 1937. [En línea]. Disponible en: <https://archive.org/details/dli.ernet.476038/page/n4/mode/1up>
- [5] Electromagnetic Compatibility (EMC) - Part 4-27: Testing and Measurement Techniques - Unbalance, Immunity Test, 61000-4-27:2000, 2000, [En línea]. Disponible en: <https://webstore.iec.ch/en/publication/4199>
- [6] A. Robert and J. Marquet. "Assessing Voltage Quality with relation to Harmonics, Flicker and Unbalance". CIGRE WG 36.05, Paper 36-203. 1992
- [7] IEEE Recommended Practice for Electric Power Distribution for Industrial Plants, IEEE Std 141-1993, 1993. doi: 10.1109/IEEESTD.1994.121642
- [8] IEEE Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality. IEEE Std 1159-2019. 1995. doi: 10.1109/IEEESTD.2019.8796486

[9] Electromagnetic compatibility. Testing and measurement techniques. Power Quality Measurement Methods. IEC 61000-4-30:2015, 2015. [En línea]. Disponible en: <https://webstore.iec.ch/en/publication/21844>

[10] Standard Publication ANSI/NEMA MG1-2003, revisión1-2004, National Electrical Manufacturers Association Nema, 2003. [En línea]. Disponible en: <https://acortar.link/cWbJvh>

[11] IEEE Recommended Practice for Electric Power Distribution for Industrial Plan, IEEE Std 141-1993, 1994. [En línea]. Disponible en: <https://ieeexplore.ieee.org/document/398556>

[12] E. C. Quispe Oqueña, "Efectos del desequilibrio de tensiones sobre la operación del motor de inducción trifásico. Énfasis en la caracterización del desequilibrio de tensiones y el efecto sobre la potencia nominal," Tesis doctoral, Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, Universidad Autónoma de Occidente, Santiago de Cali, Colombia, 2012. [En línea]. Disponible en: <https://acortar.link/6IH67G>

[13] P. Pillay, P. Hofmann and M. Manyage, "Derating of induction motors operating with a combination of unbalanced voltages and over or undervoltages", IEEE Transaction on Energy Conversion, Vol.17, No.4, pp.485-491. Dic. 2002. doi: 10.1109/TEC.2002.805228. [En línea]. Disponible en: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/1159199>

[14] Motors and Generators, ANSI/NEMA MG1-2001, 2022. [En línea]. Disponible en: <https://www.nema.org/standards/view/motors-and-generators>

[15] ICONTEC. Calidad de la potencia eléctrica. Límites y metodología de evaluación en punto de conexión común, Norma, NTC 5001-2008, 2008. [En línea]. Disponible en: <https://n9.cl/3nt9x3>

[16] Desviaciones permisibles en las formas de onda de tensión y corriente en el suministro y consumo de energía eléctrica, Especificación CFE L0000-45, 2005. [En línea]. Disponible en: <https://acortar.link/FbxHqf>

[17] Práctica recomendada de IEEE para monitorear la calidad de la energía eléctrica, Std 1159-2019, 2019. [En línea]. Disponible en: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8796486/definitions#definitions>

[18] Naylamp Mechatronics, "Tutorial: Sensor de corriente AC no invasivo SCT-013". Naylamp Mechatronics. Accedido: 24 de julio 2024 [En línea]. Disponible en: <https://acortar.link/qHvR1s>

[19] National Instruments Corp, "Adquisición de datos (DAQ)". NI. 2024. [En línea]. Disponible en: <https://acortar.link/67rFPj>

[20] National Instruments Corp, "Dispositivo E/E multifunción USB-6009". NI. 2024. [En línea]. Disponible en: <https://acortar.link/PBh0xh>



SIMULADOR DIDÁCTICO AUTOMOTRIZ DE RED MULTIPLEXADA CAN BUS Y SISTEMA DE DIRECCIÓN ASISTIDA ELÉCTRICAMENTE EPS

Francisco Ernesto Cortez Reinosa

*Técnico Automotriz. Docente Investigador de la Escuela de Ingeniería Automotriz. ITCA-FEPAPE Sede Central.
Correo electrónico: fcortez@itca.edu.sv*

Eduardo Antonio Amaya García

*Ingeniero Eléctrico. Docente Coinvestigador de la Escuela de Educación Dual. ITCA-FEPAPE Sede Central
Correo electrónico: eaamaya@itca.edu.sv*

Recibido: 17/09/2024 - Aceptado: 7/10/2024

Resumen

En este artículo se presentan los resultados del proyecto que tuvo como objetivo diseñar, construir y programar un Simulador Didáctico Automotriz de Red Multiplexada CAN bus y Dirección Asistida Eléctrica EPS, para fortalecer la enseñanza aprendizaje en la carrera de mecánica automotriz de ITCA-FEPAPE. Se analizaron los diagramas eléctricos de los sistemas seleccionados a controlar con el simulador. El equipo construido cuenta con características innovadoras de portabilidad, manejo y aplicación del trabajo a realizar en el taller; permite la simulación de giro del motor de combustión, a través de la implementación de un circuito variador de velocidad en un motor eléctrico a 12 VDC, que cuenta con un engrane reductor de 32 dientes. Se implementó la CAN Test Box para determinar protocolos de comunicación y pruebas directas a la red del simulador didáctico. En el equipo se pueden simular 5 fallas determinantes en el sistema de red CAN bus y otras fallas en el Sistema de Dirección Eléctrica EPS considerando los diferentes factores del entorno automotriz. Se elaboró un manual de guías prácticas del simulador didáctico, con diferentes niveles de dificultad para estudiantes de Mecánica Automotriz de ITCA-FEPAPE Sede Central. El simulador cumple con las funciones de compatibilidad e interacción entre módulos, permitiendo ingresar con múltiples equipos de diagnóstico electrónico, tales como escáner automotriz, interface de comunicación y osciloscopio de dos o más canales. Los resultados obtenidos permiten incluir tópicos de avances tecnológicos en el área de sistemas eléctricos y electrónicos del vehículo.

Palabras clave

Red CAN bus, sistema de dirección eléctrica, redes multiplexadas, vehículos eléctricos, sistema eléctrico y electrónico del vehículo, diagnóstico automotriz.

AUTOMOTIVE DIDACTIC SIMULATOR OF CAN-BUS MULTIPLEXED NETWORK AND EPS ELECTRIC POWER STEERING SYSTEM

Abstract

This article presents the results of the project aimed at designing, building, and programming an Automotive Didact Simulator of a CAN-bus Multiplexed Network and EPS Electric Power Steering System to strengthen the teaching-learning process in the Automotive Mechanics Technology degree program at ITCA-FEPAPE. The electrical diagrams of the selected systems to be controlled with the simulator were analyzed. The equipment built has innovative features of portability, handling, and application of the work to be done in the workshop; it allows the simulation of the combustion engine's rotation through the implementation of a variable speed drive circuit in an electric motor at 12 VDC, which has a reduction gear of 32 teeth. The CAN Test Box was implemented to determine communication protocols and direct tests to the didactic simulator network. The equipment can simulate five determinant failures in the EPS Electric Steering System considering the different factors of the automotive environment. A manual of practical guides for the didactic simulator was prepared with varying difficulty levels for students of Automotive Mechanics at ITCA-FEPAPE headquarters. The simulator fulfills the functions of compatibility and interaction between modules, allowing access to multiple electronic diagnostic equipment, such as automotive scanners, communication interfaces, and oscilloscopes of two or more channels. The results allow us to include topics of technological advances in electrical and electronic vehicle systems.

Keyword

CAN-bus network, electric power steering system, multiplexed networks, electric vehicles, vehicle electrical and electronic system, automotive diagnostic.

Introducción

Las redes multiplexadas son fundamentales en los vehículos actuales, las utilizan en todos sus sistemas, garantizando y agilizando la transmisión de datos y permitiendo diagnosticar averías. El presente trabajo de investigación aprovechó estas características y las múltiples ventajas que este tipo de conectividad ofrece.

En la actualidad en la rama automotriz se hace uso de nuevas plataformas, aplicaciones e interfaces que facilitan la comprensión y solución de fallas en los automóviles. Esto conlleva a estudiar y familiarizarse con los procesos virtuales-manuales, que requieren conectarse a una red de comunicación de los módulos instalados dentro del vehículo, permitiendo el acceso a una gama de operaciones digitales. En este sentido, los resultados de este proyecto permiten la interacción entre el usuario y los sistemas eléctricos y electrónicos incorporados en el Simulador Didáctico, relacionados con el sistema de dirección, el Control Area Network CAN bus y el sistema de suspensión, entre otros. Esto permite conectar diferentes escáneres de diagnóstico automotriz, osciloscopio de dos o más canales e interfaces de comunicación, entre otros.

El proyecto se enfocó en programar un Simulador Didáctico Automotriz de Red Multiplexada CAN bus y Dirección Asistida Eléctrica EPS y generar guías de prácticas de taller para fortalecer las competencias en esta área.

En el mercado no existe disponibilidad de equipos o entrenadores del sector educativo automotriz, que reúnan las características de funcionamiento que se diseñaron y se incorporaron en este simulador didáctico. Existen equipos que cumplen funciones similares de operación tradicional, pero sin ejecutar de manera efectiva todas las operaciones propuestas para el simulador construido.

Desarrollo

Para el diseño del Simulador Didáctico Automotriz, se analizaron los diagramas eléctricos de los sistemas del vehículo que se podrán controlar, tales como sistema de dirección EPS, TPMS, OBDII, CAN bus, sistema de suspensión, etc.

El Simulador permite conectar diferentes escáneres de diagnóstico, osciloscopio e interfaces de comunicación, entre otros. Se utilizaron los módulos de control del sistema electrónico de un Nissan Sentra 2008.

El Simulador incluye componentes del sistema de suspensión, amortiguadores, puente inferior, brazos de control; columna de dirección, interruptor principal de ignición, módulo de control de dirección eléctrica, motor eléctrico, cremallera, ruedas motrices con válvulas electrónicas, componentes del sistema de panel de instrumentos (Figura 1), tablero de indicadores, conector DLC OBDII, entre otros.

El equipo permitirá la interacción entre el usuario y los sistemas incorporados en el Simulador Didáctico tales como sistema de dirección EPS, sistema de suspensión, TPMS, OBDII, CAN bus, entre otros.

Los sistemas con los que se puede interactuar en el banco son los siguientes:

- Sistema de Dirección Asistida Eléctricamente, Electrical Powered Steering (EPS).
- Sistema de Monitoreo de Presión de Llantas, Tire Pressure Monitoring System (TPMS).
- Módulo de Control de Sistemas de Carrocería, Body Control Module (BCM).
- Módulo de Control de Motor, Electronic Control Module (ECM).
- Módulo de Control de Transmisión, Transmission Control Module (TCM).
- Panel de Instrumentos, Instrument Cluster Panel (ICP).

Resultados

El equipo construido cuenta con características innovadoras de portabilidad, manejo y aplicación del trabajo a realizar en el taller; permite la simulación de giro del motor de combustión, a través de la implementación de un circuito variador de velocidad en un motor eléctrico a 12 VDC, que cuenta con un engrane reductor de 32 dientes.



Fig 1. Vista del panel de instrumentos y reductor.

Se implementó la CAN Test Box para determinar protocolos de comunicación y pruebas directas a la red del Simulador Didáctico. Además, se pueden simular 5 fallas determinantes en el sistema de red CAN bus y otras fallas en el Sistema de Dirección Eléctrica EPS, considerando los diferentes factores del entorno automotriz.



Fig 2. Base de porta sensores y reductor diseñado.

A continuación, se mencionan las pruebas que se pueden realizar con el Simulador Automotriz.

- Conexión OBDII, red CAN bus.
- Activación y desactivación del sistema de dirección eléctrica EPS y simulación de fallas.
- Interpretación del diagrama eléctrico EPS.
- Simulación de 5 fallas de red CAN bus.
- Simulación de régimen de giro del motor RPM.
- Interacción con sistema de monitoreo de presión de aire de neumáticos TPMS.
- Calibración de válvulas TPMS y monitoreo.
- Visualización de datos en tiempo real con la ayuda de escáner.
- Análisis de gráfica de comunicación de red CAN bus con osciloscopio.
- Ajuste de ángulos de rueda, convergencia y divergencia.
- Monitoreo de funcionamiento del sistema a través del panel de instrumentos.
- Elementos de protección y de activación, fusibles, relevadores 12 V 30 Amp.



Fig. 3 Pruebas de interacción del equipo con un escáner automotriz.

Características Técnicas del Simulador Automotriz

Simulación de fallas. Esto permite interactuar con diferentes módulos y extraer códigos de falla, para seguir la descripción de pasos de acuerdo al fabricante para solventar la falla propuesta.

Implementación de código QR. Se puede acceder a la información técnica brindada por el fabricante al escanear un código QR, lo que permite el acceso en la nube a diferentes diagramas eléctricos detallados de los sistemas incorporados en el simulador.

Puntos de prueba para instalación de osciloscopio. Es uno de los equipos de diagnóstico más complejo en el ámbito automotriz; se instalaron puertos de conexión para cualquier tipo de osciloscopio de diferentes gamas.

Uso de Break Test Box. Este equipo permite realizar pruebas de manera segura al sistema de red CAN bus, con el fin de no realizar pruebas invasivas que pongan en riesgo la integridad operacional del sistema.

Simulador de giro del motor de combustión. Se logra con una rueda dentada y un circuito electrónico que genera la señal adecuada y el control preciso de la velocidad de giro del motor para la asistencia del sistema de dirección.

Manual de Guías para Prácticas de Taller

Las competencias adquiridas con el uso y aplicación del simulador permitirán al estudiante realizar diversas prácticas en los sistemas eléctricos y electrónicos del automóvil y utilizar diferentes equipos y herramientas de diagnóstico, lo que enriquece los conocimientos previos de los estudiantes de Técnico en Ingeniería Automotriz de ITCA-FEPADE.

Se elaboró un "Manual de Guías Prácticas del Simulador Didáctico Automotriz CAN Bus y EPS", con diferentes niveles de dificultad.

Las prácticas de taller en el Simulador permitirán adquirir las siguientes competencias:

- **Diagnosticar Sistema de Dirección Eléctrica EPS.** Con la simulación de fallas se puede intervenir la señal de uno de los sensores principales y seguir la carta de diagnóstico brindada por el fabricante.
- **Diagnosticar sistema de red de comunicación CAN bus.** Con el apoyo del Break Test Box, se verifica el correcto funcionamiento de la red de comunicación entre módulos, visualizando a través del osciloscopio el comportamiento de la señal.
- **Diagnosticar Sistema de Rendimiento de Motor ECM.** Utilizando el variador de velocidad de giro incorporado, se monitoreará el correcto funcionamiento de las señales eléctricas básicas, como RPM y señal de velocidad del vehículo VSS, entre otras.
- **Diagnosticar sistema de distribución de energía.** Con la ayuda del escáner automotriz, se verán datos en tiempo real del consumo energético de los componentes eléctricos y electrónicos.

Conclusiones

1. El equipo construido es capaz de cumplir con las funciones de compatibilidad e interacción entre los diferentes módulos eléctricos y electrónicos.
2. La investigación permitió fortalecer conocimientos y aplicar tecnología innovadora de comunicación a través de redes multiplexadas CAN bus, EPS y otros.
3. Para lograr una interacción en la comunicación con los diferentes módulos electrónicos se necesita para algunos de ellos la colaboración de los actuadores de cada sistema.
4. La utilización del Simulador por estudiantes de la carrera Técnica en Mecánica Automotriz y de Educación Continua, permitirá

desarrollar competencias innovadoras en el área de sistemas eléctricos y electrónicos del vehículo.

Recomendaciones

- Es necesario considerar la incorporación de otros elementos para potenciar y aumentar las funciones del Simulador. Se propone investigar e incorporar pruebas para cajas de velocidades CVT, el sistema de transmisión del automóvil, el sistema de aceleración y sistema de encendido.
- Se recomienda evaluar y utilizar este Simulador Didáctico en otros módulos de la carrera de Técnico en Mecánica Automotriz, tales como: Sistema de Frenos, Suspensión y Dirección del Automóvil; Sistema de Redes y Comunicación: Sistema de Inyección Electrónica y Sistema Eléctrico de Carrocería del Automóvil Liviano.

Bibliografía

1. Voltage characteristics of electricity supplied by public electricity networks, UNE-EN 50160:2011/A2, Mar. 2011. [En línea]. Disponible en: <https://acortar.link/6z1afa>
2. C.L. Fortescue, "Method of Symmetrical Coordinates Applied to the Solution of Poliphase Networks", AIEE Transaction, Vol. 37, Part II, pp. 1027- 1140, 7 abr. 2009. doi: 10.1109/T-AIEE.1918.4765570 [En línea]. Disponible en: <https://ieeexplore.ieee.org/document/4765570/authors#authors>
3. C. F. Wagner, R.D. Evans, Symmetrical Components. As Applied to the Analysis of Unbalanced Electrical Circuits, New York, E.E.U.U. McGraw-Hill Book Company, Inc. 1933, [En línea]. Disponible en: <https://www.nature.com/articles/132876b0#citeas>
4. W. B. Lyon, Application of the Method of Symmetrical Components, New York, E.E.U.U. Mc Graw Hill Book Company AIEE, Inc., 1937. [En línea]. Disponible en: <https://archive.org/details/dli.ernet.476038/page/n4/mode/1up>
5. Electromagnetic Compatibility (EMC) - Part 4-27: Testing and Measurement Techniques - Unbalance, Immunity Test, 61000-4-27:2000, 2000, [En línea]. Disponible en: <https://webstore.iec.ch/en/publication/4199>
6. A. Robert and J. Marquet. "Assessing Voltage Quality with relation to Harmonics, Flicker and Unbalance". CIGRE WG 36.05, Paper 36-203. 1992
7. IEEE Recommended Practice for Electric Power Distribution for Industrial Plants, IEEE Std 141-1993, 1993. doi: 10.1109/IEEESTD.1994.121642
8. IEEE Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality. IEEE Std 1159-2019. 1995. doi: 10.1109/IEEESTD.2019.8796486
9. Electromagnetic compatibility. Testing and measurement techniques. Power Quality Measurement Methods. IEC 61000-4-30:2015, 2015. [En línea]. Disponible en: <https://webstore.iec.ch/en/publication/21844>
10. Standard Publication ANSI/NEMA MG1-2003, revisión1-2004, National Electrical Manufacturers Association Nema, 2003. [En línea]. Disponible en: <https://acortar.link/cWbJvh>
11. IEEE Recommended Practice for Electric Power Distribution for Industrial Plan, IEEE Std 141-1993, 1994. [En línea]. Disponible en: <https://ieeexplore.ieee.org/document/398556>
12. E. C. Quispe Oqueña, "Efectos del desequilibrio de tensiones sobre la operación del motor de inducción trifásico. Énfasis en la caracterización del desequilibrio de tensiones y el efecto sobre la potencia nominal," Tesis doctoral, Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, Universidad Autónoma de Occidente, Santiago de Cali, Colombia, 2012. [En línea]. Disponible en: <https://acortar.link/6IH67G>
13. P. Pillay, P. Hofmann and M. Manyage, "Derating of induction motors operating with a combination of unbalanced voltages and over or undervoltages", IEEE Transaction on Energy Conversion, Vol.17, No.4, pp.485-491. Dic. 2002. doi: 10.1109/TEC.2002.805228. [En línea]. Disponible en: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/1159199>
14. Motors and Generators, ANSI/NEMA MG1-2001, 2022. [En línea]. Disponible en: <https://www.nema.org/standards/view/motors-and-generators>
15. ICONTEC. Calidad de la potencia eléctrica. Límites y metodología de evaluación en punto de conexión común, Norma, NTC 5001-2008, 2008. [En línea]. Disponible en: <https://n9.cl/3nt9x3>
16. Desviaciones permisibles en las formas de onda de tensión y corriente en el suministro y consumo de energía eléctrica, Especificación CFE L0000-45, 2005. [En línea]. Disponible en: <https://acortar.link/FbxHqf>
17. Práctica recomendada de IEEE para monitorear la calidad de la energía eléctrica, Std 1159-2019, 2019. [En línea]. Disponible en: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8796486/definitions#definitions>
18. Naylamp Mechatronics, "Tutorial: Sensor de corriente AC no invasivo SCT-013". Naylamp Mechatronics. Accedido: 24 de julio 2024 [En línea]. Disponible en: <https://acortar.link/qHvR1s>
19. National Instruments Corp, "Adquisición de datos (DAQ)". NI. 2024. [En línea]. Disponible en: <https://acortar.link/67rFPj>
20. National Instruments Corp, "Dispositivo E/E multifunción USB-6009". NI. 2024. [En línea]. Disponible en: <https://acortar.link/PBhOxh>

APROVECHAMIENTO DEL LACTOSUERO PARA EL DESARROLLO DE PRODUCTOS INNOVADORES DEL SECTOR ALIMENTOS Y COSMÉTICOS

José Roberto Jacobo Marroquín

Ingeniero Químico. Docente Investigador, Escuela de Ingeniería Química, ITCA-FEPADE, Santa Tecla.

Correo electrónico: jose.jacobo@itca.edu.sv

Alma Verónica García Barrera

Ingeniera Química, Máster en Sistemas de Calidad y Productividad. Docente Coinvestigadora, Escuela de Ingeniería Química, ITCA-FEPADE, Santa Tecla.

Correo electrónico: alma.garcia@itca.edu.sv

Recibido: 31/05/2024 - Aceptado: 17/07/2024

Resumen

El lactosuero, un subproducto generado en la producción de queso y otros productos lácteos, ha sido tradicionalmente considerado un desecho o un problema ambiental debido a su alto contenido de nutrientes y su potencial impacto al desecharlos en los cuerpos de agua si no se maneja adecuadamente. Sin embargo, en las últimas décadas, ha surgido un interés creciente en aprovechar este subproducto como materia prima para el desarrollo de productos innovadores en la industria alimentaria y cosmética.

El lactosuero es una fuente rica en proteínas de alta calidad y otros nutrientes convirtiéndolo en un recurso valioso para la formulación de diversos productos alimenticios. En esta investigación, desarrollada por la Escuela de Ingeniería Química de ITCA-FEPADE y el Centro de Investigación y Educación en Ciencias Aplicadas CEICA, se formularon y desarrollaron cuatro tipos de productos: bebidas hidratantes, yogur y sorbetes para el sector alimentario y jabón líquido para el sector cosmético.

Se realizaron pruebas de estabilidad, donde se evaluó la capacidad de los ingredientes para mantener la calidad del producto durante su vida útil; se realizaron pruebas de panel sensorial para evaluar el aspecto, aroma, sabor y textura de los productos, obteniendo así una experiencia sensorial satisfactoria para el consumidor.

El desarrollo de estos productos innovadores a partir del lactosuero, no solo contribuye a reducir el desperdicio de alimentos y a mitigar el impacto ambiental asociado con su disposición, sino que también abre nuevas oportunidades de negocio y valor agregado para la industria láctea y agroindustrial. Además, estos productos pueden ofrecer beneficios nutricionales, funcionales y económicos para los consumidores, así como también ventajas competitivas para las empresas que los producen.

Con el propósito de aprovechar los resultados de esta investigación, se realizará la transferencia de conocimiento y tecnología a través del Centro de Educación e Investigación en Ciencias Aplicadas CEICA a productores lácteos del país, para que evalúen el interés en la fabricación y comercialización de estos productos alimenticios y cosmético.

Palabras clave

Lactosuero, productos lácteos, industria lechera-control de la producción, bebidas lácteas, lactosa, derivados de la leche, agroindustria.

USE OF WHEY FOR THE DEVELOPMENT OF INNOVATIVE PRODUCTS FOR THE FOOD AND COSMETICS SECTORS

Abstract

Whey, a by-product generated in the production of cheese and other dairy products, has traditionally been considered a waste or an environmental issue due to its high nutrient content and potential impact when disposed of in water bodies if improperly handled. However, in recent decades, there has been a growing interest in taking advantage of this by-product as a raw material for developing innovative products in the food and cosmetics industries.

