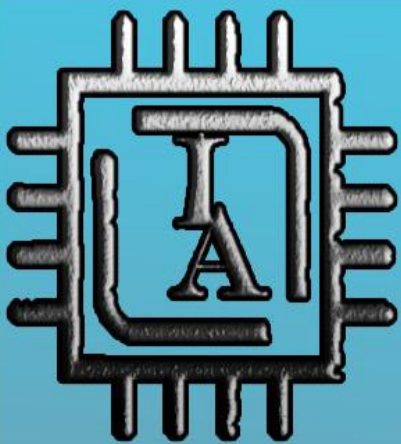




Nº 19 JUNIO 2025

INVESTIGACIÓN APLICADA, UN ENFOQUE EN LA TECNOLOGÍA

En este número:

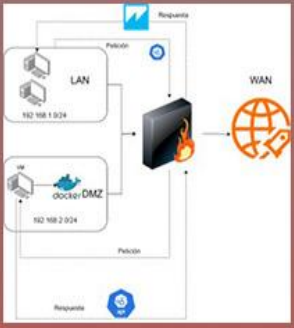
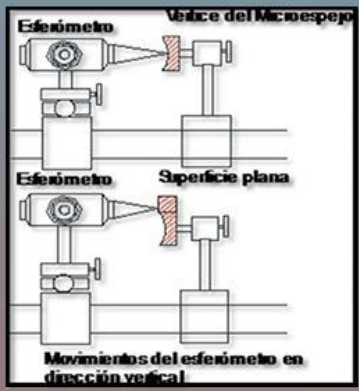
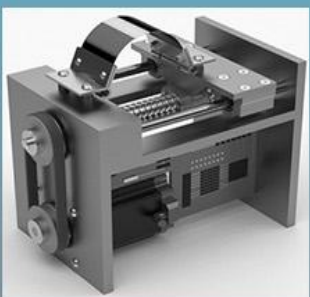
Análisis físico-mecánico de bloques de concreto macizo y sus agregados, fabricados en los municipios de San Agustín Metzquititlán y Zacualtipán de Ángeles, Hidalgo

Flexometer: A Method for Studying Electronic and Mechanical Behavior in Flexible Substrate

Caracterización Óptica de Micro Depresiones Ópticas Fabricadas en Silicio

Análisis de bloques de concreto con caucho triturado y concreto reciclado como materiales alternativos en la construcción

Implementación de una arquitectura de servicios web seguros basado en contenedores: buenas prácticas



Visita:

<https://www.investigacionaplicadarevista.com/>
Editorial ZSE

Arbitrada e Indexada

DOI

10.60968/iaet.3594-035X

Página Editorial

INVESTIGACIÓN APLICADA, UN ENFOQUE EN LA TECNOLOGÍA

Año 10, No. 19, enero-junio 2025, es una publicación electrónica semestral editada por Zulma Sánchez Estrada. Av. de Las Rosas 260A, Fracc. Hda. Real de Tultepec, Tultepec, Edo. de México,

C.P. 54987, E-mail:

investigacionaplicada4@gmail.com

Editores responsables: Zulma Sánchez Estrada, Jorge Noriega Zenteno, Jorge Aarón Noriega Sánchez. Reserva de Derechos al Uso Exclusivo No. 04-2022-010414492600-203, ISSN: 3594-035X, ambos otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor. Responsable de la última actualización de este número, Zulma Sánchez Estrada, Av. de Las Rosas 260A, Fracc. Hda. Real de Tultepec, Tultepec, Edo. de México, C.P. 54987, fecha de última modificación, 30 de junio 2025.

Las opiniones expresadas por los autores no necesariamente reflejan la postura de los editores de la publicación.

Queda estrictamente prohibida la reproducción total o parcial de los contenidos e imágenes de la publicación sin previa autorización de los editores.

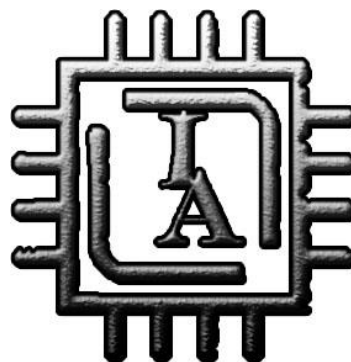
Revista Indexada y Arbitrada

Folio Latindex: 28438

<https://www.latindex.org/latindex/Solr/Busqueda?idModBus=0&buscar=investigaci%C3%B3n+aplicada%2C+un+enfoque+en+la+tecnología%C3%ADa&submit=Buscar>

DOI

[10.60968/iaet.3594-035X](https://doi.org/10.60968/iaet.3594-035X)



La revista **Investigación Aplicada, un Enfoque en la Tecnología** es una publicación periódica, indexada, arbitrada y registrada ante el Instituto Nacional del Derecho de Autor, que tiene como propósito principal divulgar el trabajo científico de investigadores e investigadoras, por tal motivo, los artículos publicados tienen relación con el trabajo y aplicación de la Investigación en general y con las derivaciones de la ingeniería que se desarrollan en el ámbito de la investigación en particular.

La revista **Investigación Aplicada, un Enfoque en la Tecnología** es una publicación Indexada, arbitrada y cuenta con **DOI**. (Digital Object Identifier) (Registro Europeo).

Acerca de la revista

El comité editorial de **Investigación Aplicada, un Enfoque en la Tecnología**, está formado por investigadores con una trayectoria destacada en el ámbito laboral y de investigación, que en conjunto forman una fuerza interdisciplinaria para dar prestigio y sustento al contenido de la revista.

Comité Editorial

Dra. Zulma Sánchez Estrada

Dr. Jorge Noriega Zenteno

Ing. Jorge Aarón Noriega Sánchez

Contacto

Contactar con la revista

Email: investigacionaplicada4@gmail.com

<https://www.investigacionaplicadarevista.com/>

Contacto principal

Dra. Zulma Sánchez Estrada

Celular: 55-13-47-71-04

Correo electrónico: zul_zul_1@hotmail.com

Dr. Jorge Noriega Zenteno

Celular: 55-11-26-55-27

Correo electrónico: jorge_sup@hotmail.com

PROCESO DE EVALUACIÓN

01 Recepción de artículos

Se reciben los artículos de acuerdo con el formato autorizado por la revista, así como la carta de **“Declaración de Originalidad”** firmada por los autores involucrados en el artículo, esto se conoce por medio de una convocatoria interna y externa de la página electrónica y otros modos de difusión, se revisa que el artículo cumpla con los estándares y lineamientos de la revista. Si el resultado de la revisión no se alinea a los requerimientos se notificará al autor de dicha resolución por medio de un correo electrónico; pero si el artículo cumple con lo establecido se reenvía un correo para notificar la aceptación junto con una carta emitida por el comité Editorial **“Carta de aceptación”** y se continuará con el siguiente proceso. El proceso de aceptación consta de 20 días hábiles desde la entrega del artículo.

02 Revisión por el Comité Revisor

Los artículos recibidos serán turnados para su revisión inicial al Comité Revisor, que analizará el contenido y presentación del trabajo de acuerdo con la temática de nuestra revista, así como la redacción y si se presenta plagio del escrito. En caso de existir un fallo no favorable por parte del comité revisor, se les comunicará a los autores que dicho artículo no es aceptado por las razones que serán explicadas en el formato de revisión. En el caso de artículos autorizados, se iniciará el proceso de evaluación con la correspondiente notificación a los autores.

03 Asignación de Evaluadores

Se enviarán invitaciones a los árbitros sugeridos por el Comité Revisor. El artículo es revisado en pares, por lo que la revisión y comentarios serán por ambos expertos. Los posibles evaluadores deberán cumplir con los siguientes requerimientos:

Contar con experiencia en investigación y experiencia empresarial de por lo menos tres años y haber publicado por lo menos un artículo y/o, libro y contar con una distinción honorífica.