Whey is a rich source of high-quality proteins and other nutrients, making it a valuable resource for formulating various food products. In this research, developed by the Escuela de Ingeniería Química of ITCA-FEPADE and the Center for Research and Education in Applied Sciences CEICA, four types of products were formulated and developed: hydrating drinks, yogurt, and ice cream for the food sector, and liquid soap for the cosmetics sector.

Stability tests were conducted to assess the ingredients' capacity to maintain the quality of the product during its shelf life; sensory panel tests were performed to evaluate the products' appearance, aroma, taste, and texture, ensuring a satisfactory sensory experience for the consumer.

Developing these innovative products from whey contributes to reducing food waste and mitigating the environmental impact associated with its disposal. It also opens new business opportunities and offers added value for the dairy and cosmetics industry. In addition, these products can offer nutritional, functional, and economic benefits for consumers as well as competitive advantages for the companies that produce them.

To leverage the results of this research, knowledge and technology transfer will be carried out through the Center for Research and Education in Applied Sciences CEICA to dairy producers in the country, allowing them to evaluate their interest in manufacturing and commercializing these food and cosmetic products.

Keyword

Whey, dairy products, dairy industry-production control, dairy drinks, lactose, milk-derived products, agroindustry.

Introducción

En la actualidad, la gestión eficiente de los subproductos industriales se ha convertido en un pilar esencial para promover la sostenibilidad y la eficiencia en diversas industrias. En este contexto, el lactosuero, un coproducto de la industria láctea que anteriormente se consideraba un desecho problemático, ha ganado un reconocimiento creciente como un recurso valioso con múltiples aplicaciones. La investigación se enfocó en el desarrollo de productos innovadores utilizando lactosuero como ingrediente principal. Se exploraron y desarrollaron cuatro productos: yogur, sorbete, bebida hidratante y jabón líquido.

La diversificación de productos alimenticios y de cuidado personal mediante la utilización de lactosuero, ofrece una oportunidad única para agregar valor a este subproducto lácteo y al mismo tiempo abordar problemas relacionados con la gestión de residuos. Con los resultados de esta investigación se busca, no solo ampliar la gama de productos disponibles en el mercado, sino también fomentar prácticas sostenibles y eficientes en la cadena alimentaria, aprovechando al máximo un subproducto que, con las tecnologías actuales, puede transformarse en una valiosa fuente como ingrediente para diversas aplicaciones.

A los productos formulados y desarrollados, se les realizaron pruebas de estabilidad, se les evaluó la capacidad de los ingredientes para mantener la calidad del producto durante su vida útil; adicionalmente se realizaron pruebas con un panel sensorial para evaluar el aspecto, aroma, sabor y textura, dando como resultado una experiencia sensorial satisfactoria para el consumidor.



Fig. 1. Desarrollo de panel sensorial.

Desarrollo

Tipos de lactosuero. El lactosuero es un subproducto líquido que se puede clasificar en diferentes tipos según su origen y procesamiento.

• Según su origen del lactosuero, se clasifica en:

1. Lactosuero dulce. Se genera a través de la precipitación de las proteínas por hidrólisis específica de la k-caseína, mediante coagulación enzimática. Su pH es similar al de la leche original y no experimenta cambios significativos en su contenido mineral. Un lactosuero dulce, proviene de la fabricación de quesos de pasta cocida y prensada (vaca) y quesos de ovejas; es pobre en ácido láctico, en calcio y fósforo; el pH es mayor a 6.0 y presentan niveles de grados Dormic mayores a 50°D.

2. Lactosuero ácido. Se genera a partir del sobrante obtenido después de la coagulación ácida o láctica de la caseína. Presenta un pH cercano a 4.5 debido a la producción de ácido láctico y alto contenido de minerales (más del 80% de los minerales de la leche de partida) y presentan niveles de Grados Dormic inferiores a 20°D. [1]

• Según su procesamiento, el lactosuero se clasifica en:

1. Lactosuero dulce desmineralizado. Es un producto obtenido a partir de la eliminación de minerales del suero lácteo pasteurizado. Se pueden alcanzar niveles de desmineralización del 25%, 50% y 90%. El producto seco no debe contener más del 7% de cenizas. La desmineralización se logra a través de técnicas de separación físicas como precipitación, filtración o diálisis. Además, se puede ajustar la acidez del suero lácteo desmineralizado mediante la adición de ingredientes de pH adecuado y seguro [2].

2. Lactosuero desproteínizado. El polvo del suero desproteínizado es elaborado mediante un proceso llamado ultrafiltración, en el cual se remueve una parte de la proteína del suero dulce. El resultado es un producto seco que contiene más del 80% de lactosa [3].

3. Lactosuero concentrado. El lactosuero concentrado es aquel en el que se ha eliminado parte del contenido de agua del suero para obtener una mayor concentración de nutrientes y compuestos bioactivos. Este proceso de concentración puede llevarse a

cabo mediante diferentes métodos, como la evaporación, la ultrafiltración o la ósmosis inversa. El resultado es un lactosuero con mayor densidad y contenido de nutrientes, lo que lo hace adecuado para su uso en la fabricación de productos lácteos, alimentos funcionales y suplementos nutricionales [4].

Composición química y calidad nutricional del lactosuero.

El lactosuero, derivado de la producción de queso, presenta una variada composición química que lo distingue como una fuente valiosa de nutrientes. En términos generales, representa aproximadamente el 55% de los nutrientes principales presentes en la leche, incluyendo un 96% de lactosa (46 g/L a 52 g/L), un 25% de proteínas (6 g/L a 10 g/L) y un 8% de materia grasa (5 g/L) [5].

Debido a la variabilidad en la composición del suero, es importante evaluar su calidad técnica y funcional, así como su valor biológico. Esto permitirá optimizar su uso en diferentes tecnologías y adaptar su procesamiento a las condiciones específicas de cada quesería regional.

La calidad nutricional del lactosuero se destaca por su contenido de proteínas, lactosa, grasa y minerales, especialmente calcio y fósforo. Las proteínas del lactosuero exhiben un valor biológico excepcional, superando al de las proteínas del huevo y la soya. La lactosa, componente mayoritario y sus derivados prebióticos, promueven el crecimiento de microorganismos beneficiosos para la salud. La fracción lipídica, rica en ácidos grasos poliinsaturados, contribuye a sus propiedades funcionales y bioactivas.

Lactosuero como residuo industrial y su impacto ambiental.

Aproximadamente el 47% de los 115 millones de toneladas de lactosuero producido anualmente a nivel mundial se desecha en el medio ambiente, lo que representa una pérdida significativa de una valiosa fuente de alimentación y contribuye a problemas de contaminación ambiental [6].

El lactosuero contiene una alta carga orgánica, con valores de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) entre 40,000-60,000 mg/L y Demanda Química de Oxígeno (DQO) de 50,000-80,000 mg/L. Estos niveles elevados de contaminantes orgánicos hacen que el lactosuero sea una fuente significativa de contaminación del agua si no se trata adecuadamente [7].

Algunas soluciones propuestas para minimizar el impacto ambiental de este subproducto son:

- Tratamiento eficiente. Implementar tecnologías avanzadas de tratamiento para reducir la carga orgánica del lactosuero antes de su descarga al medio ambiente.
- Recuperación de componentes valiosos. Desarrollar procesos que permitan la recuperación de componentes valiosos del lactosuero, como la lactosa, proteínas y minerales, para su uso en la industria alimentaria u otros sectores.

- Reutilización y Reciclaje. Explorar opciones para la reutilización y reciclaje del lactosuero en la producción de alimentos u otros productos, minimizando así el desperdicio.

METODOLOGÍA

El lactosuero es un líquido que se obtiene durante la elaboración del queso, después de la separación y eliminación de la caseína de la leche. Tiene un color amarillo verdoso translúcido, aunque puede variar dependiendo de la calidad y tipo de leche utilizada. Aunque no es apto para ser comercializado directamente como suero líquido, el lactosuero es altamente valorado por sus propiedades y composición, siendo utilizado como medio de cultivo en diversos procesos fermentativos. El Codex-Alimentarius define el suero como el fluido resultante de la separación de la cuajada durante la fabricación del queso [8].

Método de estudio. Se considera una investigación de tipo retrospectiva porque se toman como referencia estudios anteriores relacionados al aprovechamiento del lactosuero para el desarrollo de nuevos productos. También es del tipo experimental por tener como objeto de estudio la formulación, desarrollo y aceptación de productos en los cuales se incluya el lactosuero como materia prima con la finalidad de recuperar este desecho y darle una vida útil dentro de los procesos productivos industriales.

Desarrollo de productos alimenticios. La metodología utilizada para el desarrollo de los productos alimenticios se hizo bajo la aplicación de protocolos estandarizados en este caso se utilizó el protocolo USA.

Producto 1 Yogur

Caracterización del lactosuero para Yogur. A la muestra de lactosuero se le realizaron pruebas fisicoquímicas para determinar de qué composición partíamos para la formulación de yogur. Se realizó una medición por triplicado para conocer el pH de las muestras. Posteriormente se realizó una caracterización instrumental por medio de un analizador de leche marca Aczet, modelo Ultrasonic Milk Analyzer (Milk Pro+).



Fig. 2. Analizador de leche modelo Ultrasonic Milk Analyzer

Desarrollo de Yogur. Para el desarrollo de yogur nos basamos en la formulación genérica para preparación de yogur, el objetivo era sustituir la mayor cantidad de leche líquida de la fórmula original, por lactosuero dulce, sin generar cambios en las características organolépticas del mismo. Se probaron tres formulaciones de yogur:

- Formulación 1: Integración de 40% de lactosuero
- Formulación 2: Integración de 60% de lactosuero
- Formulación 3: Integración de 50% de lactosuero

Los ingredientes de la fórmula base para la preparación de yogur son: leche líquida, leche en polvo y cultivo bacteriano Selection Mild 1.

El proceso general de preparación y desarrollo de los tres prototipos de yogur se resumen en: Pasteurización del lactosuero, mezcla de leches, homogeneización de la mezcla, adición del cultivo bacteriano, incubación y fermentación de la mezcla.

Los tres prototipos desarrollados fueron analizados en un Viscosímetro Brookfield DVE, para observar la relación de viscosidad con el contenido de lactosuero en fórmula.



Fig. 3. Elaboración de Yogur.

Producto 2 Sorbete

Caracterización del lactosuero para Sorbete. A la muestra de lactosuero se le realizaron pruebas físicoquímicas para determinar de qué composición partíamos para la formulación de sorbete.

- Se realizó la medición de pH de la muestra de lactosuero usando un potenciómetro portátil.
- Se midieron los grados Brix de la muestra de lactosuero usando un refractómetro portátil.

Desarrollo de Sorbete. Para el desarrollo de sorbete nos basamos en la formulación genérica para preparación de sorbete, el objetivo era sustituir la mayor cantidad de leche líquida de la fórmula original, por lactosuero dulce, sin generar cambios en las características organolépticas del mismo. Se probaron tres formulaciones de sorbete:

- Formulación 1: Sustitución de 50% de leche líquida en fórmula por lactosuero
- Formulación 2: Sustitución de 60% de leche líquida en fórmula

por lactosuero

- Formulación 3: Sustitución de 100% de leche líquida en fórmula por lactosuero

Los ingredientes de la fórmula base para la preparación de sorbete son: leche líquida, leche en polvo, yema de huevo, azúcar, saborizante y estabilizador HERMEL F1146-L.

El proceso general de preparación y desarrollo de los tres prototipos de sorbete se resumen en: Pasteurización del lactosuero, mezcla de leches, homogeneización de la mezcla, incorporación de yemas de huevo, mantecación y almacenamiento de la mezcla.



Fig. 4. Proceso de elaboración de sorbete.

Producto 3 Bebida hidratante

Para el desarrollo de las bebidas hidratantes partimos de la riqueza de componentes nutricionales del lactosuero para desarrollar una bebida hidratante con base de lactosuero, el objetivo era integrar los sabores más estables y adecuados a la naturaleza del lactosuero ácido. Se probaron tres formulaciones de bebidas:

- Formulación 1: Integración de 50% de lactosuero
- Formulación 2: Integración de 70% de lactosuero
- Formulación 3: Integración de 80% de lactosuero

Los ingredientes de la fórmula base para la preparación de bebidas hidratantes son: agua, azúcar, saborizante, colorante y lactosuero.

El proceso general de preparación y desarrollo de los tres prototipos de bebida hidratante se resumen en: Pasteurización del lactosuero, mezcla azúcar-agua-lactosuero, homogeneización de la mezcla, incorporación de colorante y saborizante, envasado y refrigeración.

Panel sensorial para prototipos de yogur, sorbete y bebida hidratante

Se conformó un panel sensorial para el análisis de los prototipos, yogur, sorbete y bebida hidratante. Se utilizó una prueba de aceptabilidad afectiva con escala hedónica de 5 puntos para la evaluación de los atributos: sabor, aroma, textura, color y apariencia de las muestras a analizar.



Fig. 5. Bebida hidratante elaborada.

Producto 4 Jabón líquido

Para el desarrollo de los prototipos de jabón líquido partimos de las características del lactosuero (dulce y ácido) para desarrollar un jabón líquido con base de lactosuero, el objetivo era integrar los componentes que con el tiempo proporcionaran mejor estabilidad al producto. Se probaron formulaciones con lactosuero dulce y lactosuero ácido:

Los ingredientes de la fórmula base para la preparación de jabón líquido son: lauril sulfato de sodio, fragancia, hidantoína, TEA (trietanolamina), solución de NaCl al 20%.

El proceso general de preparación y desarrollo de los seis prototipos de jabón líquido se resumen en: Pasteurización del lactosuero, filtración del lactosuero, mezcla de tensoactivos, incorporación de lactosuero y envasado.



Fig. 6. Prototipos de jabón líquido.

Resultados

Los resultados para este estudio están basados en la caracterización de las muestras de lactosuero, el desarrollo de los productos en el laboratorio y el panel sensorial como consumidores de los productos alimenticios.

Producto Yogur. En la Tabla I y II se muestran los parámetros fisicoquímicos evaluados para el lactosuero a utilizar para el desarrollo de los prototipos de yogur.

Tabla I. Medición del PH del lactosuero para yogur.

| | |
|------------|-------------|
| Medición 1 | 6.11 |
| Medición 2 | 6.50 |
| Medición 3 | 6.32 |
| Promedio | 6.31 |

Tabla II. Parámetros fisicoquímicos del lactosuero para yogur.

| Parámetro | Muestra 1 | Muestra 2 | Promedio |
|--------------------------------------|------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Grasa (F) | 0.1% | 0.0% | 0.05% |
| Sólidos No Grasos (SNG) | 7.87% | 9.30% | 8.59% |
| Densidad (D) | 1029 kg/m ³ | 1040.8 kg/m ³ | 1034.9 kg/m ³ |
| Lectura Lactométrica Corregida (CLR) | 31.4 | 37.2 | 34.2 |
| Proteína (P) | 2.8% | 3.4% | 3.1% |
| Lactosa (L) | 4.3% | 5.1% | 4.7% |
| Contenido de Agua Añadida (W) | 3.9% | 0.0% | 1.95% |
| Temperatura (T) | 18.54 °C | 22.02 °C | 20.28 °C |
| Punto de congelación (Fp) | -0.478 °C | -0.568 °C | -0.523 °C |
| Sales (SI) | 0.60% | 0.70% | 0.65% |

En la Tabla III se evidencia la relación de concentración de lactosuero respecto a la viscosidad, la cual es inversamente proporcional.

Tabla III. Resultados de la viscosidad para tres prototipos de yogur.

| Concentración de Lactosuero (%v/v) | Viscosidad (mPa.S) |
|------------------------------------|--------------------|
| 40 | 649.5 |
| 50 | 340.2 |
| 60 | 288.0 |

En la Figura 7 se muestra los resultados comparativos de las formulaciones de yogur evaluadas por el panel sensorial, siendo la muestra A la formulación 1 (40%), la muestra B la formulación 3 (50%) y la muestra C la formulación 2 (60%).

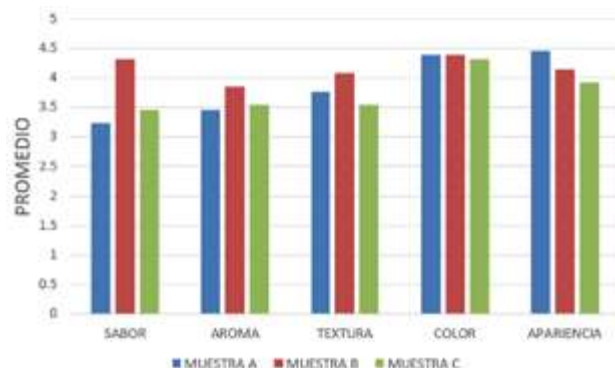


Fig. 7. Gráfica comparativa de atributos sensoriales para las tres muestras de yogur formuladas

En la Figura 8 se muestran los resultados comparativos de la formulación con lactosuero mejor aceptada, Muestra B, formulación 3, 50%, con respecto a una muestra de yogur comercial.

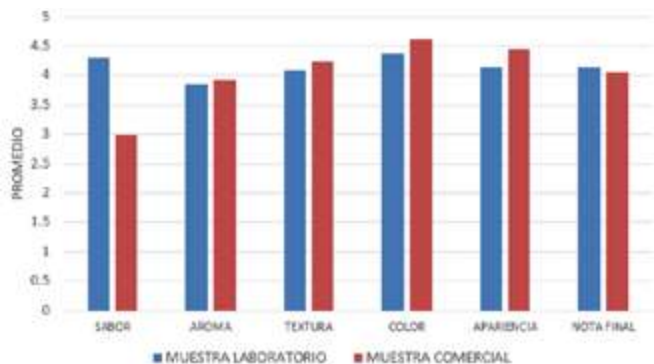


Fig. 8. Gráfica comparativa de los atributos de la muestra de yogur seleccionada contra una muestra de yogur comercial

Producto sorbete. Los resultados de la caracterización de la muestra de lactosuero para la formulación de sorbete se presentan en la Tabla IV.

Tabla IV. Parámetros fisicoquímicos del lactosuero para sorbete.

| Variable | Valor |
|-------------|-------|
| pH | 6.7 |
| Grados Brix | 5.2 |

De las formulaciones generadas, se optó por seleccionar la muestra con formulación de 100% de sustitución de leche líquida por lactosuero, ya que tenía mejor consistencia y mejores parámetros sensoriales. Esta muestra se contrastó con una elaboración de sorbete sin la inclusión de lactosuero en fórmula. En la Tabla V se evidencian los resultados de los parámetros medidos.

Tabla V. Caracterización de sorbetes formulados.

| Muestra | pH | Grados Brix |
|--|------|-------------|
| Sorbete sin lactosuero en fórmula | 6.85 | 33.27 |
| Sorbete con sustitución de 100% leche por lactosuero | 6.20 | 22.63 |

En la Figura 9 se muestran los resultados de los atributos sensoriales de las muestras de sorbete evaluadas por el panel sensorial.

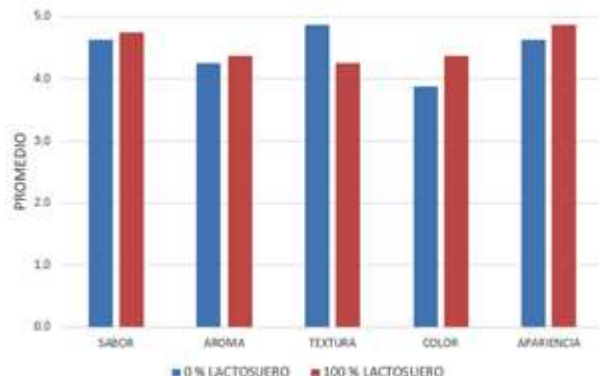


Fig. 9. Gráfica comparativa de los atributos de la muestra de sorbete seleccionada y sorbete sin lactosuero

Producto bebida hidratante. Los resultados de la caracterización de la muestra de lactosuero para la formulación de una bebida hidratante se presentan en la Tabla VI.

Tabla VI. Parámetros fisicoquímicos del lactosuero bebida hidratante.

| Variable | Valor |
|-------------|-------|
| pH | 4.47 |
| Grados Brix | 7.7 |

En la Figura 10 se muestran los resultados de los atributos sensoriales de las muestras de bebida hidratante sabor mandarina, siendo la muestra A la formulación 2 (70%), la muestra B la formulación 3 (80%) y la muestra C la formulación 1 (50%).

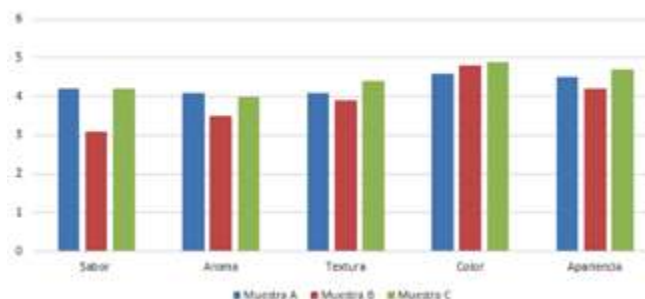


Fig. 10. Gráfica comparativa de los atributos sensoriales de las tres formulaciones de bebida hidratada sabor mandarina

Producto jabón líquido. Los resultados de la caracterización de las muestras de lactosuero pasteurizado (1 y 2) y del fermento de lactosuero para la formulación de jabón líquido se presentan en la Tabla VII.

Tabla VII. Resultado de análisis fisicoquímicos de lactosuero dulce.

| Parámetro | Pasteurizado 1 | Pasteurizado 2 | Fermento de lactosuero |
|------------------------|----------------|----------------|------------------------|
| pH | 5.3 | 5.4 | 5.3 |
| Grasa | 0% | 0% | 0.01% |
| Sólidos no grasos | 8.13% | 8.01% | 8.39% |
| Lactosa | 4.4% | 4.4% | 4.6% |
| Punto de congelamiento | 0.495 °C | 0.487 °C | 0.512 °C |
| Densidad | 1.0301g/mL | 1.0296 g/mL | 1.031 g/mL |
| Proteína | 2.9% | 2.9% | 3.0% |
| Sales | 32.5% | 32% | 33.5% |
| Agua | 0.7% | 2.2% | 0% |

En la Tabla VIII se muestran los resultados de los parámetros de calidad medidos de los diferentes prototipos de jabón líquido.

Tabla VIII. Pruebas de calidad de prototipos base de lactosuero dulce

| Prueba | Prototipo 1 | Prototipo 2 | Prototipo 3 |
|---------------|-------------------------------|---|---|
| pH | 7.9 - 8.1 | 5.0 - 5.5 | 5.1 - 5.4 |
| Espumabilidad | Abundante | Poca | Poca |
| Untuosidad | Buena | Mala | Buena |
| Aspecto | Líquido, viscoso y traslúcido | Líquido fluido con presencia de natas y ligas | Líquido viscoso, con presencia de natas y ligas |
| Olor | Característico | Característico | Característico |

| Prueba | Prototipo 4 | Prototipo 5 |
|---------------|-------------------------|--|
| pH | 4.8 - 7.3 | 7.6 - 7.7 |
| Espumabilidad | Buena | Buena |
| Untuosidad | Buena | Buena |
| Aspecto | Líquido turbio, viscoso | Líquido viscoso, traslúcido, sin presencia de natas o sedimentos |
| Olor | Rancio | Característico |

Los resultados de la caracterización de las muestras de lactosuero pasteurizado ácido para la formulación de jabón líquido se presentan en la Tabla IX.

Tabla IX. Análisis fisicoquímico a muestras de lactosuero ácido

| Parámetro | Pasteurizado ácido |
|------------------------|--------------------|
| pH | 5.0 |
| Grasa | 0.1% |
| Sólidos no grasos | 8.96% |
| Lactosa | 4.9% |
| Punto de congelamiento | 0.55 °C |
| Densidad | 1.0331g/mL |
| Proteína | 3.2% |
| Sales | 35.8% |
| Agua | 0.0% |

En la Tabla X se muestran los resultados de los parámetros de calidad medidos del prototipo de jabón líquido base lactosuero ácido.

Tabla X. Pruebas de calidad de prototipo base lactosuero ácido

| Prueba | Prototipo 6 |
|---------------|---------------------------------------|
| pH | 6.7 |
| Espumabilidad | Buena |
| Untuosidad | Buena |
| Aspecto | Líquido viscoso, opaco, con sedimento |
| Olor | Fuerte olor a rancio |

Resultados del producto jabón líquido

La expectativa inicial de desarrollar un jabón líquido a partir de lactosuero ácido no fue viable. Se observó que la formulación más estable se logró con lactosuero dulce. De los 6 prototipos formulados y probados, el prototipo #5 desarrollado con lactosuero dulce, fue el que presentó mejores condiciones y estabilidad.

Conclusiones

- Producto Yogur. La incorporación de lactosuero dulce en la formulación de yogur natural demostró ser aceptable, tanto desde el punto de vista de la fórmula como del panel sensorial, logrando un equilibrio efectivo en una proporción del 50%. El prototipo resultante exhibió las características deseadas comparables a las de un yogur comercial estándar, evidenciando un desarrollo satisfactorio de las cepas lácticas involucradas. Aunque se observó que el período de fermentación fue ligeramente prolongado en comparación con el proceso convencional de yogur sin lactosuero, este ajuste es manejable y no compromete significativamente la viabilidad del producto.
- Producto Sorbete. La capacidad de sustituir por completo la leche líquida por lactosuero dulce en fórmula, sin comprometer la calidad ni las propiedades sensoriales del sorbete, emerge como una estrategia de gran relevancia, no solo desde el punto de vista económico al reducir significativamente los costos en la formulación y desarrollo del producto, sino también por haber logrado una estabilidad en la mantecación y obtener un sorbete que cumpla con todas las características organolépticas deseadas. Este hallazgo no solo representa un avance significativo en la optimización de recursos en la producción de sorbetes, sino que también abre una vía aplicable y promisorio en las industrias lácteas para el aprovechamiento eficiente del lactosuero.
- Producto Bebida Hidratante. La elección estratégica de sabores que contrarresten la naturaleza láctea del lactosuero no solo mejora la aceptación sensorial del producto, sino que también diversifica las opciones disponibles en el mercado de bebidas hidratantes. Además, el valor nutricional agregado derivado de los nutrientes presentes en el lactosuero, lo posiciona como una alternativa atractiva y funcional para los consumidores de estas bebidas. En términos económicos, su bajo costo de producción proporciona una ventaja competitiva, lo que representa una oportunidad valiosa para incursionar y destacar en el mercado de bebidas hidratantes.
- Producto Jabón Líquido. A pesar de la expectativa inicial de desarrollar un jabón líquido a partir de lactosuero ácido, se observó que la formulación más estable se lograba con lactosuero dulce. Este enfoque resultó en la creación de un producto aceptable para el público, destacando tanto por su estabilidad fisicoquímica como por su aceptación sensorial.

- La adaptación de la formulación para aprovechar las propiedades específicas del lactosuero, contribuyó al éxito del proyecto, subrayando la importancia de considerar la naturaleza intrínseca de los ingredientes en la formulación de productos innovadores.
- El lactosuero, considerado un residuo problemático, ha experimentado una transformación notable gracias a las tendencias tecnológicas actuales. Este artículo destaca la importancia de su aprovechamiento en campos como la nutrición, salud y biotecnología, resaltando sus propiedades nutricionales. La revisión de literatura especializada y el trabajo de laboratorio desarrollado, confirma la diversificación de aplicaciones y la oportunidad de aprovechamiento de este subproducto lácteo como un recurso valioso en la industria alimentaria salvadoreña.
- Realizar un seguimiento continuo al desarrollo de bebidas saborizadas a partir de lactosuero dulce, ya que representan una opción potencialmente beneficiosa como productos alimenticios de bajo costo. Este monitoreo permitirá evaluar la aceptación del mercado, ajustar las formulaciones según sea necesario y explorar oportunidades adicionales para la mejora y diversificación del producto. Dada la naturaleza económica de la propuesta, mantenerse informado sobre las tendencias del mercado y las preferencias del consumidor, puede ser esencial para maximizar el impacto y la viabilidad comercial de las bebidas saborizadas con lactosuero dulce.
- Se recomienda llevar a cabo una cuidadosa selección de los productos químicos utilizados en la formulación de jabón líquido, asegurándose de elegir aquellos que sean compatibles con el lactosuero. Esta consideración es esencial para obtener el producto deseado con estabilidad y propiedades físico-químicas óptimas. Se sugiere realizar pruebas y análisis específicos para determinar la compatibilidad de los ingredientes químicos con el lactosuero, contribuyendo así a la formulación de un jabón líquido estable y aceptable desde el punto de vista del consumidor

Recomendaciones

- Mantener una cadena de frío efectiva durante el almacenamiento del lactosuero. La preservación de bajas temperaturas es de vital importancia para prevenir la descomposición, asegurando así su calidad y permitiendo su utilización prolongada en la formulación y pruebas de laboratorio durante el desarrollo de los productos requeridos. Garantizar condiciones de almacenamiento adecuadas, no solo preserva las propiedades fisicoquímicas del lactosuero, sino que también contribuye a la consistencia y reproducibilidad de los resultados en el proceso de desarrollo de productos.
- Realizar la caracterización individual de cada muestra de lactosuero, ya que es fundamental comprender la naturaleza específica de este insumo. Aunque las muestras provengan de la misma industria o proceso, las transformaciones que experimenta pueden variar. Por lo tanto, se sugiere llevar a cabo pruebas y análisis específicos según la aplicación prevista. Esta práctica permitirá una comprensión más precisa de las propiedades y composición de cada muestra, facilitando la toma de decisiones informadas en el diseño y desarrollo de productos específicos. La individualización en la caracterización contribuirá a optimizar el uso y aprovechamiento del lactosuero en diversas aplicaciones industriales.
- Realizar investigaciones centradas en la reducción del tiempo de fermentación en el desarrollo de yogur, cuando se incluye el lactosuero en la fórmula. La optimización de este proceso es crucial, ya que representa un punto clave para mejorar la eficiencia y rentabilidad del producto final. La investigación específica sobre cómo acortar el tiempo de fermentación, no solo contribuirá a aumentar la eficacia del proceso de producción, sino que también puede tener un impacto significativo en la viabilidad económica del proyecto. La búsqueda de alternativas para agilizar este paso específico del proceso de yogur con lactosuero puede ser fundamental para maximizar los beneficios en términos de tiempo y recursos.

Referencias

- [1] J. Callejas Hernández, et al. (2012). "Caracterización fisicoquímica de un lactosuero: potencialidad de recuperación de fósforo", *Acta Universitaria*, vol. 22, nº 1, pp. 11-18, Ene./Feb. 2012. [En línea]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/416/41623193002.pdf>
- [2] EccoFeed, "suero de leche desproteinizado", EccoFeed. 2023. Accedido: 12 de enero 2024 [En línea]. Disponible en: <https://www.eccofeed.com/es/product/suero-de-leche-desproteinizado/>
- [3] Dairy Export Council. "Think USA Dairy", Accedido: 12 de enero 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.thinkusadairy.org/>
- [4] Dairy, «Ingredientes y proteína del suero letero» U.S. Dairy Export Council, 2017. Accedido: 12 enero 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.thinkusadairy.org/es/inicio/productos-lacteos-estadounidenses/ingredientes-y-proteina-de-suero-lacteo/>
- [5] J. S. Yadav. et al., "Cheese whey: Apotential resource to transform into bioprotein, functional/nutritional proteins and bioactive peptides" *Biotechnology Advances*, vol. 33, nº 6, pp. 756-774, 2015. doi: <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2015.07.002> [En línea]. Disponible en: <https://acortar.link/1iJ7wl>
- [6] R.M. Ben-Hassan, A. E. Ghaly, "Continuous propagation of *Kluyveromyces fragilis* in cheese whey for pollution potential reduction", *Applied Biochemistry and Biotechnology*, vol. 47, pp. 89-105, 1994. [En línea]. Disponible en: <https://link.springer.com/article/10.1007/BF02788678#citeas>
- [7] D. Fournier, J. P. Schwitzguébel y P. Péringer, "Effect of different heterogeneous inocula in acidogenic fermentation of whey permeate", *Biotechnology Letters*, vol. 15, pp. 627-632, 1993. [En línea]. Disponible en: <https://link.springer.com/article/10.1007/BF00138553>
- [8] J. S. Ramirez Navas, "Aprovechamiento Industrial de Lactosuero Mediante Procesos Fermentativos", *Revista Especializada en Ingeniería de Procesos en Alimentos y Biomateriales*, vol. 6, pp.69-83, 2016. [En línea]. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8660041>

ANÁLISIS COMPARATIVO DE VARIABLES CLIMÁTICAS ENTRE UNA VIVIENDA BIOCLIMÁTICA Y UNA CONVENCIONAL DE INTERÉS SOCIAL, CONSTRUIDAS EN EL DEPARTAMENTO DE SAN MIGUEL, EL SALVADOR

Eva Margarita Pineda Luna

*Arquitecta, Docente Investigadora de la Escuela de Ingeniería Civil y Arquitectura. ITCA-FEPADE, Sede Central.
Correo electrónico: eva.pineda@itca.edu.sv*

David Ernesto Chávez Escalante

*Técnico en Ingeniería Civil. Docente Coinvestigador de la Escuela de Ingeniería Civil y Arquitectura. ITCA-FEPADE Sede Central.
Correo electrónico: dchavez@itca.edu.sv*

Recibido: 03/06/2024 - Aceptado: 19/09/2024

Resumen

El objetivo de este estudio fue comparar el comportamiento de variables climáticas entre una vivienda con diseño bioclimático y una vivienda convencional, bajo condiciones ambientales similares; para tal efecto se utilizó equipo automatizado de medición instalado en cada vivienda. Se verificó el nivel de confort interno de ambas viviendas según parámetros estandarizados, con el fin de evaluar y contrastar la eficiencia y el rendimiento de cada tipo de vivienda en términos de adaptabilidad al entorno climático y bienestar de sus ocupantes. La metodología utilizada consta de seis fases, cada fase se enfoca en aspectos específicos, investigación técnica, capacitación, selección de las viviendas, instalación de equipos de medición de variables, recolección de datos y el análisis de los resultados. Se recopiló una base de datos confiable y precisa de las variables de temperatura y humedad relativa durante un período de siete meses, con mediciones tomadas cada quince minutos. Según los resultados se observó que las temperaturas en la vivienda bioclimática son menores en comparación con la vivienda tradicional, con una diferencia promedio de 1.46 grados Celsius. Además, se observó una mayor humedad relativa en la vivienda bioclimática debido a la relación inversa con la temperatura. En cuanto a la medición de iluminación, se encontró que es mayor en la vivienda bioclimática, con una distribución más uniforme y una mayor intensidad lumínica, según mediciones efectuadas con un luxómetro. Los resultados obtenidos de la medición de variables en la vivienda bioclimática y convencional mostraron que el diseño bioclimático favorece el confort interno y la iluminación. En vista de estos hallazgos, se recomienda una mayor exploración y promoción del diseño y construcción de viviendas bioclimáticas.

Palabras clave

Viviendas, bioclimatología, vivienda bioclimática, temperatura, arquitectura y clima, arquitectura - factores climáticos.

COMPARATIVE ANALYSIS OF CLIMATIC VARIABLES BETWEEN A BIOCLIMATIC HOUSE AND A CONVENTIONAL SOCIAL INTEREST HOUSE, BUILT IN THE DEPARTMENT OF SAN MIGUEL, EL SALVADOR

Abstract

The objective of this study was to compare the behavior of climatic variables between a bioclimatic house and a conventional house under similar environmental conditions. For this purpose, automated measuring equipment was installed in each house. The internal comfort level of both houses was verified according to standardized parameters to evaluate and contrast the efficiency and performance of each type of house in terms of adaptability to the climate and the well-being of its occupants. The methodology used consisted of six phases, each focusing on specific aspects: technical research, training, selection of the houses, installation of variable measurement equipment, data collection, and analysis of the results. A reliable and accurate database of temperature and relative humidity variables was compiled over a period of seven months, with measurements taken every fifteen minutes. The results showed that the temperatures in the bioclimatic house were lower than those in the traditional house, with an average difference of 1.46 degrees Celsius. Additionally, a higher relative humidity was observed in the bioclimatic house due to its inverse relationship with temperature. Regarding lighting measurements, it was found that the bioclimatic house has greater illumination, more uniform distribution, and higher light intensity, according to measurements taken with a lux meter. The results obtained from measuring variables in bioclimatic and conventional houses showed that the bioclimatic design favors internal comfort and lighting. Considering these findings, further exploration and promotion of bioclimatic housing designs are recommended.

Keyword

Houses, bioclimatology, bioclimatic house, temperature, architecture and climate, architecture - climatic factors.

Introducción

El clima influye significativamente en el diseño de nuestras viviendas, afectando tanto el bienestar como la eficiencia energética. Las viviendas bioclimáticas, que se adaptan al entorno climático, emergen como soluciones prometedoras para alcanzar la sostenibilidad y el confort habitacional. Este estudio se centra en la Zona Oriental de El Salvador, donde presenta una alta variabilidad climática.

Estudios realizados en El Salvador por el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN) indican una tendencia al incremento de la temperatura promedio, de más o menos 1.2 grados centígrados en los últimos 40 años. [4] Debido a estos cambios en las temperaturas, las viviendas generan dentro de ellas un efecto invernadero, y en algunas ocasiones la temperatura interna es más alta que la externa del ambiente.

La investigación busca comparar el comportamiento de las variables climáticas, temperatura, humedad relativa e iluminación interna, entre la vivienda bioclimática diseñada por la carrera de Arquitectura de ITCA-FEPADE y construida por Hábitat para la Humanidad El Salvador y una vivienda convencional. Se analizó cómo el diseño, posición de la vivienda y dirección del viento intervienen en las variables climatológicas; se investigó si el diseño, criterios bioclimáticos aplicados y materiales utilizados en la vivienda bioclimática, lograron los objetivos para mejorar la calidad de vida de las personas en un ambiente más confortable. Se monitorearon las viviendas durante siete meses utilizando mediciones automatizadas para obtener datos precisos y en tiempo real.

Los resultados mostraron que la vivienda bioclimática mantenía temperaturas más confortables, mejor iluminación natural y niveles de humedad relativa más estables en comparación con la vivienda convencional. Los habitantes de la vivienda bioclimática reportaron mayor comodidad y satisfacción. Este estudio subraya la importancia de diseños arquitectónicos adaptados al clima local para desarrollar soluciones habitacionales más resilientes y sostenibles, mejorando así la calidad de vida y reduciendo el impacto ambiental.

Para optimizar el diseño bioclimático, es fundamental entender y cuantificar los factores climáticos que influyen en el comportamiento del clima en una región específica. Los factores climáticos, definidos como condiciones físicas que determinan el clima de una región, incluyen la latitud, altitud, continentalidad y relieve natural y artificial.

Comprender estos factores permite mejorar el confort térmico y la eficiencia energética en proyectos de diseño bioclimático. [1]

Las variables climáticas fundamentales incluyen la lluvia, temperatura, humedad relativa, aire, viento, topografía y suelo, cada una influyendo de manera significativa en el entorno y el diseño arquitectónico.

Comprender y cuantificar estas variables es esencial para optimizar el diseño bioclimático, mejorando así el confort térmico y la eficiencia energética de las edificaciones. [2]

A. Clima en El Salvador y San Miguel

El Salvador, ubicado en la parte norte del cinturón tropical terrestre, experimenta influencias climáticas significativas de los vientos del noreste durante octubre y noviembre. Según la altitud, El Salvador se divide en tres zonas térmicas distintas, cada una con un promedio de temperatura ambiente específico a lo largo del año. La temperatura promedio disminuye con la altura, variando desde 28°C en las planicies internas (0-800m) hasta 10°C en valles y hondonadas por encima de los 1,800 metros. [3]

En la figura 1 se muestra el mapa del clima de El Salvador, Azul, menos de 12 °C / Celeste, de 12 a 20 °C / Amarillo, de 21 a 30 °C y Rojo, más de 30 °C.

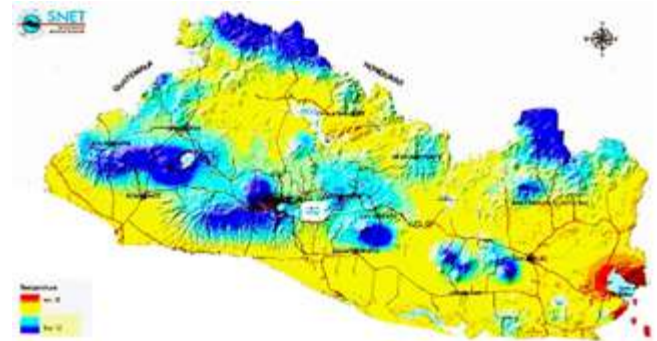


Figura 1. Zonas climáticas de El Salvador

Fuente: <https://www.elsalvadormipais.com/zonas-climaticas-de-el-salvador>

San Miguel, clasificado como un clima tropical según la clasificación climática de Köppen-Geiger, experimenta precipitaciones significativamente superiores durante los veranos en comparación con los inviernos. La temperatura media registrada es de 27.4 °C, con una precipitación anual aproximada de 1806 mm. La fluctuación de la temperatura anual es de alrededor de 3.9 °C. En términos de humedad relativa, septiembre presenta el nivel más alto (84%), mientras que febrero registra el nivel más bajo (47%). Además, septiembre tiene el mayor número de días de lluvia (19), en contraste con enero y febrero, que tienen el menor número de días húmedos (0).

Tabla 1. Datos climáticos de San Miguel.

| | Enero | Febrero | Marzo | Abril | Mayo | Junio | Julio | Agosto | Septiembre | Octubre | Noviembre | Diciembre |
|------------------------|-------|---------|-------|-------|------|-------|-------|--------|------------|---------|-----------|-----------|
| Temperatura media (°C) | 27.4 | 26.8 | 26.0 | 25.8 | 27.7 | 28.9 | 27.4 | 27.2 | 26 | 25.8 | 25.8 | 27 |
| Temperatura máx. (°C) | 31.7 | 32.8 | 32.5 | 32.8 | 34.4 | 35.4 | 34.4 | 33.8 | 33 | 32.8 | 32.8 | 32.8 |
| Temperatura mín. (°C) | 24.1 | 24.9 | 24.9 | 24.6 | 24.4 | 24.4 | 24.4 | 24.6 | 24.6 | 24.6 | 24.6 | 24.6 |
| Precipitación (mm) | 1 | 2 | 19 | 42 | 101 | 109 | 191 | 248 | 312 | 343 | 89 | 7 |
| Humedad (%) | 49% | 47% | 48% | 51% | 72% | 80% | 78% | 76% | 84% | 84% | 72% | 58% |
| Días húmedos (días) | 0 | 0 | 2 | 7 | 16 | 14 | 19 | 20 | 20 | 19 | 7 | 1 |
| Wettest (mm) | 0.1 | 0.2 | 16.5 | 34.2 | 9.4 | 9.1 | 16.6 | 4.1 | 4.2 | 4.1 | 9.4 | 0.6 |

Fuente. Data: 1991 - 2021 Temperatura min. y máx. (°C), Precipitación (mm), Humedad (%), Días Lluviosos.

Desarrollo

METODOLOGÍA

Para llevar a cabo la investigación se empleó una metodología cuasi-experimental con enfoque cuantitativo. Este enfoque permitió evaluar de manera precisa y sistemática el comportamiento de las variables temperatura, humedad relativa e iluminación en ambas viviendas. Las 6 fases del estudio fueron las siguientes: Fase 1: Investigación Técnica. Fase 2: Capacitación. Fase 3: Recopilación de información técnica. Fase 4: Análisis de datos. Fase 5: Realizar informe. Fase 6: Difusión del proyecto.



Diagrama 1. Esquema metodológico de la investigación. Fuente. Elaboración propia, 2024

Resultados

A. Descripción de medición de datos de temperatura y humedad relativa.

Se realizaron mediciones de variables climáticas en dos áreas de cada una de las viviendas, un dormitorio y una zona conjunta de sala, comedor y cocina. Los datos recolectados entre julio de 2023 y enero de 2024 fueron organizados en tablas mensuales y semanales, incluyendo un número correlativo, fecha y hora de la medición, temperatura en grados Celsius y humedad relativa. Se obtuvieron un total de seis mil lecturas mensuales de cada una. Los datos fueron capturados mediante registradores de datos electrónicos o dataloggers programados para registrar información cada quince minutos. Este estudio permite comparar el comportamiento climático de ambos tipos de viviendas, proporcionando información clave para el diseño eficiente y confortable de viviendas.

B. Gráficos de datos primarios de temperatura y humedad relativa

Posterior al ordenamiento de las lecturas, se procedió a analizarlas semanal y mensualmente. Se examinó el comportamiento de la temperatura y la humedad relativa en los espacios seleccionados de cada vivienda. Para un análisis estadístico, se calcularon Medidas de Tendencia Central tales como Media, Moda y Mediana y Medidas de Dispersión, incluyendo, Mínimo, Máximo, Rango, Varianza, Desviación Estándar, Desviación Típica y Coeficiente de Desviación, lo cual permitió entender cómo se distribuyen los datos y su homogeneidad. Se utilizaron tres datos estadísticos principales: la Media Aritmética, el Mínimo y el Máximo. Estas medidas se utilizaron para crear gráficas

mensuales que muestran de manera eficiente las variaciones de temperatura y humedad relativa en cada espacio de ambas viviendas, proporcionando información valiosa para la evaluación del confort térmico.

C. Gráficas comparativas de variables de temperatura y humedad relativa

Tras el ordenamiento de las tablas y representaciones gráficas mensuales correspondientes a cada vivienda, se pudo observar la dinámica de las variables investigadas durante el periodo de siete meses de recopilación de datos. Estas representaciones gráficas proporcionaron información más precisa, manejable y susceptible de análisis de datos sobre las condiciones en cada espacio. En tal sentido se presentan resultados comparativos de humedad relativa y temperatura para ambas viviendas.

Gráficos de datos estadísticos de temperatura en sala y dormitorio de vivienda tradicional y bioclimática.



Gráfica 1. Promedios de temperatura de sala casa tradicional y bioclimática. Fuente. Elaboración propia.



Gráfica 2. Promedios de temperatura de dormitorio casa tradicional y bioclimática. Fuente. Elaboración propia.

Las gráficas comparan la temperatura promedio en la sala/comedor/cocina y dormitorio de ambas viviendas, desde julio hasta enero. La vivienda bioclimática mantiene temperaturas más bajas en comparación con la tradicional, lo que indica una mejor eficiencia térmica.

Gráficos de datos estadísticos de humedad relativa en sala y dormitorio de vivienda tradicional y bioclimática.



Gráfica 3. Promedios de humedad relativa de sala casa tradicional y bioclimática. Fuente. Elaboración propia.



Gráfica 4. Promedios de humedad relativa de dormitorio casa tradicional y bioclimática. Fuente: Elaboración propia.

Las gráficas comparan la humedad relativa promedio en los espacios de sala/comedor/cocina y dormitorio de las dos viviendas, desde julio hasta enero. La vivienda bioclimática muestra una humedad relativa generalmente más alta que la tradicional, lo que puede ser indicativo de una mayor retención de humedad debido a diferentes factores, como su diseño, materiales, clima o aislamiento deficiente.