04 Evaluaciones

Los revisores tienen un sentido amplio de la ética, por lo que siguen los lineamientos de evaluación sin ser parciales. El periodo de evaluación no es más de 20 días hábiles, a lo que corresponde a este tiempo se puede sugerir al autor que realice modificaciones y las reenvíe; en el momento del reenvío de las correcciones se vuelven a contar 10 días hábiles.

Después de revisar nuevamente el artículo ya con las correcciones hechas de acuerdo con los lineamientos, se le enviará una notificación vía correo electrónico con la respuesta del comité si se es aceptado o rechazado, con su debida justificación.

Si la justificación no es aceptada por el autor, puede enviar un correo electrónico dando su opinión al respecto pidiendo una ronda extra de revisión. Esta ronda extra pasará a un tercer evaluador diferente al primero y segundo.

Al finalizar las evaluaciones y si los artículos son aceptados se enviará un comunicando de su aceptación y se reenviará una sesión de derechos para ser publicada en la misma.

05 Pago

Una vez aceptado el artículo por los revisores se procederá a hacer el pago correspondiente para la publicación de este y se procederá a enviar su comprobante de pago, junto con el nombre del artículo a postular al correo de la revista, para continuar con el proceso.

(Ver términos y condiciones) <https://www.investigacionaplicadarevista.com/terminos-condiciones>

Proceso de publicación

1. Lanzamiento de la convocatoria.
2. Consulta del formato (plantilla) para la captación del artículo.
3. Carta de **“Declaración de Originalidad”** del artículo.
4. Subir el artículo en formato **Word** junto con la carta de originalidad en formato **PDF** a la siguiente dirección: **investigacionaplicada4@gmail.com**
5. Se pasa al Comité Evaluador.
6. Se tiene respuesta en 10 días hábiles.
7. Si el artículo presenta recomendaciones a corregir por parte de los revisores, se envía el artículo con las recomendaciones a corregir al autor principal para atención de las mismas.
 - a. Se corrigen las recomendaciones y son enviadas nuevamente al correo de la revista.
 - b. Son revisadas nuevamente por el comité revisor y cuenta con 5 días hábiles para dar contestación.
 - c. Si cumplen con los requerimientos del formato de la revista es aceptado el artículo.
8. Si el artículo es aceptado se envía una **“Carta de aceptación”** por parte del comité editor.
9. Se procederá a realizar el pago correspondiente para la publicación.
10. El autor principal enviará el comprobante de pago junto con el nombre del artículo postulado para el proceso de confirmación del pago.
11. Se tendrán 3 días hábiles para mandar la factura y constancias después de recibido el comprobante de pago al correo de la revista.
12. Encaso de solicitar **DOI** el proceso de entrega de constancias es de 7 días hábiles después de recibido el comprobante de pago, por motivos de revisión del artículo por parte del índice europeo contratado.
13. El artículo se publicará hasta la fecha asignada que son el 1º julio y 2 de enero en la página oficial de la revista.
14. Se tendrán de plazo de 3 días hábiles para realizar modificaciones o adecuaciones de la página después de ser publicada la página, por lo que la edición formal será después de ese tiempo.
15. Si se presenta una contingencia gubernamental o de salud nacional las fechas de publicación pueden ser modificadas de acuerdo a las ordenes o permisos nacionales, si es que está implicado las tecnologías.