D. Interpretación de resultados de variables de temperatura y humedad relativa

El análisis de las gráficas de temperatura y humedad relativa en viviendas tradicional y bioclimática revela tendencias divergentes en el comportamiento de las variables climáticas.

Temperatura, la vivienda bioclimática mantiene valores más bajos comparados con la tradicional, excepto en el mes de enero, indicando la efectividad del diseño bioclimático. La integración de aberturas estratégicas para la ventilación cruzada contribuye a este efecto. Según datos históricos del MARN, la temperatura promedio en San Miguel es de 28.5°C; la vivienda bioclimática muestra un incremento marginal a 28.85°C, mientras que la tradicional sube a 30.36°C, reflejando un mayor confort térmico en la primera.

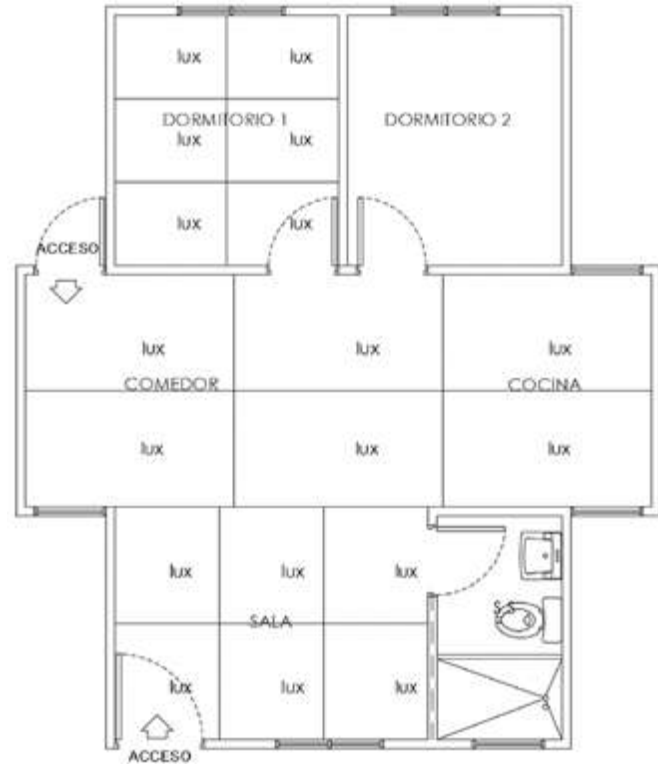
Humedad relativa, la vivienda bioclimática exhibe niveles consistentemente mayores que la tradicional, con una disminución significativa en diciembre y enero, adaptándose mejor a las condiciones secas de la temporada. Factores como el clima húmedo durante el invierno y la ventilación limitada por los usuarios influyen en la alta humedad relativa interior. Según el MARN, la humedad relativa externa promedio es del 70%, siendo 67.88% en la vivienda bioclimática y 64.20% en la tradicional, ambas inferiores al exterior, pero superiores al estándar interior del 60%, afectadas por las condiciones locales de San Miguel.

E. Variable de iluminación interna

El “índice de local” es un factor representado por la letra K obtenida de una fórmula y dado por cuatro condiciones, las cuales son largo y ancho del área, altura de montaje y tipo de iluminación directa o indirecta. Este factor nos sirve para calcular el “coeficiente de utilización” empleado para definir el número mínimo de puntos de medición N del área en estudio.

De cada una de las viviendas analizadas, se utilizaron los planos arquitectónicos para obtener los datos a emplear en la fórmula y así conocer la cantidad mínima de lecturas a realizar por espacio.

En el Plano 1 se muestra la planta arquitectónica de la vivienda bioclimática con las cuadrículas de los puntos de medición de iluminación por área.



Plano 1. Planta arquitectónica casa bioclimática con cuadrícula de puntos de medición de iluminación. Fuente: Elaboración propia.

F. Iluminancia media (E media)

Se calcularon los promedios de los valores obtenidos durante las visitas y se compararon con los estándares de iluminación para espacios residenciales.

$$E \text{ media} = \frac{\Sigma \text{valores medios (Lux)}}{\text{cantidad de puntos medios}}$$

Los datos promedio o “E media” se utilizaron para crear gráficos comparativos de la iluminación en ambas viviendas. Se generaron gráficos por cada espacio, incluyendo la sala, comedor, cocina y dormitorio. Estas representaciones gráficas facilitan la detección de áreas con iluminación deficiente, aspecto esencial para el confort visual de los residentes.

En la gráfica 5 se muestra de forma comparativa la iluminación en sala, comedor y cocina entre vivienda tradicional y vivienda bioclimática.

La comparación entre viviendas muestra que la tradicional presenta iluminación baja y consistente, mientras que la bioclimática exhibe variabilidad significativamente mayor, alcanzando un pico de 364 lux.



Gráfica 5. Comparación de iluminación en sala, comedor, cocina entre vivienda tradicional y climática.
Fuente. Elaboración propia.

G. Análisis comparativo de temperatura, humedad relativa e iluminación de vivienda tradicional y vivienda bioclimática

Temperatura. La comparación entre viviendas bioclimáticas y tradicionales revela temperaturas promedio más bajas en la bioclimática, dormitorio: 28.75°C, sala: 28.96°C, frente a la tradicional dormitorio: 30.32°C, sala: 30.40°C, tal como se muestra en la Tabla 2. La diferencia promedio de 1.5°C, aunque pequeña, impacta significativamente en el confort térmico y el consumo energético. Las viviendas bioclimáticas demuestran eficiencia energética al mantener un ambiente confortable utilizando recursos naturales y minimizando la climatización artificial. Estos hallazgos subrayan la importancia de integrar estrategias bioclimáticas en el diseño de viviendas para mejorar el confort y la calidad de vida.

Tabla 2. Tabla de datos promedios de temperatura
Fuente. Elaboración propia.

| DATOS PROMEDIOS DE TEMPERATURA | | |
|--------------------------------|---------------|--------------|
| Espacio | TBioclimática | Ttradicional |
| Dormitorio | 28.75 | 30.32 |
| Sala | 28.96 | 30.40 |
| Prom. Temperatura | 28.85 | 30.36 |

Humedad relativa. El análisis de datos revela que la vivienda bioclimática tiene un nivel de humedad relativa promedio más alto en el dormitorio 69.62% y la sala 66.15%, en comparación con la vivienda tradicional, dormitorio: 65.21%, sala: 63.19%. La diferencia promedio de humedad relativa de 3.68% sugiere una menor humedad relativa en la vivienda tradicional, en comparación a la bioclimática, pero la variable de humedad relativa responde de forma inversamente proporcional a los datos de temperatura.

Las viviendas bioclimáticas demuestran un equilibrio entre sostenibilidad y confort, resaltando la importancia de principios bioclimáticos en el diseño de viviendas.

Tabla 3. Tabla de datos promedios de humedad relativa.
Fuente. Elaboración propia.

| DATOS PROMEDIOS DE HUMEDAD | | |
|----------------------------|----------------|---------------|
| Espacio | H Bioclimática | H tradicional |
| Dormitorio | 69.62 | 65.21 |
| Sala | 66.15 | 63.19 |
| Prom. Temperatura | 67.88 | 64.20 |

Iluminación. La comparación entre viviendas muestra que la tradicional presenta iluminación baja 39, 16, y 33 lux, mientras que la bioclimática exhibe variabilidad significativa, 119, 364 y 111 lux, alcanzando un pico de 364 lux en el mes de noviembre, sugiriendo mejor captación o distribución de luz. El promedio de iluminancia es significativamente mayor en la vivienda bioclimática, indicando una mejor calidad de iluminación y potencial ahorro energético. Este análisis resalta que la vivienda bioclimática ofrece un entorno favorable para los ocupantes. La iluminancia media se compara con los estándares mínimos para recomendar mejoras en ambas viviendas.

Tabla 4. Tabla de iluminancia media de la vivienda bioclimática y tradicional.
Fuente. Elaboración propia.

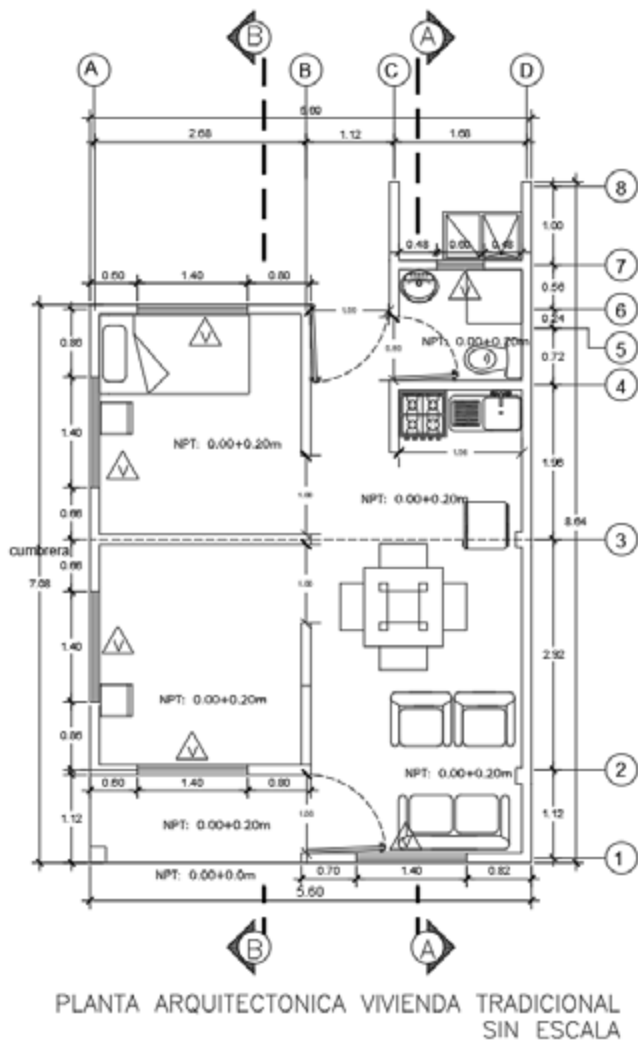
| ILUMINANCIA MEDIA | | | | |
|-------------------|---------------------|--------------------|-------------------|--------------------|
| Espacio | Sala comedor cocina | | Dormitorio 1 | |
| Fecha de visita | Prom. tradicional | Prom. bioclimática | Prom. tradicional | Prom. bioclimática |
| 9/8/23 | 39 | 119 | 0 | 96 |
| 22/11/23 | 16 | 364 | 0 | 185 |
| 15/02/23 | 33 | 111 | 0 | 88 |

H. Propuestas de mejoras al diseño de vivienda tradicional

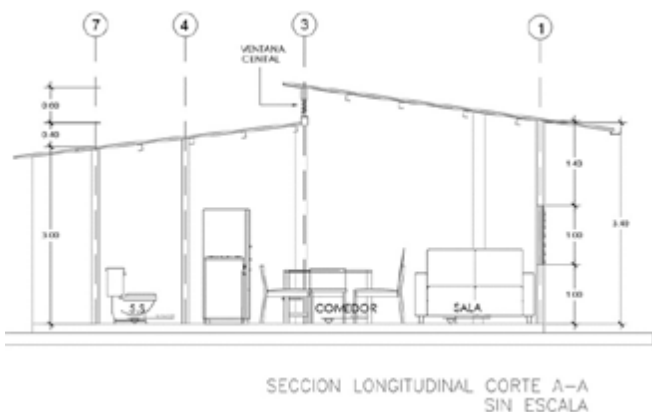
Tras realizar los análisis en la vivienda tradicional, se propone implementar mejoras en la infraestructura para aumentar el confort térmico interno y mejorar la iluminación. Las modificaciones consideran la ubicación actual de la vivienda en el terreno. Se sugiere agregar una ventana adicional en los dormitorios y ampliar las ventanas existentes a 1.40 m de ancho en la sala, comedor, cocina y dormitorios. Estas mejoras facilitarán la circulación cruzada del aire, permitiendo su entrada y salida por ventanas opuestas, promoviendo un flujo constante que reducirá la temperatura interna.

Se propone elevar la cumbrera del techo en 0.60 m para instalar ventanas que permitan una iluminación cenital. Esta medida aumentará la entrada de luz y facilitará la salida del aire caliente, mejorando el confort interno.

Los cambios propuestos se detallan en la planta arquitectónica del Plano 2 y la sección longitudinal Plano 3 muestra las variaciones de alturas.



Plano 2. Propuesta planta arquitectónica, vivienda tradicional. Fuente. Elaboración propia.



Plano 3. Sección longitudinal sala comedor cocina, vivienda tradicional. Fuente. Elaboración propia.

Conclusiones

- La automatización en la toma de datos ha permitido obtener una base de datos que facilitó el análisis eficiente y la generación de representaciones gráficas de calidad.

- Las mediciones muestran que los criterios bioclimáticos pasivos implementados en la vivienda bioclimática, como la ventilación cruzada y la ubicación estratégica de ventanas, contribuyen significativamente al confort interno, resaltando la eficacia del diseño bioclimático.
- La diferencia promedio de temperatura de 1.50°C menor en la vivienda bioclimática indica un cumplimiento exitoso del criterio bioclimático de disminución de temperatura en el diseño.
- Se observa una mayor humedad relativa en la vivienda bioclimática, influenciada por la inversa proporcionalidad entre temperatura y humedad relativa.
- El diseño bioclimático ofrece un mejor control térmico y de humedad relativa, lo que resulta en una mayor comodidad y ahorro energético en comparación con la vivienda tradicional.
- La similitud en las variables climáticas durante ciertos meses sugiere que ciertos factores estacionales pueden afectar ambas viviendas de manera similar, destacando la importancia de considerar el entorno climático en el diseño arquitectónico.
- La iluminación natural en la vivienda bioclimática presenta una distribución más uniforme y una intensidad lumínica superior en comparación con la vivienda tradicional, según los datos obtenidos con el luxómetro.
- La variante de iluminación natural interior de la vivienda tradicional no cumple con los requerimientos mínimos solicitados (100lux) en los estándares de confort visual, lo que causa un mayor uso de energía eléctrica para lograr confort visual.

Agradecimientos

Agradecimientos especiales a Hábitat para la Humanidad El Salvador por el apoyo brindado durante el desarrollo de esta investigación.

Referencias

- [1] R. A. Figueroa Cardoza, "Clasificación de zonas bioclimáticas de El Salvador, sus herramientas y estrategias para diseño urbano-arquitectónico", Tesis de Arquitecto. Esc. Arq., Univ. de El Salv. San Salvador, 2008.
- [2] Dirección General de Observatorio de Amenazas y Recursos Naturales, "Clima en El Salvador", Accedido: 8 de diciembre 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.snet.gob.sv/ver/meteorologia/clima+en+el+salvador/>
- [3] Induanalisis Laboratorio Ambiental, "Calidad del aire", Accedido: 23 enero 2023. Disponible en: https://www.induanalisis.com/publicacion/detalle/variables_climaticas_23

REGISTRO DE HALLAZGOS ARQUEOLÓGICOS Y PROPUESTA DE EXPERIENCIA CULTURAL INNOVADORA EN EL SITIO ARQUEOLÓGICO SAN ANDRÉS, APLICANDO REALIDAD VIRTUAL

Melissa Alejandra Zepeda Mayén

Licenciada en Arqueología. Docente Investigadora de ITCA-FEPADE. Centro Regional Santa Ana.

Correo electrónico: mzepeda@itca.edu.sv

Henry Magari Vanegas Rodríguez

Ingeniero en Sistemas Informáticos, Máster en Liderazgo Gerencial Educativo. Docente Coinvestigador de ITCA-FEPADE. Centro Regional Santa Ana.

Correo electrónico: henry.vanegas@itca.edu.sv

Recibido: 05/06/2024 - Aceptado: 17/07/2024

Resumen

Esta investigación muestra el desarrollo de una colaboración multidisciplinaria que tuvo como objetivo elaborar una propuesta de experiencia cultural virtual del patrimonio arqueológico de El Salvador; estuvo enfocada en el sitio arqueológico San Andrés, ubicado en el valle de Zapotitán, La Libertad. Integra un registro de su arquitectura y una cronología de sus hallazgos arqueológicos a través de un recorrido con inmersión en Realidad Virtual. La iniciativa de diseñar un recorrido virtual en este bien cultural, se encaminó en mejorar la accesibilidad virtual, el conocimiento y la valoración cultural de uno de los parques arqueológicos más significativos del país. El proyecto se realizó en dos grandes áreas, el registro histórico, arqueológico y levantamiento fotográfico del sitio estuvo a cargo de la Escuela de Patrimonio Cultural, en asocio con el Ministerio de Cultura de El Salvador, y el montaje del recorrido virtual por parte de la Escuela de Computación de ITCA-FEPADE con sede en Santa Ana. Se compiló un registro cronológico e histórico de los hallazgos arqueológicos del sitio y un levantamiento fotográfico para el desarrollo del recorrido virtual, que comprende las estructuras piramidales de la Acrópolis y el Museo que conserva el Parque. El recorrido virtual incluye la trayectoria histórica del Parque a partir de fotografías 360x180° y cuenta con información escrita y narrada en idioma inglés y español. Este recurso se encuentra alojado en un servidor web y se podrá acceder de forma gratuita desde cualquier dispositivo móvil o de cómputo a través de un link. El recorrido virtual se entregará como transferencia de tecnología a la Dirección de Patrimonio Cultural, para la difusión nacional e internacional. El proyecto está vinculado con la Proyección Social para el fortalecimiento del acceso al Patrimonio Cultural Salvadoreño por medios digitales, permitiendo promover y difundir el sitio arqueológico San Andrés y su interpretación cultural e histórica.

Palabras clave

Patrimonio cultural, arqueología, realidad virtual, San Andrés (parque arqueológico) - La Libertad, recorrido virtual.

RECORD OF ARCHAEOLOGICAL FINDINGS AND PROPOSAL FOR AN INNOVATIVE CULTURAL EXPERIENCE AT THE SAN ANDRÉS ARCHAEOLOGICAL SITE, APPLYING VIRTUAL REALITY

Abstract

This research presents the development of a multidisciplinary collaboration to create a proposal for a virtual cultural experience of El Salvador's archaeological heritage, focusing on the San Andrés Archaeological Site in the Zapotitán Valley, La Libertad. Through an immersive virtual reality tour, it integrates a record of its architecture and a chronology of its archaeological findings. The initiative to create a virtual tour of this cultural site aims to enhance virtual accessibility, knowledge, and cultural appreciation of one of the country's most significant archaeological parks. The project was carried out in two major areas: the historical and archaeological record and photographic surveying of the site, which was led by the Escuela de Patrimonio Cultural and the Ministry of Culture of El Salvador, and the development of the virtual tour, led by the Escuela de Ingeniería en Computación at ITCA-FEPADE in Santa Ana. A chronological and historical record of the site's archaeological findings was compiled along with a photographic survey for the development of the virtual tour, including the Acropolis' pyramidal structures and the museum preserved in the Park. The virtual tour includes the historical trajectory of the Park through 360°x180° photographs and written and narrated information in both English and Spanish. This resource is hosted on a web server and can be accessed free from any mobile or computing device through a link. The virtual tour will be delivered as a technology transfer to the Directorate of Cultural Heritage for national and international dissemination. The project is linked to social projection efforts to strengthen access to Salvadoran cultural heritage through digital means, promoting and disseminating the San Andrés Archaeological Site and its cultural and historical interpretation.

Keyword

Cultural heritage, archaeology, virtual reality, San Andrés (archaeological park) - La Libertad, virtual tour.

Introducción

Esta investigación surge de la necesidad de proponer un diseño de experiencia cultural por medio de la virtualidad, que genere impacto en la arqueología salvadoreña. En ese sentido, se consideró el sitio arqueológico San Andrés por su alto grado de visitas al año, su trayectoria de investigación y preservación, por ser un referente en mostrar la arquitectura ceremonial durante la época prehispánica en el territorio salvadoreño, y porque actualmente se encuentra en proceso de restauración, para que la apreciación de su arquitectura sea más interpretativa.

El desarrollo de este proyecto multidisciplinario tuvo como objetivo elaborar una propuesta de experiencia cultural del sitio arqueológico San Andrés, que integra un registro de su arquitectura y una cronología de sus hallazgos arqueológicos a través de un recorrido con inmersión en Realidad Virtual.

La iniciativa de diseñar un recorrido virtual en este bien cultural se encaminó en mejorar la accesibilidad virtual, el conocimiento y la valoración cultural de uno de los parques arqueológicos más significativos del país. Se compiló un registro cronológico e histórico de los hallazgos arqueológicos del sitio y un levantamiento fotográfico para el desarrollo del recorrido virtual, que comprende las estructuras piramidales de la Acrópolis y el Museo que conserva el Parque.

El recorrido virtual incluye la trayectoria histórica del Parque a partir de fotografías 360x180°, y cuenta con información narrada en idioma inglés y español. Este recurso se encuentra alojado en un servidor web y se podrá acceder de forma gratuita desde cualquier dispositivo móvil o de cómputo a través de un enlace. El recorrido virtual se entregará como transferencia de tecnología a la Dirección de Arqueología del Ministerio de Cultura para la difusión nacional e internacional.

El recorrido virtual busca posicionar a la arqueología nacional en la cotidianidad de la sociedad actual, el insertarlo en nuevos campos de acción e interacción cultural.

El proyecto involucró el uso de equipo tecnológico para el diseño del recorrido virtual y un trabajo de investigación documental para fortalecer la educación cultural. Incluyó el trabajo de un Focus Group con actores sociales y un acercamiento con la población estudiantil para indagar las diversas maneras de entender o explicar el concepto de patrimonio cultural e identificar estrategias a utilizar para que el concepto patrimonio cultural sea presentado a las nuevas generaciones.

Este proyecto está vinculado con la Proyección Social para el fortalecimiento del acceso al Patrimonio Cultural Salvadoreño por medios digitales, permitiendo promover y difundir el sitio arqueológico San Andrés y su interpretación cultural e histórica.

En este artículo se exponen los resultados del proyecto en sus diferentes apartados, tanto desde el registro documental, arqueológico y social, así como el funcionamiento del recorrido, la disposición del recurso virtual y recopilación de datos in-situ.

Desarrollo

METODOLOGÍA

El proyecto de investigación aplicada desarrolló un método cualitativo y multidisciplinario, el cual buscó analizar el patrimonio del sitio arqueológico San Andrés; vinculó como herramienta de difusión, promoción y conservación del patrimonio cultural el área de las Tecnologías de la Información y Comunicaciones TIC. Este proyecto multidisciplinario involucró las áreas Patrimonio Cultural e Ingeniería en Computación de ITCA-FEPADE Centro Regional Santa Ana.

El proyecto se desarrolló en tres etapas:

Primera Etapa. Esta etapa se basa en la documentación histórica y arqueológica, donde se describen los diversos hallazgos del vestigio arqueológico San Andrés. La compilación de los datos históricos se realizó por medio de fuentes escritas, publicaciones y artículos de revistas, informes arqueológicos, planos topográficos, entrevistas y archivos oficiales.

Segunda Etapa. Consistió en el trabajo de campo, en el cual se realizó el registro fotográfico 360x180° de la zona arqueológica de San Andrés, misma que comprende las estructuras piramidales de la Acrópolis y el museo que el sitio conserva. Se crearon contenidos visuales, audios y videos para incorporarlos en el montaje y funcionamiento del Recorrido virtual.

Tercera Etapa. Esta se concentró en el desarrollo de un Focus Group para recopilar información sobre cómo elaborar la experiencia cultural del sitio arqueológico San Andrés; se contó con el aporte de actores sociales para conocer su punto de vista en el tema del contenido, diseño y funcionamiento del Recorrido virtual. Con estos aportes se realizó el diseño final del Recorrido.

Proyecto Multidisciplinario Patrimonio Cultural y Desarrollo de Software

Patrimonio Cultural. El equipo trabajó en la gestión del proyecto, así como en la investigación y digitalización del patrimonio cultural arqueológico por medios virtuales. También estuvo a cargo de todo el proceso de conceptualización y documentación del proyecto, además de la creación del contenido textual, visual, audios y el levantamiento fotográfico para el Recorrido virtual.

Actividades para el desarrollo de los contenidos:

- Gestión y planificación de proyecto.
- Elaboración y aprobación del plan de trabajo.

- Investigación y recopilación de documentación histórica y arqueológica.
- Registro de fotografías 360x180° de arquitectura prehispánica y del museo del parque arqueológico.
- Edición, interpretación, exportación y optimización de fotografías 360x180° para el recorrido virtual.
- Verificación de la integridad y características de las fotografías.
- Creación de contenidos visuales, audios y videos en español e inglés.

Desarrollo de Software. Este equipo trabajó en el montaje, diseño, funcionamiento y acceso del recorrido virtual, a partir de los insumos digitales proporcionados, además tuvo como responsabilidad poner a disposición el recorrido virtual y proveer el soporte técnico necesario. Actividades para el desarrollo del recorrido virtual:

- Incorporación y pruebas de las fotografías 360x180° en el Software 3D Vista.
- Diseño de las interfaces y las opciones de menú.
- Incorporación del registro histórico y arqueológico en el recorrido virtual.
- Realización de pruebas de funcionamiento e integración.
- Generación del recorrido virtual.
- Redacción del reporte informático.
- Poner a disposición en la web y al acceso del público el recorrido virtual.

Ubicación geográfica del sitio arqueológico

El sitio arqueológico San Andrés pertenece a los cinco parques arqueológicos nacionales y se encuentra ubicado a 32 km al oeste de San Salvador, en el municipio de Ciudad Arce, departamento de La Libertad; rodeado por los ríos Sucio y Agua Caliente; tiene aproximadamente 450 m.s.m. y se asienta en El valle de Zapotitán, mismo que está rodeado por el complejo volcánico de San Salvador al este y el volcán de Santa Ana al oeste.

Características culturales del sitio arqueológico

El Sitio Arqueológico San Andrés fue declarado Monumento Arqueológico Nacional, bajo la justificante de pertenecer a etapas culturales de la historia pre-colombina del país, ya que se encuentran los vestigios de las construcciones y del arte producidos por los antiguos progenitores indígenas de los salvadoreños, otorgándole un valor histórico excepcional.

Delimitación cultural del sitio

Actualmente el Sitio Arqueológico o Parque Arqueológico San Andrés, es propiedad del Estado, por lo que su uso se encuentra estrictamente restringido a investigaciones arqueológicas y actividades de conservación previamente autorizadas por el Ministerio de Cultura, quien además regula todas aquellas actividades y/o gestiones

orientadas a proporcionar las condiciones idóneas para la visitación pública y la difusión del patrimonio arqueológico de la nación.

Resultados

Desarrollo del Recorrido Virtual

Para el diseño del recorrido virtual fue necesario crear todos los insumos multimedia y otros componentes digitales en los distintos formatos.

Fotografías 360x180°

Para el registro de las fotografías 360x180° se hizo uso de celulares de gama alta y estabilizadores que permitieron obtener un aproximado de 250 a 300 fotografías seccionadas para conseguir el cocido de la panorámica. El software libre utilizado para construir las fotografías 360x180° fue Image Editor Composite y se invierte un total de 30 a 40 minutos en el cocido de cada fotografía.

Con el propósito de montar un recorrido virtual en el parque arqueológico San Andrés, se registraron 23 panorámicas 360x180° donde se incluyen los siguientes sectores del lugar: entrada principal, parqueo, ventanilla, recepción, museo, zona arqueológica, cafetería, área de juegos, anfiteatro, zonas verdes y obraje de añil. Las panorámicas permiten conocer la extensión pública del sitio.



Fig 1. Estudiante de patrimonio cultural durante el registro fotográfico en el parque San Andrés. Foto por Melisa Mayén

Audios

Se utilizó la incorporación de audios para la narración de cada una de las áreas del recorrido virtual y su funcionamiento multilinguaje. Para ello se crearon archivos de formato mp3 con las grabaciones en los respectivos idiomas.

Además, se incorporaron en el diseño y la programación, botones de intercambio de idioma español e inglés.



Fig 2. Resultado de fotografías 360x180° dentro del museo.
Foto por Darwin Loáis, estudiante de Patrimonio Cultural

Croquis y Recorrido

Estos son utilizados para incorporar en el recorrido virtual una referencia global de como las estructuras están ubicadas en el sitio arqueológico, desde una vista en planta y la trayectoria o camino que se decidió implementar en el recorrido virtual.

Fotos Históricas

Parte importante del proyecto fue la investigación histórica del sitio arqueológico, por tanto, los insumos de fotografías donde se exponen objetos arqueológicos significativos encontrados en San Andrés, fue relevante incorporarlas.

Iconos

Para un diseño más atractivo se creó una serie de iconos representativos a las acciones que se pueden realizar y los contenidos que se pueden visualizar en el recorrido virtual.



Fig 3. Visualización de los iconos en la parte inferior y lateral en el recorrido virtual.

Imágenes

Para el área de derechos reservados y autores del proyecto se utilizaron los insumos de fotografías de los investigadores y los logotipos representativos de la institución. En el bloque de intercambio de lenguaje se utilizaron los botones acordes al idioma seleccionado.

Panoramas

Este es el insumo más importante e indispensable de todo el recorrido virtual, el cual tiene características bien específicas y el proceso de creación requiere gran cuidado técnico, de ello depende todas las visualizaciones en el recorrido virtual.

Timeline

Uno de los objetivos del proyecto fue "Realizar un registro cronológico e histórico de los hallazgos arqueológicos en el sitio San Andrés", por ello se realizó la investigación pertinente y los resultados se plasmaron en una línea de tiempo histórica, que abarca desde los años 1892 al 2023 y están disponibles en el menú principal del recorrido.

Videos

El sitio arqueológico es extremadamente grande y para tener una visión amplia y completa se procedió a grabar con drone las tomas aéreas que mostraran la magnitud del sitio arqueológico. De hecho, el recorrido virtual inicia con el video aéreo y también está disponible como recurso interno en el recorrido.

Diseño de las Interfaces y las Opciones de Menú

El proyecto consideró la creación de distintos diseños de menú para interactuar de forma novedosa con el recorrido virtual. El recorrido tiene tres tipos de menú, uno superior lateral derecho, otro inferior al centro y otro inferior lateral derecho. En las tablas 1, 2 y 3 se muestran los iconos y se detalla que función tiene cada uno dentro del menú.

Tabla 1. Menú superior lateral derecho en el recorrido virtual.

| | |
|--|--|
| | ← Menú Superior Lateral derecho |
| | ← Opción para Activar y Desactivar el visor para gafas VR (Virtual Reality). |
| | ← Opción para Activar y Desactivar el volumen. |
| | ← Opción para Activar y Desactivar los Hot Spots (puntos de interacción entre panoramas) |
| | ← Opción para Activar y Desactivar la visualización de pantalla completa. |

Tabla 2. Menú inferior lateral derecho.

| | |
|----------------|---|
| Botones | Menú inferior lateral Derecho |
| | |
| | ← Opción que permite cambiar los textos y audios al idioma español. |
| | ← Opción que permite cambiar los textos y audios al idioma inglés. |

Tabla 3. Menú inferior central.

| Botones | Menú Inferior Central | |
|---------|-----------------------|--|
| | | |
| | ← | Opción que muestra una cuadrícula de acceso directo a todos los panoramas 360. |
| | ← | Opción que muestra el mapa de ubicación del sitio Arqueológico y permite la interacción con Google Maps. |
| | ← | Opción que muestra una galería fotográfica de fotos históricas. |
| | ← | Opción que muestra una línea de tiempo de datos históricos e investigaciones realizados en el sitio arqueológico a lo largo de los años. |
| | ← | Opción que muestra un plano de ubicación con los elementos físicos del sitio arqueológico. |
| | ← | Opción que muestra un croquis con puntos de anclaje del recorrido virtual. |
| | ← | Opción que muestra una vista aérea con puntos de anclaje del recorrido virtual. |
| | ← | Opción que muestra un video con la vista aérea del sitio arqueológico capturado con un dron. |
| | ← | Opción que muestra información básica de los investigadores autores del recorrido. |

Panel Lateral de Contenido Dinámico

El recorrido tiene un panel lateral destinado a las descripciones de cada área del sitio arqueológico, el cual se puede expandir o contraer según se necesite mostrar u ocultar el contenido. Adicionalmente tiene un funcionamiento dinámico que cambia según la opción de idioma seleccionado e incorpora un botón para reproducir y pausar el audio de lectura de los contenidos. Por defecto está configurado para que el recorrido virtual haga lectura de manera automática de los contenidos descriptivos.

HotSpot

Los diferentes HotSpot o puntos de anclaje entre cada panorama sirven para la transición manual de un panorama al otro. Los puntos de inicio, transición y final en cada panorama sirven para un recorrido con el piloto automático.

Prueba del Recorrido Virtual

Se instaló en un servidor local basado en XAMPP para visualizarlo en una máquina específica y en los dispositivos conectados a la red LAN.

Visualización del Recorrido Virtual

El recorrido virtual está colocado en un servidor web institucional y puede visualizarse desde cualquier máquina utilizando internet.

Puede ser accedido desde la siguiente ruta:

http://20.157.87.28/itca_santa_ana/recorridosvirtuales/san_andres/

El recorrido virtual está disponible para dispositivos móviles a través de un código QR mostrado en la fig. 4.



Fig.4. QR para acceder al recorrido virtual.

Conclusiones

El desarrollo del proyecto permitió no solo registrar a través de un recorrido virtual la riqueza cultural que conserva el parque Arqueológico San Andrés, sino también involucrar la participación de socios colaborativos, desarrollar un proyecto multidisciplinario y contar con la participación de estudiantes destacados quienes adquirieron competencias para su desempeño profesional.

El proyecto de investigación aplicada propició la difusión del patrimonio cultural de manera inmediata, atractiva, inclusiva e innovadora.

Con la difusión de los resultados alcanzados del recorrido virtual, se facilita que la población de todas las áreas y en diferentes condiciones sociales, tengan acceso a una experiencia cultural arqueológica virtual con impacto social.

El proyecto ejecutado en el Parque Arqueológico San Andrés en asocio con el Ministerio de Cultura, contribuye a mostrar a la comunidad nacional e internacional, la historia del patrimonio cultural arqueológico que conserva el país.

Recomendaciones

El crear un acercamiento con actores sociales permite que el producto final de un proyecto de investigación sea abordado desde diversas aristas. Es por ello, que se sugiere para futuros proyectos, considerar el involucramiento de la comunidad usuaria de estos espacios culturales.

La utilización de tecnología informática de última generación, es un elemento que se sugiere para proyectos que impliquen una metodología y diseño como la desarrollada en este recorrido virtual.

La difusión del patrimonio cultural arqueológico del país, debe abordarse desde todas las estrategias posibles, en tal sentido este proyecto ejecutado por ITCA-FEPADE contribuye a que la difusión en el tiempo esté asegurada.

Agradecimientos

Al Ministerio de Cultura de El Salvador, al personal administrativo y trabajadores del Parque Arqueológico San Andrés, así como a los estudiantes de Gestión Tecnológica del Patrimonio Cultural: Mónica Escamilla, Ronald Bolaños, Carolina Álvarez, Abigail Martínez, Darwin Loáis y Efraín Jovel.

Bibliografía

1. P. Amaroli, Arqueología de El Salvador, San Salvador, el Salvador: FUNDAR, 2015.
2. H. Díaz, et al., "Proyecto Arqueológico San Andrés, temporada 2011, El Salvador", Presentado en XXVI Simposio de Investigaciones arqueológicas de Guatemala. Guatemala, 2012.
3. M. González Méndez, La revalorización del patrimonio arqueológico. La definición de un programa para el ayuntamiento de Toques (A. Coruña), Santiago de Compostela, España: Xunta de Galicia, 2000.
4. M. L. Endere, Arqueología y legislación en Argentina: ¿Cómo proteger el patrimonio arqueológico?, Buenos Aires, Argentina: Incuapa, 2000. [En línea]. Disponible en: <https://www.soc.unicen.edu.ar/images/editorial/ebooks/2.pdf>
5. C. I. Mariano, et al., "Gestión del patrimonio arqueológico y comunicación pública de la ciencia", Revista Colombiana de Antropología, vol. 49, n° 1, pp. 279-300, Ene./Jun. 2013. [En línea].

Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/rcan/v49n1/v49n1a12.pdf>

6. J. B. Nonell, Historia de la Arquitectura, 3ª.ed. Barcelona, España: Editores Técnicos Asociados, 1984.
7. A. Raies, "La difusión del patrimonio arqueológico a través de las nuevas tecnologías: la reconstrucción de las baterías y el campo de batalla de vuelta de obligado (buenos aires, 1845)", Anuario de Arqueología, n° 13, pp. 87-103, 2021. doi: <https://doi.org/10.35305/aa.v13i13.84>. [En línea]. Disponible en: <https://revistaanuarioarqueologia.unr.edu.ar/index.php/AA/article/view/84/71>
8. A. G. Gisbert Santaballa, "La arqueología virtual como herramienta didáctica y motivadora", Tecnología, Ciencia y Educación, n° 13, pp. 119-147, May./Ago. 2019. doi: <https://doi.org/10.51302/tce.2019.287>. [En línea]. Disponible en: <https://www.tecnologia-ciencia-educacion.com/index.php/TCE/article/view/287/217>
9. M. Escamilla, "¿Arqueología salvadoreña? Una utopía en construcción", Revista Entorno, Universidad Tecnológica de El Salvador, n° 58, pp. 61-67, Abr. 2015. [En línea]. Disponible en: <http://biblioteca.utec.edu.sv:8080/jspui/bitstream/11298/507/1/108-1-435-1-10-20150812.pdf>
10. J. L. Ordóñez, "Realidad Virtual y Realidad Aumentada", Revista Digital de ACTA, no.63, pp. 1-19, 2020. [En línea]. Disponible en: https://www.acta.es/medios/articulos/ciencias.y_tecnologia/063001.pdf
11. M. V. Escamilla, "Fechamiento de la toba San Andrés a través del análisis cerámico pre y pos erupción del Boquerón. Sitio El Chahuite, Zapotitán", Tesis de Licenciatura en Arqueología, Universidad Tecnológica de El Salvador, San Salvador, El Salvador, 2000.
12. W. R. Fowler, El Salvador Antiguas Civilizaciones, San Salvador, El Salvador, Banco Agrícola Comercial de El Salvador, 1995.
13. P. Amaroli, Investigaciones arqueológicas en el área de nuevas instalaciones en el Parque Arqueológico San Andrés, San Salvador, El Salvador, 1996.
14. R. Cobos, P. Sheets, San Andrés y Joya de Cerén. Patrimonio de la Humanidad, San Salvador, El Salvador: BANCASA, 1997.
15. S. Boogs, "Notas sobre las excavaciones en la Hacienda San Andrés, departamento de La Libertad", Tzunpame, vol. 3, n° 1, pp. 104-126., 1943.
16. M. Ries, "First season's archaeological work at Campana San Andres", American Anthropologist, vol. 42, n° 4, pp. 712-713, 1940.
17. J. Mejía, "Las Ruinas de San Andrés" Excavaciones en la Estructura-7", Flama, vol. 14, pp. 33-48, 1984.
18. I. Verhagen, Informe sobre Proyecto San Andrés: Investigaciones arqueológicas en el obraje de añil, San Salvador, El Salvador, 1997.
19. B. McKee, Informe preliminar sobre el Reconocimiento de la Zona Residencial, Sitio Arqueológico San Andrés, El Salvador, 1997.
20. J. C. Berríos, "Alineación Astronómica de la Estructura 7 del Sitio Arqueológico San Andrés, El Salvador", Revista Digital Universitaria, vol. 14, n° 5, pp. 1-11. 2013. [En línea]. Disponible en: <https://www.revista.unam.mx/vol.14/num5/art01/art1.pdf>

APLICACIÓN DE INDICADORES DE RENDIMIENTO KPI EN LOS PROCESOS LOGÍSTICOS DE LAS MICRO Y PEQUEÑAS EMPRESAS, INSCRITAS A LA AGENCIA DE DESARROLLO ECONÓMICO LOCAL, ADEL LA UNIÓN

Samuel Enrique Orellana Paz

Master en Logística Internacional y Supply Chain Management. Docente Investigador. Escuela Especializada en Ingeniería ITCA.FEPADE, Centro Regional MEGATEC La Unión.
Correo electrónico: samuel.orellana@itca.edu.sv

Ulises Esai Pérez Flores

Ingeniero en Logística y Aduanas, Docente Coinvestigador. Escuela Especializada en Ingeniería ITCA-FEPADE, Centro Regional MEGATEC La Unión.
Correo electrónico: esai.perez@itca.edu.sv

Recibido: 17/05/2024 - Aceptado: 17/07/2024

Resumen

La Escuela Especializada en Ingeniería ITCA FEPADE, MEGATEC La Unión, a través de la carrera Ingeniería en Logística y Aduanas, realizó un diagnóstico y un estudio descriptivo sobre la aplicación de Indicadores de Rendimiento KPI en los procesos logísticos de las Micro y Pequeñas Empresas MYPE, inscritas a la Agencia de Desarrollo Económico Local ADEL, La Unión. El proyecto tuvo la finalidad de proponer KPI utilizando un Cuadro de Mando Logístico. En el diagnóstico participaron 37 empresas del sector productivo inscritas en ADEL y que pertenecen a los municipios de Conchagua y La Unión. Dentro de los hallazgos el 84% desconocen el término, 86% no están aplicando indicadores, el 82% manifiesta no saber cómo aplicarlos, el 89% manifiesta no haber recibido ninguna capacitación, el 97.3% no posee algún software para medir el rendimiento y más de 50% manifestó estar en disponibilidad de usar Indicadores de Rendimiento KPI.

Como resultado de la investigación se desarrolló una "Guía Metodológica para la Creación y Aplicación de Indicadores de Rendimiento" en los diferentes procesos logísticos de las MYPE, detallando la metodología a seguir para desarrollar el proceso de medición y control de cada actividad. Se diseñó un software para la implementación del Cuadro de Mando Logístico para medir y controlar el rendimiento de los procesos logísticos. Con la coordinación de ADEL y la aplicación de los resultados de este proyecto se contribuirá al crecimiento económico de estas empresas de los municipios de Conchagua y La Unión.

Palabras clave

Procesos logísticos, indicadores de rendimiento KPI, organización y métodos, producción PYMES, control de procesos, desarrollo local.

APPLICATION OF KPI PERFORMANCE INDICATORS IN THE LOGISTICS PROCESSES OF MICRO AND SMALL ENTERPRISES REGISTERED WITH THE LOCAL DEVELOPMENT AGENCY IN LA UNIÓN, ADEL

Abstract

The Escuela Especializada en Ingeniería ITCA-FEPADE MEGATEC La Unión, through the Logistics and Customs Engineering Technology degree program, carried out a diagnostic and descriptive study on the application of KPI Performance Indicators in the logistics processes of Micro and Small Enterprises, registered with the Local Development Agency in La Unión ADEL. The project aimed to propose KPI using a logistics scorecard. Thirty-seven companies from the productive sector registered with ADEL and belonging to the municipalities of Conchagua and La Unión participated in the diagnosis. Among the findings, 84% of participants were unfamiliar with the term KPI, 86% were not applying indicators, 82% did not know how to implement them, 89% had not received any training, 97.3% did not have any software to measure performance, and more than 50% expressed a willingness to use KPI Performance Indicators.

As a result of the research, a 'Methodological Guide for the Creation and Application of Performance Indicators' was developed for the different logistics processes of MSEs, detailing the methodology to be followed to create each activity's measurement and control process. A software was designed for implementing the Logistics Scorecard to measure and control the performance of logistics processes. Through the coordination of ADEL and the implementation of the results of this project, the economic growth of these companies in the municipalities of Conchagua and La Unión will be supported.

Keyword

Logistics processes, key performance indicators KPI, organization and methods, MSE production, process control, local development.

Introducción

De acuerdo con la Organización Internacional del Trabajo OIT, las MYPE son unidades que en muchos países representan más del 90% de las empresas, y en la mayoría de las naciones que integran la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE), las MYPE representan más del 50% del Producto Interno Bruto. A nivel mundial, son las que generan aproximadamente dos tercios de los empleos, pero en los países de bajos ingresos, producen entre el 80% y 90% [1]. Para 2030, según la Naciones Unidas, se necesitarán 600 millones de empleos para satisfacer la fuerza laboral mundial, por lo que el desarrollo de estas empresas es un tema primordial, ya que serán quienes otorguen, en su mayoría, estos espacios de trabajo. [2]

Según la Encuesta Nacional de la Micro y Pequeña Empresa 2017, realizada bajo la cooperación interinstitucional de la Dirección General de Estadística y Censos DIGESTYC y la Comisión Nacional de la Micro y Pequeña Empresa CONAMYPE, existe un total de 317,795 establecimientos económicos, de ese total de empresas pertenecientes al segmento MYPE, un total de 193,084 están catalogadas como microempresas (60.76%), 107,795 se consideran como emprendimientos (33.92%), mientras que el resto 16,916 empresas son pequeñas (5.32%) [3].

El término KPI por sus siglas en inglés, Key Performance Indicator, cuyo significado en castellano es Indicador Clave de Desempeño o Medidor de Desempeño, hace referencia a una serie de métricas que se utilizan para sintetizar la información sobre la eficacia y productividad de las acciones que se lleven a cabo en un negocio con el fin de poder tomar decisiones y determinar aquellas que han sido más efectivas a la hora de cumplir con los objetivos marcados en un proceso o proyecto concreto.

Las MYPE en El Salvador y otros países de economía similar a este, se ven afectados por variables que dificultan su crecimiento y su mayor desarrollo en el mercado.

Considerando el nivel de relevancia e importancia que tienen las MYPE para la economía de nuestro país, es necesario desarrollar proyectos encaminados a estudiar diversas problemáticas que rodean a éstas, entre ellas la falta de crecimiento económico, esto es precisamente el fin que persigue esta investigación. Este proyecto consideró elaborar un diagnóstico que permitió realizar un análisis sobre la aplicación de indicadores de rendimiento KPI en los procesos logísticos de estas empresas. La información de este diagnóstico sirvió para desarrollar una "Guía Metodológica para la Creación y Aplicación de Indicadores de Rendimiento" y un "Cuadro de Mando Logístico" para los diferentes procesos de las MYPE.

Desarrollo

METODOLOGÍA

El proyecto de investigación se desarrolló utilizando el método descriptivo, cuyo objetivo fue conocer el estado y comportamiento

de una serie de variables, procesos logísticos, indicadores de rendimiento en las áreas de aprovisionamiento, almacenamiento, inventarios, producción y ventas.

El enfoque utilizado fue cualitativo, permitió recopilar información sobre la aplicación actual de indicadores de rendimiento en los procesos logísticos de las MYPE inscritas a ADEL ubicadas en los municipios de La Unión y Conchagua. Se hizo uso de técnicas de recolección de información, observación y encuestas, permitiendo tener un punto de referencia de la situación actual para considerar los indicadores incluidos en el Cuadro de Mando Logístico.

Los criterios para seleccionar a las empresas participantes en el proyecto fueron estar inscritas en ADEL, tener el registro MYPE, 2 años de operación, pertenecer a Conchagua y La Unión y pertenecer del sector productivo.

La metodología implementada se desarrolló en tres fases por un periodo de doce meses:

FASE I. Investigación

En esta parte del proyecto se realizaron visitas de campo a ADEL para recolectar información referente al acompañamiento a las MYPE en materia de indicadores de rendimiento. Se realizó una encuesta donde participaron 37 empresas, lo cual permitió recolectar información relevante para el diagnóstico sobre el estado actual de la aplicación de indicadores de rendimiento en los procesos logísticos.