Contenido

Contenido

Análisis físico-mecánico de bloques de concreto macizo y sus agregados, fabricados en los municipios de San Agustín Metzquititlán y Zacualtipán de Ángeles, Hidalgo	1
DOI: 10.60968/iaet.3594-035X.856	1
<i>INTRODUCCIÓN</i>	2
<i>OBJETIVO GENERAL</i>	3
<i>OBJETIVOS ESPECÍFICOS</i>	3
<i>OBJETO DE ESTUDIO</i>	3
<i>METODOLOGÍA</i>	4
<i>FASES DE DESARROLLO</i>	4
<i>RESULTADOS Y CONCLUSIONES</i>	13
<i>BIBLIOGRAFÍA</i>	13
Flexometer: A Method for Studying Electronic and Mechanical Behavior in Flexible Substrate	14
DOI: 10.60968/iaet.3594-035X.860	14
<i>INTRODUCTION</i>	15
<i>DEVELOPMENT</i>	15
<i>METHODOLOGY</i>	16
<i>PHASES OF DEVELOPMENT</i>	16
<i>RESULTS AND DISCUSSION</i>	17
<i>CONSLUSIONS</i>	19
<i>BIBLIOGRAPHY</i>	20
Comunicación: elemento clave en una organización. Problemas y propuestas de solución	21
DOI: 10.60968/iaet.3594-035X.861	21
<i>INTRODUCCIÓN</i>	22
<i>DESARROLLO</i>	22
<i>OBJETIVO GENERAL Y OBJETIVOS ESPECÍFICOS</i>	23
<i>OBJETO DE ESTUDIO</i>	23
<i>METODOLOGÍA</i>	23
<i>FASES DEL DESARROLLO</i>	24
<i>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</i>	25
<i>CONCLUSIÓN</i>	30
<i>BIBLIOGRAFÍA</i>	30

Caracterización Óptica de Micro Depresiones Ópticas Fabricadas en Silicio	31
DOI: 10.60968/iaet.3594-035X.862	31
<i>INTRODUCCIÓN</i>	32
<i>DESARROLLO</i>	32
<i>OBJETIVO GENERAL:</i>	32
<i>OBJETIVOS ESPECÍFICOS:</i>	32
<i>METODOLOGIA</i>	32
<i>FASES DEL DESARROLLO</i>	33
<i>RESULTADOS</i>	36
<i>CONCLUSIONES</i>	39
<i>REFERENCIAS</i>	40
Análisis de bloques de concreto con caucho triturado y concreto reciclado como materiales alternativos en la construcción	41
DOI: 10.60968/iaet.3594-035X.864	41
<i>INTRODUCCIÓN</i>	42
<i>OBJETIVO GENERAL</i>	42
<i>OBJETIVOS ESPECÍFICOS</i>	42
<i>OBJETO DE ESTUDIO</i>	42
<i>METODOLOGÍA</i>	42
<i>FASES DEL DESARROLLO:</i>	43
<i>RESULTADOS</i>	50
<i>BIBLIOGRAFÍA</i>	51
Implementación de una arquitectura de servicios web seguros basado en contenedores: buenas prácticas	52
DOI: 10.60968/iaet.3594-035X.865	52
<i>INTRODUCCIÓN</i>	53
<i>DESARROLLO</i>	53
<i>OBJETIVO GENERAL Y OBJETIVOS ESPECÍFICOS</i>	53
<i>OBJETO DE ESTUDIO</i>	53
<i>METODOLOGÍA</i>	54
<i>FASES DEL DESARROLLO</i>	54
<i>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</i>	58
<i>CONCLUSIÓN</i>	60
<i>REFERENCIAS</i>	62
Administración del Inventario a través de modelos de cantidad económica de pedido (EOQ)	63
DOI: 10.60968/iaet.3594-035X.792	63
<i>INTRODUCCIÓN</i>	64