FASE II. Resultados

En esta fase se presentaron los datos recolectados en la fase anterior, consolidando la información referente a la aplicación actual de indicadores de rendimiento en los procesos logísticos de las MYPE, para ello se hizo uso de un análisis FODA.

FASE III. Diseño de Guía Metodológica para la Creación y Aplicación de Indicadores y Cuadro de Mando Logístico.

Se diseñó una Guía Metodológica que explica el proceso para crear un indicador desde cero. Además, considerando la necesidad de las MYPE se propusieron 19 indicadores aplicables a las áreas de aprovisionamiento, almacenamiento, inventarios, producción y ventas.

Resultados

APLICACIÓN ACTUAL DE INDICADORES DE RENDIMIENTO EN PROCESOS LOGÍSTICO DE LAS MYPE

Conocimiento sobre el término "Indicador Clave de Desempeño KPI"

Al observar los resultados se evidencia un desconocimiento amplio del término Indicador Clave de Desempeño KPI; el 84% manifiesta desconocer este término, mientras que un 14% conoce poco y un 3% mucho. Este resultado es un elemento clave y un factor por el cuál

las MYPE no están aplicando los indicadores de desempeño, pues básicamente no saben qué es y para qué sirven. (Fig. 1).

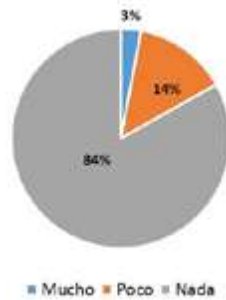


Fig. 1. Conocimiento de las MYPE sobre el término "Indicador Clave de Desempeño (KPI)

Conocimiento sobre el término "Cuadro de Mando Logístico".

El 76% de las MYPE manifiestan no saber nada sobre este término, mientras que el restante 24% sabe poco o mucho. Este es otro factor por el cual las empresas no está utilizando los indicadores y por ende los cuadros de mando. (Fig. 2)

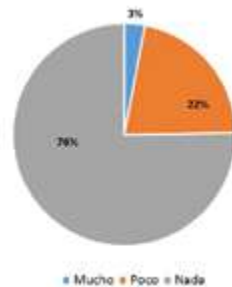


Fig. 2. Conocimiento de las MYPE sobre el término "Cuadro de Mando Logístico".

Aplicación de indicadores para medir el rendimiento de los procesos o actividades.

El 86% de las MYPE manifiesta no aplicar indicadores, mientras que el 14% asegura sí utilizar indicadores de rendimiento. Este resultado se convierte en una oportunidad para que ADEL y diferentes instituciones puedan brindar apoyo a las empresas de la zona para mejorar su productividad.

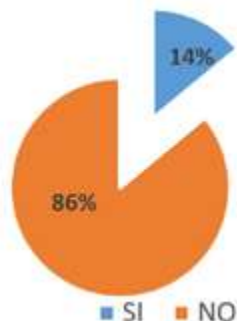


Figura 3: Aplicación de indicadores para medir el rendimiento de los procesos o actividades.

¿Por qué las MYPE no aplican indicadores de rendimiento?

A través de los resultados cerca del 81.3% de MYPE manifiestan no saber cómo aplicar los indicadores de rendimiento, esto indica una carencia significativa en la comprensión teórica y técnica de las

métricas clave para evaluar el desempeño empresarial. La falta de competencia teórica y técnica se presenta como una oportunidad de apoyo y capacitación consistente en programas educativos u otros recursos que ayuden a las empresas a comprender y utilizar efectivamente los indicadores de rendimiento. El 3.1% manifiesta no tener tiempo para aplicar indicadores; un 3.1% está en proceso de aplicación; y un 12.5% no considera necesario utilizar indicadores. (Fig. 4)

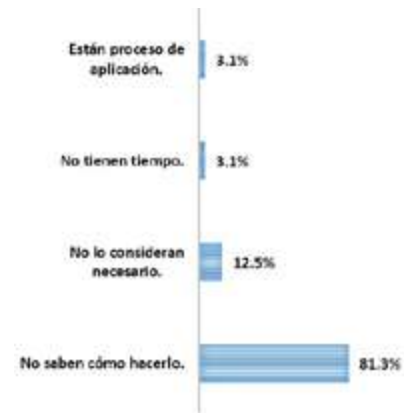


Fig. 4. ¿Por qué las MYPE no aplican indicadores de rendimiento?

Capacitaciones recibidas por las MYPE en materia de indicadores logísticos.

El 89.2% expresa que nunca han recibido alguna capacitación en materia de indicadores logísticos, esto sugiere una falta generalizada de conocimiento o formación específica en el área logística entre estas empresas. Por otra parte, el 10.8% que ha recibido capacitación, indica que hay una minoría que ha tenido acceso a algún tipo de formación en indicadores logísticos. Esto podría ser una oportunidad para identificar las razones detrás de su capacitación y evaluar los beneficios percibidos.

La implementación efectiva de indicadores logísticos puede mejorar la gestión de inventarios, la cadena de suministro y la eficiencia general de las operaciones.

Uso de software para medir el rendimiento de las operaciones de las MYPE.

Los resultados demuestran que el 97.3% de las MYPE no poseen recursos tecnológicos que apoyen en la medición del rendimiento de la empresa; algunas llevan registros de forma manual y empíricos. El 2.7% de estas empresas utiliza algún tipo de software, específicamente una aplicación de celular. Este bajo porcentaje resalta la necesidad de una mayor adopción de tecnología en el ámbito empresarial para mejorar la medición y gestión del rendimiento.

Disposición de las MYPE para aplicar indicadores de rendimiento.

El 56.8% de las empresas encuestadas están en total disponibilidad de poner en práctica el uso de indicadores de rendimiento. Esto sugiere un reconocimiento por parte de estas empresas de la importancia de utilizar métricas específicas para evaluar y mejorar su rendimiento operativo.

El 40.5% se muestra indeciso respecto a la aplicación de indicadores de rendimiento. Esto destaca la necesidad de abordar estas barreras y proporcionar apoyo en términos de formación y acceso a recursos tecnológicos.

Un porcentaje pequeño, el 2.7% manifiesta no estar dispuesto a aplicar indicadores de rendimiento.

Necesidad de apoyo a las MYPE para implementar indicadores de rendimiento.

La mayoría de MYPE encuestadas 59.5%, manifiestan que se necesita del apoyo de instituciones para la implementación de indicadores de rendimiento. Estas empresas reconocen la importancia de contar con asistencia técnica y práctica para abordar la implementación de indicadores. Este hallazgo sugiere una oportunidad para que instituciones proporcionen programas de apoyo y capacitación específica.

El 37.8% mantienen una posición indecisa. Esto subraya la importancia de la educación y la formación para superar las barreras que pueden surgir por la falta de comprensión.

El 2.7% considera que no es necesario el apoyo para implementar indicadores.

Opinión de las MYPE sobre el impacto en los ingresos económicos que tendría el aplicar indicadores de rendimiento.

El 73% de las MYPE consideran que el hecho de poder medir y monitorear cada uno de los procesos que realizan, contribuyen a que estos se mejoren y por ende obtener mejores ingresos. Esto sugiere una comprensión positiva de la importancia de la gestión basada en indicadores. Esta percepción podría ser una oportunidad para promover la implementación de sistemas de medición y monitoreo entre las Micro y Pequeñas Empresas.

El 24.3% de las empresas mantienen una perspectiva de dudas, el 2.7% expresa negatividad ante esta pregunta.

En conclusión, estos resultados indican una percepción mayoritariamente positiva entre las Micro y Pequeñas Empresas encuestadas, sobre la importancia de la relación entre monitorear sus actividades, la mejora de operaciones y el aumento de ingresos económicos.

GUÍA METODOLÓGICA PROPUESTA

En respuesta a las necesidades identificadas en las MYPE de los municipios de La Unión y Conchagua, se ha desarrollado una Guía Metodológica para la Creación y Aplicación de Indicadores de Rendimiento KPI (Fig. 5), aplicables a procesos logísticos, que se compone de dos partes generales:

1. Metodología para crear indicadores de rendimiento desde cero.
2. Propuesta de 19 indicadores de rendimiento aplicables a los procesos logísticos de las empresas, los cuales son los siguientes:

INDICADORES DE APROVISIONAMIENTO

1. Calidad de los pedidos generados
2. Pedidos rechazados
3. Compras mensuales
4. Volumen de compras

INDICADORES DE ALMACENAMIENTO

5. Costo mensual de almacenamiento
6. Costo por metro cuadrado
7. Nivel de cumplimiento del despacho

INDICADORES DE INVENTARIO

8. Rotación de inventario
9. Stock de seguridad
10. Punto de Pedido
11. Duración del Inventario

INDICADORES DE PRODUCCIÓN

12. Tasa de producción por hora
13. Capacidad de producción diaria
14. Costo de producción por producto
15. Costo de producción mensual

INDICADORES DE VENTAS

16. Ventas mensuales
17. Crecimiento de ventas
18. Ganancia neta
19. Satisfacción del cliente

En la Guía Metodológica, para cada indicador se presenta la información por medio de una ficha técnica, tal como se muestra en la Tabla 1. Adicionalmente la ficha se acompaña de un Plan de Contingencia y acciones para cada indicador, según los resultados de la evaluación, pudiendo ser excelente, aceptable y deficiente.



Fig. 5. Guía Metodológica para la Creación y Aplicación de Indicadores de Rendimiento en los procesos logísticos de las MYPE.

Beneficios de la Guía Metodológica para las MYPE

Para las MYPE, la implementación de indicadores logísticos representa un avance significativo en la gestión operativa de éstas; el desarrollo de indicadores logísticos requiere de una identificación cuidadosa de las variables relevantes, la definición de fórmulas precisas, el establecimiento de metas realistas y alcanzables y la utilización de un Cuadro de Mando Logístico.

Una vez implementados, los indicadores permiten monitorear el desempeño de los procesos logísticos, identificar áreas de mejora y tomar decisiones basadas en datos cuantificables y objetivos. Con la aplicación de la Guía Metodológica, se podrá mejorar la capacidad para competir en un entorno empresarial cada vez más desafiante, al mismo tiempo, tendrán la oportunidad de optimizar costos, aumentar la satisfacción del cliente y fortalecer su posicionamiento en el mercado.

Tabla 1. Ficha técnica indicador de pedidos rechazados.

| INDICADOR: PEDIDOS RECHAZADOS | |
|-------------------------------|---|
| ÁREA: APROVISIONAMIENTO | |
| Descripción | Mide el porcentaje de productos y pedidos (líneas) que no cumplan las especificaciones de calidad y servicio definidas, con desglose por proveedor. |
| Objetivo | Controlar la calidad de los productos/ materiales recibidos, junto con la puntualidad de las entregas de los proveedores de mercancía. |
| Fórmula | $\text{Valor} = \frac{\text{Pedidos rechazados}}{\text{Total de órdenes de compra recibidas}} \times 100$ |
| Unidad de medida | Este indicador se mide en porcentaje. |
| Datos necesarios | Cantidad de pedidos que fueron rechazados a los proveedores durante el periodo y el total de las órdenes de compra realizadas por periodo. |
| Fuente de la información | Área de aprovisionamiento: compras. |
| Periodicidad | Este indicador se calcula cada mes. |
| Responsable | Jefe de compras. |
| Área que recibe el indicador | Gerencia y Área de aprovisionamiento compras. |
| Parámetros de lectura | Excelente: 0% - 5% |
| | Aceptable: 5% - 15% |
| | Deficiente: 15% - 100% |
| Impacto | Costos de recibir pedidos sin cumplir las especificaciones de calidad y servicio: costo de retorno, coste de volver a realizar pedidos, retrasos en la producción, coste de inspecciones adicionales de calidad, etc. |
| Vigencia | Permanente. |

Indicaciones para la aplicación de la Guía Metodológica

Se recomienda a las empresas que:

- Consideren la implementación de indicadores logísticos como una herramienta clave para mejorar su competitividad en el mercado. Es importante dedicar tiempo y recursos para identificar las variables relevantes y definir fórmulas precisas que permitan medir el desempeño de los procesos logísticos.
- Establezcan metas realistas y alcanzables, pero desafiantes para motivar la mejora continua y el cumplimiento de dichas metas.
- Realicen un seguimiento periódico de los indicadores logísticos y analizar los resultados para identificar áreas de mejora y tomar decisiones basadas en datos objetivos.
- Capaciten al personal en el uso de indicadores logísticos y herramientas como Excel para facilitar su implementación y aplicación en la gestión diaria de la empresa.

CUADRO DE MANDO LOGÍSTICO

La Guía Metodológica está acompañada de un Cuadro de Mando Logístico que permite llevar el control de 19 indicadores aplicables a las áreas de aprovisionamiento, almacenamiento, inventarios, producción y ventas.



Fig. 6. Menú principal Cuadro de Mando Logístico



Fig. 7. Indicadores de aprovisionamiento Cuadro de Mando Logístico.

CÁLCULO DE INDICADOR
CALIDAD DE LOS PEDIDOS GENERADOS

| SUE MENO APROVISIONAMIENTO | FECHA DE REGISTRO | REPRESENTACIÓN | CONTINGENCIA | 2023 | | | |
|----------------------------|-------------------|----------------|--------------|------|---------------------------------|----------------------------|-----------------------|
| | | | | MES | PEDIDOS GENERADOS SIN PROBLEMAS | TOTAL DE PEDIDOS GENERADOS | PORCENTAJE DE CALIDAD |
| ENERO | 18 | 20 | 70% | | | | |
| FEBRERO | 75 | 88 | 85% | | | | |
| MARZO | 75 | 75 | 71% | | | | |
| ABRIL | 96 | 100 | 96% | | | | |
| MAYO | 48 | 50 | 96% | | | | |
| JUNIO | 70 | 80 | 88% | | | | |
| JULIO | 100 | 123 | 81% | | | | |
| AGOSTO | 119 | 120 | 99% | | | | |
| SEPTIEMBRE | 48 | 58 | 83% | | | | |
| OCTUBRE | 78 | 80 | 98% | | | | |
| NOVIEMBRE | 80 | 80 | 100% | | | | |
| DICIEMBRE | 18 | 21 | 86% | | | | |

Fig. 8. Botones de navegación y cuadro de cálculo del indicador.



Fig. 9. Gráfico del indicador y parámetros de lectura.

Beneficios del Cuadro de Mando Logístico para las MYPE

- Visibilidad y acceso a datos en tiempo real. El Cuadro de Mando Logístico proporciona información actualizada sobre los procesos en marcha. Esto facilita la identificación de ineficiencias, la detección de tendencias y agiliza la toma de decisiones.
- Mejora en la gestión de proveedores. Con el dashboard, los responsables de la cadena de suministro pueden evaluar qué compañía de transporte ofrece los menores costos unitarios por distancia, peso y volumen. También pueden analizar la calidad de los materiales proporcionados por los proveedores.
- Optimización de costos y rendimiento. El Cuadro de Mando Logístico permite comparar el gasto logístico en diferentes períodos y áreas geográficas. Esto ayuda a tomar decisiones informadas sobre rutas alternativas, socios comerciales y proveedores.
- Actualizaciones en tiempo real. La mayor ventaja es la posibilidad de acceder a actualizaciones en tiempo real sobre el rendimiento de la MYPE.

Conclusiones

- ✦ Se evidencia que la mayoría de las MYPE desconocen el término Indicador Clave de Desempeño KPI y los beneficios de su aplicación. Este resultado es un elemento clave y un factor por el cual las empresas no están implementando indicadores de desempeño. Manifiestan no saber cómo utilizarlos y falta de competencia teórica y técnica en materia de indicadores.
- ✦ La mayoría de las MYPE manifiestan no haber recibido una capacitación, cursos o asistencia técnica en materia de indicadores de rendimiento, lo que se traduce en falta de experiencia y conocimiento técnico para poder medir el rendimiento de las operaciones logísticas que realizan.
- ✦ Más del 90% de las MYPE no poseen herramientas digitales o software que ayuden a medir el rendimiento de las operaciones logísticas.
- ✦ Más del 50% de las MYPE están en disponibilidad de poner en práctica el uso de indicadores de rendimiento para procesos logísticos.
- ✦ Para responder a las necesidades identificadas en esta investigación, se ha desarrollado una Guía Metodológica para la Creación y Aplicación de Indicadores de Rendimiento en los procesos logísticos de las MYPE y se ha diseñado un Cuadro de Mando Logístico que permite medir y administrar los diferentes indicadores de rendimiento propuestos.
- ✦ Los resultados de este proyecto están enfocados en el desarrollo local de las MYPE de Conchagua y La Unión. El diseño y creación de la Guía Metodológica y del Cuadro de Mando Logístico, así como la socialización a través de ADEL, se vincula con la Proyección Social de ITCA-FEPADE en beneficio de las Micro y Pequeñas empresas.

Recomendaciones

1. Es importante que las instituciones gubernamentales desarrollen programas de capacitación para todos los niveles de la MYPE. Es fundamental que todos los empresarios y los colaboradores comprendan la importancia de los indicadores de rendimiento y cómo su implementación puede beneficiar los procesos logísticos.
2. Mantener la flexibilidad en la implementación de indicadores de rendimiento y reconocer que las circunstancias pueden cambiar, y es necesario ajustar los indicadores y las metas en consecuencia para seguir siendo efectivos en las actividades.
3. Fomentar la participación activa del personal en el proceso de implementación. Es importante crear un ambiente donde los colaboradores se sientan cómodos dando retroalimentación y sugiriendo a la empresa mejoras en relación con los indicadores de rendimiento.
4. Los micro y pequeños empresarios deben crear programas de reconocimiento para colaboradores que demuestren mejoras significativas en sus áreas a través de la implementación de indicadores. Esto motivará a todo el personal a comprometerse con el cambio.
5. Los micro y pequeños empresarios deben fomentar una cultura de mejora continua. La implementación de indicadores de rendimiento no es un evento único; es un proceso continuo. Es necesario incentivar a los colaboradores a buscar constantemente maneras de optimizar los procesos logísticos.
6. El intercambio de experiencias entre las MYPE puede acelerar el proceso de implementación de indicadores de rendimiento y proporcionar nuevas perspectivas de desarrollo económico.

Agradecimientos

Agradecimientos especiales al socio estratégico, Agencia de Desarrollo Económico Local ADEL, La Unión, por el apoyo brindado durante el desarrollo de esta investigación. Agradecimiento a los estudiantes de la carrera Ingeniería en Logística y Aduanas que contribuyeron con el proyecto: Albayero Velásquez, Keily Tatiana, Claros Luna, Adriel David, García Ramírez, Ruth Valeria, Loza Benitez, Diana Margoth, Medrano Gutiérrez, José Benjamín, Osorio Amaya, Ruth Abigail, Portillo Martínez, Priscila Alessandra y Vásquez Colato, Josué Abdías.

Referencias

- [1] SAP centro de noticias. "La importancia de las PyMEs en el mundo post-Covid". SAP Noticias. Accedido: 15 de enero 2023. 27 Jun. 2021. [En línea]. Disponible en <https://news.sap.com/latinamerica/2021/06/la-importancia-de-las-pymes-en-el-mundo-post-covid/>
- [2] SAP para Centro de Noticias, "La importancia de las PyMEs en el mundo post-COVID. [En línea]. Disponible en: <https://news.sap.com/latinamerica/2021/06/la-importancia-de-las-pymes-en-el-mundo-post-covid>
- [3] Comisión Nacional de la Micro y Pequeña Empresa CONAMYPE, "Encuesta Nacional de la MyPE 2017", CONAMYPE, San Salvador, El Salvador, 18 Dic. 2018. [En línea]. Disponible en: <https://www.conamype.gob.sv/download/encuesta-nacional-de-la-mype-2017/>

DISEÑO INNOVADOR DE HERRAMIENTA PARA LA AUTOMATIZACIÓN DE CÁLCULO DE MATERIALES Y PRESUPUESTO DE OBRAS CIVILES PARA USO DE CONSTRUCTORES MYPES EN LA ZONA ORIENTAL DE EL SALVADOR

Alonso Ulises Arias Guevara

Ingeniero Civil. Docente Investigador de la Escuela Especializada en Ingeniería ITCA FEPADE, Centro Regional San Miguel.
Correo electrónico: alonso.arias@itca.edu.sv.

Benjamín Alessandro Ramírez.

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

Recibido: 06/06/2024 - Aceptado: 03/10/2024

Resumen

Este artículo contiene información referente al proyecto multidisciplinario de investigación aplicada llevado a cabo por docentes de las carreras Técnico en Ingeniería Civil y Técnico en Ingeniería de Sistemas Informáticos de la Escuela Especializada en Ingeniería ITCA FEPADE, Regional San Miguel. El objetivo de la investigación fue desarrollar una aplicación móvil Android para el cálculo automatizado de cantidad de materiales por partida y el presupuesto de obras civiles para el uso de Micros y Pequeñas Empresas MYPES y emprendedores en el área de construcción de la Zona Oriental. La App permite calcular y automatizar los materiales y costo de partida de excavaciones, albañilería, mampostería, acabados, paredes, pisos y concretos, entre otros, de tal manera que se mejora la eficiencia y la calidad del presupuesto y los servicios brindados por el constructor en beneficio del cliente. La metodología consistió en hacer una investigación conjunta entre especialistas para el cálculo de materiales y presupuesto ajustados al diseño de pequeños proyectos de construcción. Se recopiló información necesaria para el desarrollo de un software que realizara estimaciones presupuestarias siguiendo normas nacionales e internacionales. La App denominada "Construitca", fue validada por docentes profesionales del área y proporciona resultados confiables; puede ser descargada de forma gratuita desde la Play Store, para ser utilizada como herramienta de apoyo por los micro y pequeños emprendedores en el ramo de la construcción. Se recomienda actualizar permanente en la App los precios de los materiales y mano de obra, debido a los cambios constantes que éstos experimentan en el mercado.

Palabras clave

Aplicaciones móviles, automatización de procesos, almacenamiento de datos, presupuesto, desarrollo local.

INNOVATIVE DESIGN OF A TOOL FOR THE AUTOMATION OF MATERIALS CALCULATION AND CIVIL WORKS QUOTATION FOR BUILDERS IN THE EASTERN ZONE OF EL SALVADOR

Abstract

This article contains information regarding the multidisciplinary applied research project carried out by teachers from the Civil Engineering Technology and Computer Systems Engineering Technology degree programs at the Escuela Especializada en Ingeniería ITCA-FEPADE, Regional San Miguel. The objective of the research was to develop an Android mobile application for the automated calculation of the number of materials per item and the quotation of civil work for the use of Micro and Small Enterprises MSEs and entrepreneurs in the construction area of the Eastern Zone. The App allows the calculation and automation of the materials and cost of excavations, masonry, finishes, walls, floors, and concrete, among others, to improve the efficiency and quality of the quotation and services the builder provides for the customer's benefit. The methodology consisted of a research among specialists for calculating materials and quotations adjusted to the design of small construction projects. Necessary information was gathered for the development of a software that would perform quotation estimates following national and international standards. The App, called "Construitca," was validated by professional teachers in the area and provided reliable results; it can be downloaded for free from the Play Store as a support tool by micro and small entrepreneurs in the construction industry. It is recommended that the prices of materials and workforce in the App be permanently updated due to the constant changes they experience in the market.

Keyword

Mobile App, process automation, data storage, quotation, local development.

Introducción

Los cálculos de los materiales y presupuesto por partida para los proyectos de ingeniería civil juegan un papel importante; conociendo la cantidad de materiales y mano de obra, se puede estimar y determinar con precisión el costo del proyecto. Cualquier empresa o institución que se proponga crecer de forma sostenible requerirá, inevitablemente, adoptar distintos tipos de tecnologías que le permitan innovar sus procesos, traduciéndose ello en una mayor productividad.

El objetivo de la investigación fue desarrollar una aplicación móvil Android para el cálculo automatizado de materiales y presupuesto de obras civiles para el uso de MYPEs y emprendedores en el área de construcción. Se inició con la definición de los requerimientos para cada uno de los procesos que tendría la aplicación móvil, el catálogo de partidas a realizar y el cálculo de presupuestos en proyectos de construcción. Estos requerimientos se validaron con docentes de ITCA-FEPADE, especialistas en la industria de la construcción.

Se diseñó una base de datos escalable, así como las diferentes interfaces de usuario para el funcionamiento de la aplicación móvil, que permite automatizar los procesos presupuestarios para que los profesionales de la construcción tengan información oportuna para el cliente. Se pudo obtener una aplicación móvil disponible de forma gratuita en la Play Store, lo que la hace accesible para cualquier profesional o institución. La aplicación permite de forma confiable, calcular los materiales y costo de partidas de excavación, albañilería, mampostería, acabados, paredes, pisos y concretos, entre otros.

La metodología consistió en una investigación multidisciplinaria en las ramas de Ingeniería Civil y Desarrollo de Software, específicamente cálculo de materiales y presupuesto para el diseño de pequeños proyectos de construcción de las MYPE. Se consideraron en este diseño normas nacionales e internacionales.

La App permite automatizar los procesos de costos, clientes y presupuestos, lo que contribuirá a mejorar la eficiencia y calidad de los presupuestos brindados por el constructor en beneficio de sus clientes. Se recomienda actualizar permanente en la App los precios de los materiales y mano de obra, debido a los cambios constantes que estos experimentan en el mercado.

Esta App contribuirá a facilitar los procesos de cálculo a emprendedores, micros y pequeños empresarios del sector de la industria de la construcción.

Desarrollo

Este software se desarrolló en un ambiente móvil Android Nativo, el cual podrá ser usado de forma local en cualquier dispositivo móvil que cuente con un sistema operativo Android en su versión 7 o superior.

Entre las características que tiene la aplicación se encuentran las siguientes:

1. Acceso de múltiples clientes dentro de la aplicación.
2. Módulos para el cálculo de diferentes rubros de la construcción, tales como: excavación, albañilería, pisos, mampostería, repellos, afinados, morteros y concretos, entre otros.
3. Reportes exportable a PDF con el presupuesto de materiales generado por la aplicación.
4. Acceso a través de la plataforma Android.

El desarrollo de esta aplicación se basó en 6 pasos:

1. Elaboración de la metodología presupuestaria.
2. Elaboración de un modelado de datos.
3. Elaboración de un mockup o prototipo no funcional con la lógica que tendrá la interfaz de la aplicación móvil.
4. Desarrollo e Implementación de la aplicación móvil.
5. Mantenimiento y pruebas de la aplicación.
6. Validación de los resultados y presentación de informes.

Catálogo de Actividades usando Microsoft Excel

Para la elaboración de la aplicación se construyó un catálogo de partidas técnicas en una hoja electrónica como base para definir el alcance, tal como se muestra en la Ilustración 1.

| Rubro | Subrubro | Materiales | Cantidad |
|-------|--|------------|----------|
| 13-01 | ALBAÑILERIA | 4.11 | 70% |
| 13-02 | MAMPONERIA DE LADRILLO DE OBRA PUESTO DE LATEX | | |
| 13-03 | ACABADOS | | |
| 13-04 | PISOS | | |
| 13-05 | CONCRETOS | | |
| 13-06 | MAMPONERIA | | |
| 13-07 | MAMPONERIA DE LADRILLO DE OBRA PUESTO DE LATEX | | |
| 13-08 | ACABADOS | | |
| 13-09 | PISOS | | |
| 13-10 | CONCRETOS | | |
| 13-11 | MAMPONERIA | | |
| 13-12 | MAMPONERIA DE LADRILLO DE OBRA PUESTO DE LATEX | | |
| 13-13 | ACABADOS | | |
| 13-14 | PISOS | | |
| 13-15 | CONCRETOS | | |
| 13-16 | MAMPONERIA | | |
| 13-17 | MAMPONERIA DE LADRILLO DE OBRA PUESTO DE LATEX | | |

Ilustración 1 - Catálogo de Actividades usando Microsoft Excel.

Fuente: Docente Investigador.

Diseño Lógico. Se realizaron diferentes procesos, como la base de datos "clave-valor"; es un tipo de sistema de almacenamiento de datos NoSQL que almacena datos como pares de clave y valor. Estos elementos son indispensables para el diseño, desarrollo y funcionamiento de una herramienta automatizada, capaz de llevar un procedimiento en papel, a un proceso informático que facilite el registro de datos, consulta y generación de informes. El proceso de abstracción es una metodología que permite al analista de sistemas y al administrador de base de datos, determinar cómo va a fluir la información desde la apreciación del usuario a partir de los formularios hasta su procesamiento.

Automatización de la Aplicación Android

La aplicación Android "Construitca", se basa en un lenguaje de programación JAVA y bajo el paradigma de la programación orientada a objetos. Para los propósitos de la investigación se realizó un proyecto Android basado en las siguientes tecnologías: Visual Studio

Code: un editor de código ligero y muy popular con extensiones para Flutter y Dart. Android Studio: ofrece un entorno de desarrollo completo con soporte nativo para Flutter. Flutter SDK: incluye todo lo necesario para desarrollar y compilar aplicaciones Flutter. Android Emulator: emulador oficial de Android.



Ilustración 2 - Stack de desarrollo móvil.

Gracias al 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; la versión es importante para garantizar una experiencia de uso óptima de la aplicación, ya que algunas funciones podrían no estar disponibles o funcionar de manera adecuada en versiones anteriores del sistema operativo.



Ilustración 3 - Diseño de la aplicación Android.

La aplicación Android "Construitca", proporciona varias alternativas para que los usuarios puedan registrar, supervisar y crear informes de cálculos de materiales de forma individual o en grupo de partidas. La aplicación permite realizar cálculos mucho más rápido, que si se hicieran manualmente. Algunas de las opciones que se han desarrollado incluyen:



Ilustración 4 - Pantalla inicial y acciones comunes de la aplicación.

Gestión de Materiales. Aquí se puede encontrar materiales esenciales con los precios a tomar en cuenta en actividades de albañilería.



Ilustración 5 - Catálogo de precios de materiales.

Gestión de Presupuestos. Ofrece la capacidad de administrar los presupuestos de materiales y mano de obra que han sido calculados por el usuario. Es posible generar presupuestos de materiales por unidades de obra y grupal por actividad.

Generación de Costos. Permite al usuario generar documentos oficiales que le permiten revisar los costos y cotizar precios de proveedores. Es posible generar costeos individuales por cálculo de materiales, de manera que el usuario pueda gestionar de forma eficiente su presupuesto.



Ilustración 6 - Generación de Reportes cantidades y precios de materiales.

Validación de Resultados

La validación se desarrolló en conjunto con estudiantes, investigadores, profesionales y profesores, a través de pruebas de estrés de la aplicación.

Resultados

Se desarrolló la App Construitca que resuelve cálculos de cantidad y costo de materiales, presupuesto de mano de obra por partida y presupuesto total, se enfocó en la construcción de pequeñas obras civiles en las siguientes partidas.

Partidas

- **Excavaciones:** permite calcular los volúmenes de obra definidos por el usuario, permitiendo filtrar las dimensiones del elemento a excavar y brinda el resultado con abundamiento.
- **Albañilería:** permite el cálculo de las siguientes partidas:
 - ✦ Pisos.
 - ✦ Mampostería.
 - Muros de mampostería de piedra.
 - Paredes de ladrillo de obra puesto de lazo.
 - Paredes de ladrillo de obra puesto de canto.
 - Paredes de ladrillo de obra puesto de trinchera.
 - Mampostería de bloque de 10x20x40.
 - Mampostería de bloque de 15x20x40.
 - Mampostería de bloque de 20x20x40.
 - ✦ Afinados.
 - ✦ Morteros.
 - Por proporción volumétrica.
 - Repellos.
 - Superficiales verticales / paredes.
 - En cielos de losa.
 - Cuadrados 20 cm de ancho.
 - Afinados.
 - Superficiales verticales / paredes.
 - En cielos de losa.
 - Cuadrados 20 cm de ancho.
 - ✦ Concretos.
 - Por proporción volumétrica.
 - Losas de concreto simple.
 - Zapatas aisladas.
 - Zapatas corridas.
 - Solera de fundación.
 - Columnas.

Documentación técnica y operativa

- Manual del Usuario.
- Manual del Administrador.
- Manual del Analista: especificaciones técnicas.
- Contenido Multimedia: audio y video.

Conclusiones

El desarrollo y uso de la aplicación Android creada en este proyecto, permite automatizar los procesos de costos, clientes y presupuestos, mejorando la eficiencia y calidad de los servicios brindados y optimizando el tiempo de cálculo de los emprendedores y profesionales del sector construcción.

El uso de una base de datos "clave valor" escalable permitirá al sistema informático su adaptación a los cambios, gracias al funcionamiento lógico del sistema. Permitirá de esta manera utilizarse en un futuro ante nuevas versiones y tecnologías sin afectar su rendimiento.

La capacitación adecuada y la apropiación de la herramienta, le permitirá a los micros y pequeños empresarios y emprendedores en el área de la construcción aumentar su productividad y mejorar la calidad del servicio brindado a la comunidad o clientes.

La aplicación Android, validada por profesionales de Ingeniería Civil, proporciona resultados confiables. La App puede ser descargada de forma gratuita desde la Play Store para ser utilizada como herramienta de apoyo por los micro y pequeños emprendedores en el ramo de la construcción.

Recomendaciones

El usuario de la App debe adoptar una cultura presupuestaria; realizar cálculos de manera regular le permitirá medir su productividad y calidad del servicio.

Utilice la aplicación móvil de manera estratégica, inicialmente la aplicación móvil funcionará como una base de datos portátil en el dispositivo, sin embargo, se recomienda actualizarla para que pueda adoptar un enfoque híbrido, trabajando de manera local y respaldando los datos en la nube. De esta manera, se aprovechará al máximo las ventajas de la tecnología móvil y se mantendrá una copia de seguridad en línea para mayor protección y accesibilidad.

Los resultados eficientes y vigentes de la aplicación dependerán del buen uso que se le dé, por lo que se recomienda mantener siempre los costos de los productos o materiales y de la mano de obra actualizados; esto permitirá mantener márgenes de utilidad que correspondan con la realidad.

Referencias

[1] Manual del constructor: hacia el futuro de la construcción, San Salvador, El Salvador: Producciones Multicom, 2023.

[2] Developers. "Android Studio". Google for Developers. 01 Ene. 2022. [En línea]. Disponible en: <https://developer.android.com/studio?hl=es-419>

INNOVACIÓN DE LA DIDÁCTICA APLICADA EN EL AULA PARA FORTALECER LAS COMPETENCIAS EN MATEMÁTICAS A ESTUDIANTES DE SEGUNDO CICLO DE EDUCACIÓN BÁSICA, EMPLEANDO SCRATCH COMO HERRAMIENTA DE DISEÑO DE VIDEOJUEGOS

Manuel de Jesús Gámez López

Ingeniero en Electrónica. Licenciado en Sistemas Informáticos. Docente Investigador de la Escuela de Ingeniería en Computación. ITCA-FEPADE Centro Regional MEGATEC Zacatecoluca.
Correo electrónico: manuel.gomez@itca.edu.sv

Óscar Armando Sánchez Santos

Ingeniero en Ciencias de la Computación. Docente Coinvestigador de la Escuela de Ingeniería en Computación ITCA-FEPADE, Centro Regional MEGATEC Zacatecoluca.
Correo electrónico: oscar.sanchez@itca.edu.sv

Recibido: 13/06/2024 - Aceptado: 02/10/2024

Resumen

El proyecto fue ejecutado por el Centro Regional MEGATEC Zacatecoluca y presenta una alternativa para el cambio y la mejora continua de la metodología de trabajo para la enseñanza aprendizaje de matemáticas en Segundo Ciclo de Educación Básica. Este artículo muestra el desarrollo de una investigación que tiene como principal objetivo la innovación de la didáctica aplicada en el aula para fortalecer las competencias de los estudiantes. El proyecto se desarrolló empleando la plataforma Scratch como herramienta de diseño y desarrollo para crear videojuegos, que permitan explicar temas de matemáticas con los que los estudiantes presentan dificultades. Estos contenidos fueron seleccionados por profesores especialistas en el área de Centros Escolares Públicos del departamento de La Paz. Los resultados del proyecto son el diseño de 14 videojuegos desarrollados y publicados en un sitio web institucional y en la página web de Scratch. Todos los videojuegos serán usados por docentes de matemáticas como objetos de aprendizaje lúdico para prácticas de refuerzo con los estudiantes de cuarto, quinto y sexto grado.

Palabras clave

Educación basada en competencias, técnicas de enseñanza, Scratch, enseñanza-aprendizaje, tecnología educativa, videojuegos, matemáticas recreativas, dispositivos móviles, métodos de enseñanza, Bootcamp.

INNOVATION OF THE DIDACTICS APPLIED IN THE CLASSROOM TO STRENGTHEN THE MATHEMATICS COMPETENCIES OF STUDENTS IN UPPER ELEMENTARY SCHOOL, USING SCRATCH AS A VIDEO GAME DESIGN TOOL

Abstract

The Centro Regional MEGATEC Zacatecoluca executed this project, which presents an alternative for the change and continuous improvement of the work methodology for teaching and learning mathematics in Upper Elementary School. This article shows the development of a research that has as its primary objective the innovation of didactics applied in the classroom to strengthen students' competencies. The project was developed using the Scratch platform as a design and development tool to create video games to explain mathematics topics with which students have difficulties. These contents were selected by specialist teachers in the area of public schools in the department of La Paz. The project results are the design of 14 video games developed and published on an institutional website and the Scratch web page. Mathematics teachers will use video games as playful learning objects for reinforcement practices with fourth-, fifth-, and sixth-grade students.

Keyword

Competency-based education, teaching techniques, Scratch, teaching and learning, educational technology, video games, recreational mathematics, mobile devices, teaching methods, bootamp.

Introducción

Este artículo presenta alternativas para el cambio y la posibilidad de mejora continua de la metodología de trabajo implementada en el aula, optimizando el Proceso de Enseñanza y Aprendizaje PEA, a través del desarrollo y entrega de Material Didáctico de Matemática

MDM, adaptado al nivel de educación del Segundo Ciclo de Educación Básica. Este material ha sido diseñado para uso y aplicación por medio de dispositivos inteligentes desde el salón de clases; el contenido está de acuerdo a la problemática identificada en el sector educativo, tomando como dato de referencia las estadísticas y pronósticos de bajo rendimiento académico del aprendizaje de matemática desde temprana edad.

La incursión de las Tecnologías de la Información y Comunicaciones TIC, permitirá innovar drásticamente el sector en general y los procedimientos utilizados hasta la fecha para el PEA de las matemáticas, a través del aprovechamiento e involucramiento de la tecnología en el aula. [1]

Se diseñó la metodología de trabajo para la incorporación de las herramientas informáticas y el uso de videojuegos y animaciones y se integran las teorías de las situaciones didácticas de Guy Brousseau. Estas teorías buscan que el profesor genere situaciones a-didácticas que permitan construir conocimiento a través de acciones que hagan uso de objetos cotidianos del entorno, es decir, producir y/o generar conocimiento a través de la interacción con el medio o entorno para que el niño se apropie de los saberes, llevando a la práctica lo aprendido. Bajo esta filosofía de trabajo, el niño toma un rol de protagonista o sujeto activo, y el maestro asume el de un guía en todo el proceso. Se busca que el niño aprenda y no a enseñarle.

De ahí que la base de este proyecto sea proponer una guía metodológica para que el docente implemente el material didáctico de matemáticas desarrollado y fortalecer las competencias en los estudiantes, aprovechando los recursos tecnológicos con los que cuenta el profesor y niños en el aula. Este tipo de proyectos busca generar iniciativas de enseñanza para ofrecer a los estudiantes una formación de calidad y moderna.

Se diseñó material didáctico de matemática para estudiantes de Segundo Ciclo de Educación Básica, a través de la plataforma de programación Scratch. Se implementó un sitio web para optimizar la experiencia de los estudiantes, facilitando el acceso a los videojuegos desarrollados.

El proyecto consideró transferir el conocimiento y la tecnología a docentes de educación básica, para contribuir a mejorar el proceso enseñanza aprendizaje de matemáticas.

Con el diseño de este material didáctico se innovan los procedimientos, herramientas, técnicas, métodos y estrategias aplicados hasta la fecha; toma en consideración la guía metodológica del programa ESMATE del Ministerio de Educación, Ciencia y Tecnología. El material incluye videojuegos, animaciones y uso de dispositivos electrónicos en el aula, computadora, tablet y smartphone.

Desarrollo

La educación es uno de los factores que más influye en el avance y progreso de personas y sociedades. Además de proveer conocimientos, la educación enriquece la cultura, el espíritu, los valores y todo aquello que nos caracteriza como seres humanos; es necesaria en todos los sentidos, por ello, es de gran utilidad realizar aportes que enriquezcan y permitan innovar los procesos de enseñanza y aprendizaje con herramientas informáticas y metodologías lúdicas, usando la tecnología que está a nuestra disposición.

A. Herramienta de trabajo Scratch

Scratch es un lenguaje de programación visual basado en bloques. Está dirigido principalmente a niños y adolescentes de entre 8 y 16 años. Se utiliza para crear historias interactivas, videojuegos y animaciones. Scratch también es una comunidad en línea donde los usuarios pueden compartir sus proyectos con personas de todo el mundo. El link para acceder a esta herramienta es <https://scratch.mit.edu>



Ilustración 1. Entorno gráfico de Scratch utilizado para el desarrollo de los videojuegos

B. Selección de los temas para los videojuegos

En la ilustración 2 se muestra un taller desarrollado con docentes especialistas en matemáticas de Centros Escolares Públicos. El taller tuvo como objetivo la selección de los temas de la currícula de cuarto, quinto y sexto grado para los cuales se harían los videojuegos con Scratch.



Ilustración 2. Docentes especialistas de matemáticas en taller de selección de temas para los videojuegos.

C. Temas seleccionados para el desarrollo de los videojuegos

Se desarrollaron los siguientes 14 videojuegos.

Cuarto Grado. División de números decimales entre 10, 100 y 1000. División y operaciones con paréntesis. Resta de un número mixto menos una fracción propia.

Quinto Grado. Operaciones combinadas. Clasificación y construcción de prismas. Construcción de pentágonos y hexágonos regulares. Suma de ángulos internos de un triángulo, un cuadrilátero y un polígono. Construcción de la gráfica de línea. Cantidad desconocida.

Sexto Grado. Volumen de cubos y prismas rectangulares. Análisis de datos. Cantidades variables y números romanos. Longitud de una circunferencia y área del círculo. División de fracciones y operaciones combinadas.

Resultados

Los videojuegos tienen el objetivo de fortalecer la didáctica aplicada en el proceso de enseñanza aprendizaje y contribuir a desarrollar competencias de matemáticas en estudiantes de Segundo Ciclo. El material se diseñó y creó considerando las necesidades y dificultades expuestas por el personal docente responsable de impartir dichos contenidos en el aula.

A continuación, se muestran los 14 videojuegos desarrollados.



Ilustración 3. Videojuego división de números decimales entre 10, 100 y 1000.



Ilustración 4. Videojuego división y operaciones con paréntesis.



Ilustración 5. Videojuego resta de un número mixto menos una fracción propia.



Ilustración 6. Videojuego de operaciones combinadas.

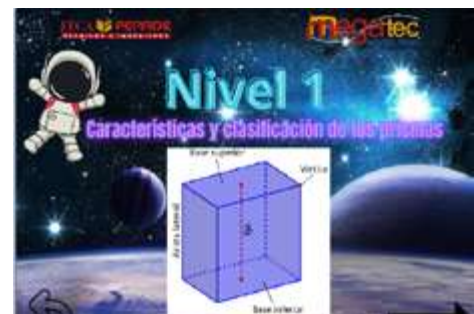


Ilustración 7. Videojuego clasificación y construcción de prismas.



Ilustración 8. Videojuego construcción de pentágonos y hexágonos regulares.



Ilustración 9. Videojuego suma de ángulos internos de un triángulo, un cuadrilátero y un polígono.



Ilustración 10. Videojuego construcción de la gráfica de línea.



Ilustración 11. Videojuego cantidad desconocida.



Ilustración 12. Videojuego volumen de cubos y prismas rectangulares.



Ilustración 13. Videojuego análisis de datos.



Ilustración 14. Cantidades variables y números romanos.



Ilustración 15. Videojuego longitud de una circunferencia y área del círculo.



Ilustración 16. Videojuego división de fracciones y operaciones combinadas.

Para la utilización de los videojuegos en la página web institucional y en la Plataforma Scratch, se diseñaron accesos con códigos QR los cuales se muestran a continuación, así como los enlaces para ingresar a los sitios web.



Ilustración 17. CódigoQR para ver el sitio web institucional del proyecto.
http://20.157.87.28/itca_zacatecoluca/matematicas_scratch/index.html



Ilustración 18. CódigoQR para ver el sitio web del proyecto en la página de Scratch.
<http://scratch.mit.edu/users/megatec-zacatecoluca/>

En la Tabla I se listan los videojuegos desarrollados como resultado de este trabajo de investigación con su respectivo enlace de acceso público para uso en el aula por medio de un dispositivo inteligente con acceso a Internet.

Tabla I. Videojuegos de acceso público.

| N° | Temas | Link de acceso |
|----|---|---|
| 1 | Operaciones combinadas | https://scratch.mit.edu/projects/954445672 |
| 2 | Suma de ángulos internos de un triángulo, un cuadrilátero y un polígono | https://scratch.mit.edu/projects/953504802/ |
| 3 | Cantidad desconocida | https://scratch.mit.edu/projects/954511318/ |
| 4 | Clasificación y construcción de prismas | https://scratch.mit.edu/projects/954532173/ |
| 5 | Volumen de cubos y prismas rectangulares | https://scratch.mit.edu/projects/955224689/ |
| 6 | División entre 10, 100, 1000 | https://scratch.mit.edu/projects/957996636/ |
| 7 | División y operaciones con paréntesis | https://scratch.mit.edu/projects/958009033/ |
| 8 | Análisis de datos | https://scratch.mit.edu/projects/958124185/ |
| 9 | Construcción de la gráfica de línea | https://scratch.mit.edu/projects/958139150/ |
| 10 | Cantidades variables | https://scratch.mit.edu/projects/958153766/ |
| 11 | Construcción de pentágonos y hexágonos regulares | https://scratch.mit.edu/projects/958620401/ |
| 12 | Longitud de una circunferencia y área del círculo | https://scratch.mit.edu/projects/958162187/ |
| 13 | División de fracciones y operaciones combinadas | https://scratch.mit.edu/projects/958647632/ |
| 14 | Resta de un número mixto menos una fracción propia prestando | https://scratch.mit.edu/projects/961565889/ |

Conclusiones

- Cada técnica de aprendizaje es distinta, no se podría decir que alguna en específico es perfecta ya que no todas funcionan para las habilidades de cada alumno. El reto está en el cómo cada docente a través del compromiso pedagógico y disposición a atender de la mejor manera a los estudiantes, se las ingenia estratégicamente para utilizar, acondicionar y aplicar las técnicas en el aula. Es necesario potenciar las técnicas de enseñanza explotando su uso y aplicación en el aula.
- Tras la búsqueda y análisis de aplicaciones para la enseñanza y aprendizaje de matemática básica y programación de forma lúdica se encontró que existen varias alternativas que cumplen el mismo propósito y enfoque de Scratch, por tratarse de programación basada en bloques. No obstante, Scratch es un motor de videojuegos y una plataforma de código abierto que permite colocar el material diseñado en su página web.

- El material didáctico de matemática producido para 4°, 5° y 6° grado, le dio continuidad al proyecto desarrollado en el 2022 para 3° grado de Educación Básica; con estos resultados se ponen a disposición herramientas informáticas lúdicas para ser aplicadas en las aulas.
- Con el diseño de este material didáctico se innovan los procedimientos, herramientas, técnicas, métodos y estrategias aplicados hasta la fecha; toma en consideración las teorías didácticas de Guy Brousseau y la guía metodológica del programa ESMATE del Ministerio de Educación, Ciencia y Tecnología. El material incluye videojuegos, animaciones y uso de dispositivos electrónicos en el aula, computadora, tablet y smartphone.
- Se espera que esta iniciativa pueda ser un referente y aporte a la ciencia de las matemáticas y se pueda continuar desarrollando material lúdico digital innovador para el desarrollo de competencias en esta área.

Recomendaciones

- Es importante buscar, adoptar y aplicar estrategias innovadoras tecnológicas en beneficio de la población estudiantil y personal docente de todo nivel educativo.
- Es importante que las instituciones públicas y privadas mantengan para el personal docente un ciclo de capacitación continua sobre las TIC, para responder adecuadamente a las exigencias de la ciencia y la tecnología en los procesos de enseñanza/aprendizaje.
- Se recomienda que los centros escolares cuenten con docentes capacitados y recursos tecnológicos para la enseñanza a fin de ser competitivos y mejorar el nivel de desarrollo académico.
- Dentro de la búsqueda, selección y producción de material para reforzar los contenidos de matemáticas, se encontraron alternativas de libre acceso en la web, tales como Apps y video tutoriales, que podrían utilizarse en el aula como un material de apoyo para reforzar los contenidos.

Referencias

- [1] M. Ávalos, Como trabajar con las TIC en el aula: Una guía para la acción pedagógica, Buenos Aires, Argentina: Biblos, 2010.
- [2] X. B. Olabe, M. Á. O. Basogain y J.C.O. Basogain, "Pensamiento computacional a través de la programación: Paradigma de aprendizaje", Revista educativa a distancia, vol. 46, no. 6. pp. 1-33. 2015. doi: 10.6018/red/46/6. [En línea]. Disponible en: <https://www.um.es/ead/red/46/Basogain.pdf>
- [3] E. Vásquez-Cano, D. Ferrer Delgado, "La creación de videojuegos con Scratch en Educación Secundaria", Communication Papers-Media Literacy & Gender Studies, vol. 4. no. 6. pp. 63-73, 2015. [en línea]. Disponible en: <https://core.ac.uk/download/pdf/39157622.pdf>
- [4] J. Morales Mora, G. San Cornelio Esquerdo, "La jugabilidad educativa en los serious games", Escuela Arte Diez, no. 1. pp. 1-23, 2016. [En línea]. Disponible en: <https://bitly.nz/LwYCy>

GUÍA DE MÉTODOS Y TÉCNICAS DE ENSEÑANZA UTILIZADAS PARA FORMACIÓN EN DESARROLLO DE SOFTWARE APLICANDO ENFOQUE BASADO EN COMPETENCIAS

Santiago Eduardo Domínguez Mena

Máster en Administración de la Educación. Licenciado en Ciencias de la Computación. Docente Investigador de ITCA-FEPADE Centro Regional MEGATEC Zacatecoluca.
Correo electrónico: sdominguez@itca.edu.sv

Fredy Enrique Granadeño Ramos

Ingeniero Civil. Docente Coinvestigador de la Escuela de Ingeniería en Computación de ITCA-FEPADE Centro Regional MEGATEC Zacatecoluca.
Correo electrónico: fredy.granadeno@itca.edu.sv

Recibido: 26/08/2024 - Aceptado: 01/10/2024

Resumen

En Latinoamérica, existe una creciente demanda de personas formadas en áreas tecnológicas, como el desarrollo de software, por lo que abordar los procesos de formación es pertinente para comprender lo que ocurre en esta área. El objetivo de este proyecto fue "Analizar los métodos y técnicas más efectivos para la enseñanza de competencias de ingeniería en desarrollo de software". Se realizó un estudio exploratorio en todas las sedes de ITCA- FEPADE en El Salvador, donde se imparte la carrera de "Técnico en Ingeniería en Desarrollo de Software". Esto permitió primero, identificar y generar una lista de los métodos y técnicas de enseñanza más aplicados en la enseñanza técnica. Segundo, medir la eficacia para el logro de competencias, a través del análisis de los resultados académicos obtenidos en el ciclo II-2023. Se determinó cuáles fueron los más efectivos que contribuyen de mejor forma para el desarrollo de competencias en la carrera. Sobre la base del estudio y considerando los métodos y técnicas más efectivos, se desarrolló una propuesta de "Guía de métodos y técnicas de enseñanza para la formación en desarrollo de software usando el enfoque basado en competencias". Esta guía se divulgará como un taller formativo para fortalecer las competencias docentes en aspectos didácticos y mejorar los perfiles de salida de los estudiantes de esta carrera.

Palabras clave

Bootcamp, desarrollo de Software, enseñanza-aprendizaje, educación basada en competencias, métodos de enseñanza, tecnología educativa.

GUIDE OF TEACHING METHODS AND TECHNIQUES USED FOR SOFTWARE DEVELOPMENT EDUCATION APPLYING A COMPETENCY BASED APPROACH

Abstract

In Latin America, there is a growing demand for people trained in technological areas, such as software development, so addressing the training processes is relevant to understanding what is happening. This project aimed to analyze the most effective methods and techniques for teaching engineering competencies in software development. An exploratory study was conducted at all ITCA-FEPADE campuses in El Salvador, where Software Development Engineering Technology degree program is taught. First, this allowed identifying and generating a list of the teaching methods and techniques most applied in technical education. Second, the effectiveness of the achievement of competencies can be measured by analyzing the academic results obtained in the second semester of 2023. It was determined which were the most effective ones that contributed to developing competencies in the program. Based on the study and considering the most effective methods and techniques, a proposal for a "Guide of teaching methods and techniques for software development education applying the competency-based approach" was developed. This guide will be disseminated as a training workshop to strengthen teaching competencies in didactic aspects and improve the exit profiles of students in this program.

Keyword

Bootcamp, software development, teaching-learning, competency-based education, teaching methods, educational technology.

Introducción

La formación técnica en desarrollo de software es un área importante y con demanda de técnicos profesionales para insertarse en diversas áreas en las empresas. Este artículo describe el proceso investigativo en esta área de formación, llevado a cabo en ITCA-FEPADE Centro Regional MEGATEC Zacatecoluca.

Este artículo explica cuáles son los métodos y técnicas de enseñanza más utilizados en la carrera de Técnico en Ingeniería en Desarrollo de Software, considerando a los docentes y la población estudiantil de ITCA-FEPADE en sus Centros Regionales Santa Ana, La Unión, San Miguel, Zacatecoluca y Sede Central Santa Tecla. Se analiza la eficacia en el logro de competencias que permite lograr cada método y técnica, tomando como principal indicador los resultados académicos.

En la primera fase de la investigación se identificaron, tanto los métodos como las técnicas aplicadas por los docentes en el proceso enseñanza-aprendizaje. En relación con los resultados obtenidos, se identificó que la selección del método de enseñanza está muy marcada por la estructura de los módulos o el mecanismo de trabajo. Las técnicas más utilizadas son aquellas que se adaptan a las características del grupo de trabajo, herramientas y equipos con los que cuenta tanto el docente como los estudiantes.

Con la identificación de los métodos y técnicas más aplicados se diseñó una guía metodológica con los conceptos, formas, pautas e ideas para su aplicación en función de las herramientas, equipos y características propias de cada grupo de trabajo.

Evaluar y poner en práctica los mejores métodos y técnicas de enseñanza en el área de desarrollo de software, permitirá dar a la sociedad técnicos capaces y actualizados en nuevas tendencias en programación. Facilitará que las instituciones de educación técnica superior permanezcan a la vanguardia en el campo académico y generar conocimientos de actualizadas técnicas de enseñanzas basadas en competencias.

Desarrollo

METODOLOGÍA

El proyecto se desarrolló a través de una investigación exploratoria y descriptiva. Se recolectaron y se describieron los métodos y técnicas más eficaces de enseñanza de Desarrollo de Software de los docentes ITCA-FEPADE, utilizando criterios sistemáticos para medir y evaluar competencias.

El proyecto se desarrolló en las siguientes fases:

Investigación Exploratoria. Se documentaron y caracterizaron los diferentes métodos y técnicas de enseñanza que se utilizan en la carrera Técnico de Desarrollo de Software de la Escuela Especializada en Ingeniería ITCA-FEPADE.

Elaboración de los criterios de evaluación. Se midió la eficacia de los métodos y técnicas para el proceso de evaluación. El resultado fue la instrumentación para evaluar los recursos didácticos aplicados en los módulos de desarrollo de software.

Determinación de métodos y técnicas de enseñanza más efectivos. Diseño de una guía que describe la aplicación de los recursos didácticos más efectivos en la enseñanza de desarrollo de software.

Resultados

El estudio determinó los recursos utilizados por los docentes:

Métodos. 1) Método de Proyectos, 2) Método de Resolución de Problemas y 3) Método Bootcamp.

Técnicas. 1) Aprendizaje Basado en Problemas, 2) Trabajos en Equipo, 3) Prácticas Dirigidas, 4) Demostraciones, 5) Estudio de Casos, 6) Discusiones en Equipo, 7) Simulación de Actividades Profesionales.

1. Método de Proyectos. Es una estrategia pedagógica que implica desarrollar los procesos de enseñanza alrededor de la realización de proyectos, esto permite a los estudiantes aplicar conocimientos y habilidades en contextos prácticos y significativos. Este es uno de los métodos que fomenta más el aprendizaje activo, la resolución de problemas y el trabajo colaborativo.

Objetivo del Método. Desarrollar motivación hacia la búsqueda y producción de conocimientos dado que a través de atractivas experiencias de aprendizaje que involucran a los estudiantes en proyectos complejos y del mundo real, se desarrollan y aplican habilidades y conocimientos. Se recomienda para proyectos multidisciplinarios, módulos de duración extensa en la que se pueden ir controlando los avances.

2. Método de Resolución de Problemas. Consiste en desarrollar sesiones de clase que se concentran en resolver problemas, que usualmente llevan un nivel progresivo de complejidad, a lo largo de un módulo o unidad de aprendizaje, esto prepara al estudiante para desarrollar lógica, estructuras y secuencias para resolver problemas, profundizar en análisis de soluciones y estrategias para abordar problemas grandes, que para el caso de un desarrollador de software, serán útiles para mejorar la comprensión de la lógica computacional y algoritmos empleados comúnmente en sistemas informáticos.

Objetivo del Método. Potenciar las habilidades y capacidades para aprender, comprender y aplicar los conocimientos y favorecer la consecución de un grado elevado de autonomía intelectual que le permita continuar su proceso de formación. Éste se recomienda para contenidos específicos, por ejemplo, desarrollo de una pequeña aplicación, análisis de un sistema o una serie de ejercicios progresivos para la aplicación de estructuras de

programación o diseño de una arquitectura. En el desarrollo de software se recomienda para aspectos específicos de aprendizaje; puede ser para el desarrollo de una tarea específica, resolver algoritmos que requieran uso de arreglos multidimensionales o crear una clase que facilite resolver problemas matemáticos.

3. Bootcamp. Es un método que permite desarrollar competencias profesionales específicas mediante formación intensiva. El Bootcamp se trabaja usualmente en una competencia donde se tienen actividades diversas como demostraciones, prácticas y resolución de problemas, pero principalmente se concentra en generar un producto que plasme al final de la formación el logro de la competencia esperada. El objetivo de éste es fomentar recursos humanos creativos para el sector de la ciencia y la tecnología, aumentar el interés y desarrollo de habilidades del siglo XXI, necesarias para estimular el crecimiento y progreso científico-tecnológico.

Objetivo del Método. Poner en práctica una competencia o potenciarla; desarrollo de proyectos interdisciplinarios; proyecto de capacitación especializado de poca duración; entornos de aprendizaje prácticos e intensivos para identificar las necesidades de la industria y desarrollar habilidades digitales y socioemocionales como el trabajo en equipo.

Luego del análisis de la efectividad de los métodos y técnicas utilizadas, se obtuvo los siguientes resultados.

Análisis de Métodos de Enseñanza

Método de Proyectos. Es el método que más se aplica dentro de la muestra de la investigación, alcanzando un promedio de 8.4 y una efectividad de 97.2%. Se identificó que un buen número de docentes prefiere este método por la metodología de trabajo, herramientas, equipos y por consecución de un producto final que le permite al docente evaluar el logro de las competencias propuestas. La muestra seleccionada tiene una representatividad de 80.1%.

Método de Resolución de Problemas. Es uno de los métodos más aplicados en el área de Desarrollo de Software por la dinámica de trabajo que le permite al docente empoderar a los estudiantes en la solución de problemas reales, logrando un promedio de 8.3 y una efectividad de 94.4% en la muestra seleccionada, con una representatividad de la muestra de 12.6%.

Bootcamp. Es una nueva metodología de enseñanza que, debido a las tendencias y a las exigencias del sector productivo en ciertas áreas, permite que los estudiantes se formen de manera intensiva y rápida en ciertas áreas. Este método logró el 100% de efectividad y un promedio de 8.8. Sin embargo, es importante destacar que el número de estudiantes que se sometieron a este

método comparado con los dos primeros es muy pequeño lo cual lleva a una representatividad de la muestra de solo el 7.3%.

Al analizar la variable efectividad de los métodos con el indicador de rendimiento académico, se obtuvo los datos que se muestran en la Figura 1.



Figura 1. Cuadro de medición de resultados de efectividad de los métodos de enseñanza

En la figura 1, se puede identificar que el método Bootcamp genera mejor rendimiento académico que los otros 2 métodos mejor evaluados. Sin embargo, el Método de Proyectos, cuya aplicación es tradicional debido al diseño curricular y descriptores de módulo, es el método que más se aplica dentro de la muestra de la investigación, alcanzando promedio de 8.4 y efectividad de 97.2%. Se identificó que un buen número de docentes prefiere este método por la metodología de trabajo, herramientas, equipos y por consecución de un producto final que le permite al docente evaluar el logro de las competencias propuestas. La muestra seleccionada tiene una representatividad de 80.1%

En el método de enseñanza por proyectos, los estudiantes suelen trabajar en grupos, investigando y explorando un tema o problema específico. El rol del docente es el de facilitador, orientando a los estudiantes en la selección del proyecto, proporcionando recursos y apoyando el desarrollo de habilidades como la gestión del tiempo, el pensamiento crítico y la colaboración. [1]

Los métodos según los resultados, se identifican como más efectivos los que están implícitos en el aprendizaje cooperativo, que según Vallet permite la construcción y mantenimiento compartido entre alumnos y docentes de la tarea, los objetivos, las responsabilidades y los productos de aprendizaje [2]

El método de resolución de problemas es otro de los métodos más aplicados en el área de Desarrollo de Software, debido a la dinámica de trabajo que le permite al docente empoderar a los estudiantes en la solución de problemas reales, logrando un promedio de 8.3 y una efectividad de 94.4% en la muestra seleccionada.

Lo anterior permite identificar que los métodos más efectivos son los

que facilitan actividades centradas en la práctica y en el desarrollo de competencias.

Análisis de Técnicas de Enseñanza

Trabajo en Equipo. Es la técnica más utilizada por los docentes; permite que los estudiantes se integren en pequeños grupos de trabajo logrando el alcance de las competencias planteadas. La investigación identificó que esta técnica se utiliza por la naturaleza de los grupos de estudiantes, las herramientas y equipos con los que se cuenta. La técnica obtuvo un promedio de 8.4 con una efectividad de 96.8% y una representatividad en la muestra de 92.7%.

El trabajo en equipo, no solo es una técnica de enseñanza sino que una de varias formas de trabajo colaborativo que mejoran y facilitan el desarrollo de competencias humano-sociales, que muchas veces en la educación técnica se dejan de lado. [3]

Prácticas Dirigidas. La técnica le permite al docente mantener el control y seguimiento de todo el grupo de trabajo en el área de desarrollo de software; es una de las técnicas más efectivas. Obtuvo un promedio de 8.3, una efectividad de 96.7% y una representatividad de 69.5%.

Aprendizaje Basado en Problemas. El objetivo es que los estudiantes puedan lograr las competencias planteadas mediante la solución de problemas reales y de su entorno, permite que los estudiantes desarrollen el pensamiento crítico. Tuvo un promedio de 8.4, una efectividad de 96.3% y una representatividad de 52.9%.

Estudio de Casos. Esta técnica es poco utilizada dentro de la investigación. Permite que los estudiantes puedan brindar solución a problemas desde diferentes perspectivas. Tuvo un promedio de 8.5 y una efectividad del 98.3%; es una de las más altas en la investigación, pero con un grupo reducido de la muestra que solo alcanza el 45.3% de representatividad.

Demostraciones. Es la técnica con mayor efectividad en la investigación 98.8%, con promedio de 8.6, pero con una de las más bajas representaciones de la muestra 25.4%. El estudio identificó que esta herramienta, en la cual el docente primero enseña a los estudiantes cómo hacer ciertas actividades para que luego ellos las realicen, no favorece el desarrollo de las sesiones dentro del área de desarrollo de software.

Simulación de Actividades Profesionales. Es una de las técnicas menos utilizadas. Alcanzó una representatividad de la muestra de 5.0% alcanzando promedio de 8.3 y una efectividad del 96.9%. Se evidenció que, para el desarrollo de ésta, se necesita involucrar a los estudiantes con el sector productivo para que obtenga más peso en el proceso de aprendizaje.

Discusiones en Equipo. Es la técnica menos utilizada por los docentes. La información recolectada manifiesta que la técnica no le

permite al estudiante desarrollar un producto final (programa, App u otro) y que solo puede ser aplicado en ciertas actividades específicas. Obtuvo un promedio de 8.5 con una efectividad del 94.9 % y una representatividad de la muestra del 9.2%.

En el estudio de las técnicas que se emplean principalmente para desarrollar módulos y competencias con mejor rendimiento académico, se obtuvieron los resultados que se muestran en la Figura 2 y 3.



Figura 2. Cuadro de medición de resultados de efectividad de técnicas de enseñanza.



Figura 3. Gráfica de técnicas de enseñanza mejor evaluadas.

En la figura 3 se observa que el trabajo en equipo, las prácticas dirigidas y el aprendizaje basado en problemas son las técnicas mejor evaluadas. Sin embargo, existen otras que tienen puntajes cercanos y que difícilmente se puede discriminar entre ellas, ya que los docentes no emplean solo una o dos técnicas en sus clases, sino que aplican estrategias que combinan usualmente al menos dos técnicas en el desarrollo de sus clases o acciones formativas. [4]

Guía de métodos y técnicas de enseñanza para la formación en desarrollo de software usando el enfoque basado en competencias. Luego de identificar los métodos y técnicas más efectivos en los procesos de enseñanza de desarrollo de software estudiados, se elaboró una guía descriptiva de métodos y técnicas. Tiene el propósito de generar una documentación de referencia para los docentes que trabajan en esta área. Esta guía podrá ser utilizada para implementar talleres prácticos con docentes.

Conclusiones

1. Con relación a los resultados obtenidos, se identificó que la selección del método de enseñanza está muy marcada por la estructura de los módulos o mecanismos de trabajo. Las técnicas más utilizadas son aquellas que se adaptan a las características del grupo de trabajo, herramientas y equipos con los que cuentan tanto docentes como estudiantes. Esta información sirve como insumo para medir la eficiencia de las técnicas a través del rendimiento académico de los estudiantes.
2. A través del desempeño de los estudiantes y con una lista de métodos y técnicas que se ejecutaban durante el ciclo II 2023, se logró medir la eficiencia, en función del número de aprobados para cada método y técnica, así como la representatividad del resultado medido a través del número de estudiantes sometidos a cada método.
3. Por los resultados obtenidos del estudio efectuado en los 5 campus de ITCA-FEPADE, se pudo identificar que los métodos que más se utilizan para la formación por competencias en el desarrollo de software son el Método de Proyectos y el Método de Resolución de Problemas.
4. Bootcamp es una nueva metodología de enseñanza que, debido a las tendencias y a las exigencias del sector productivo en ciertas áreas, permite que los estudiantes se formen de manera intensiva y rápida en ciertas áreas.
5. Trabajo en equipo es la técnica más utilizada por los docentes de ITCA-FEPADE que participaron en este estudio. Permite que los estudiantes se integren en pequeños grupos de trabajo logrando el alcance de las competencias planteadas.
6. La identificación y selección de los métodos y técnicas más aplicados en el área de la Ingeniería de Desarrollo de Software permitió diseñar una guía metodológica con los conceptos, formas, pautas e ideas para aplicarlos en función de las herramientas, equipos y características propias de cada grupo de trabajo.

Recomendaciones

- ✦ Es importante flexibilizar la estructura de los módulos de enseñanza para que el docente valore la diversificación y experimentación de otros métodos y técnicas.
- ✦ Es importante que el personal docente tenga el dominio de métodos y técnicas para aplicarlos y evaluar su uso en pro de lograr mayor efectividad en los procesos de enseñanza y la formación de competencias.
- ✦ El método Bootcamp se identifica con mucho potencial para su aplicabilidad y buenos resultados, por lo que se invita a estudiarlo, practicarlo y valorar su aplicación en los módulos de la carrera.

- ✦ Promover en el personal docente investigación-acción con el fin de estudiar, evaluar y utilizar otros métodos y técnicas de enseñanza centrados en el estudiante.
- ✦ La aplicación de diferentes métodos y técnicas de enseñanza están definidas por los conocimientos y habilidades del docente, por lo que será necesario capacitarlos bajo un modelo estándar que permita que todos desarrollen las actividades bajo las mismas condiciones. Esto implica que todos los grupos de estudio deberán tener igualdad, tanto en herramientas como en software, de esta manera se logrará una comparación efectiva entre cada uno de los métodos y técnicas de enseñanza aprendizaje.
- ✦ Deberá de socializarse la Guía Metodológica para que los docentes de los 5 campus de ITCA-FEPADE, conozcan con claridad las etapas, pasos y actividades a desarrollar para ejecutar, controlar y evaluar cada uno de los métodos y técnicas de enseñanza identificados en la presente investigación.
- ✦ Para acceder a la "Guía de métodos y técnicas de enseñanza para la formación en desarrollo de software, usando el enfoque basado en competencias", ésta se encuentra disponible, como un anexo del Informe Final Año 2023 de este proyecto, en el sitio web de ITCA-FEPADE, apartado Investigación y Proyección Social, Producción Académica.

Referencias

- [1] O. Haatainen, M. Aksela "Project-based learning in integrated science education: active teachers perceptions and practices" LUMAT General, vol.9 no. 1. pp. 1-25, 2021. doi: <https://doi.org/10.31129/LUMAT.9.1.1392>. [En línea]. Disponible en: <https://acortar.link/e62mql>
- [2] T. R. Vallet, "Eficacia en las técnicas de aprendizaje", European Research, vol. 1, no. 13, pp. 17-24, 2016.
- [3] J. G. Martín, J. E. Pérez Martínez, "Aprendizaje basado en proyectos: método para el diseño de actividades," Revista Tecnología, Ciencia y Educación, no.10. pp. p. 37-63. May./Ago. 2018. doi: <https://doi.org/10.51302/tce.2018.194>. [En línea]. Disponible en: <https://lc.cx/7uPIFG>
- [4] C. R. Paredes-Curín, "Aprendizaje basado en problemas", Revista Electrónica EDUCARE, vol. 20. no. 1. pp. 1-26. Ene./Abr. 2016. doi: <http://dx.doi.org/10.15359/ree.20-1.6>. [En línea]. Disponible en: <https://www.scielo.sa.cr/pdf/ree/v20n1/1409-4258-ree-20-01-00119.pdf>

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://ieeuniversidadecci.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