<i>DESARROLLO</i>	64
<i>OBJETIVO GENERAL Y OBJETIVOS ESPECÍFICOS</i>	64
<i>OBJETO DE ESTUDIO</i>	64
<i>METODOLOGÍA</i>	65
<i>FASES DEL DESARROLLO</i>	65
<i>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</i>	68
<i>CITAS DE TEXTO</i>	69
Tratamiento de aguas residuales utilizando <i>Colocasia esculenta</i> y <i>Xanthosoma sagittifolium</i>	70
DOI: 10.60968/iaet.3594-035X.868	70
<i>INTRODUCCIÓN</i>	71
<i>DESARROLLO</i>	72
<i>OBJETIVO GENERAL Y OBJETIVOS ESPECÍFICOS</i>	72
<i>METODOLOGÍA</i>	72
<i>FASES DEL DESARROLLO</i>	72
<i>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</i>	74
<i>CONCLUSIÓN</i>	80
<i>BIBLIOGRAFÍA</i>	80
Panorama actual de la tecnología usada en los museos para la apropiación del conocimiento	83
DOI: 10.60968/iaet.3594-035X.867	83
<i>INTRODUCCIÓN</i>	84
<i>DESARROLLO</i>	84
<i>OBJETIVO GENERAL Y OBJETIVOS ESPECÍFICOS</i>	84
<i>OBJETO DE ESTUDIO</i>	84
<i>METODOLOGÍA</i>	84
<i>FASE DEL DESARROLLO</i>	85
<i>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</i>	86
<i>CONCLUSIÓN</i>	90
<i>BIBLIOGRAFÍA</i>	90
Diseño de Aplicación Automatizada de Hardening en Servidores Críticos	92
DOI: 10.60968/iaet.3594-035X.869	92
<i>INTRODUCCIÓN</i>	93
<i>DESARROLLO</i>	93
<i>OBJETIVO GENERAL</i>	94
<i>OBJETIVOS ESPECÍFICOS</i>	94

<i>OBJETO DE ESTUDIO</i>	94
<i>METODOLOGÍA</i>	94
<i>FASES DEL DESARROLLO</i>	95
<i>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</i>	95
<i>CONCLUSIÓN</i>	96
<i>BIBLIOGRAFÍA</i>	96
Características fisicoquímicas del tallo del girasol silvestre (<i>Helianthus Annuus L.</i>)	97
DOI: 10.60968/iaet.3594-035X.870	97
<i>INTRODUCCIÓN</i>	98
<i>DESARROLLO</i>	98
<i>OBJETIVO GENERAL Y OBJETIVOS ESPECÍFICOS</i>	98
<i>OBJETIVOS ESPECÍFICOS</i>	98
<i>OBJETO DE ESTUDIO</i>	98
<i>METODOLOGÍA</i>	98
<i>FASES DEL DESARROLLO 1:</i>	98
<i>FASES DEL DESARROLLO 2:</i>	98
<i>FASES DEL DESARROLLO 3:</i>	99
<i>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</i>	99
<i>CONCLUSIÓN</i>	101
<i>REFERENCIAS</i>	102
Innovación digital para la preservación del hábitat rural sostenible	103
DOI: 10.60968/iaet.3594-035X.871	103
<i>INTRODUCCIÓN</i>	104
<i>DESARROLLO</i>	104
<i>OBJETIVO GENERAL Y OBJETIVOS ESPECÍFICOS</i>	104
<i>OBJETO DE ESTUDIO</i>	104
<i>METODOLOGÍA</i>	108
<i>FASES DEL DESARROLLO</i>	109
<i>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</i>	111
<i>CONCLUSIÓN</i>	112
<i>BIBLIOGRAFÍA</i>	114
Empoderando a Educadores: Superando la Brecha Tecnológica en el Aula	115
DOI: 10.60968/iaet.3594-035X.873	115
<i>INTRODUCCIÓN</i>	116

<i>HIPÓTESIS</i>	116
<i>DESARROLLO</i>	116
<i>OBJETIVO GENERAL Y OBJETIVOS ESPECÍFICOS</i>	117
<i>OBJETO DE ESTUDIO</i>	117
<i>METODOLOGÍA</i>	117
<i>FASES DEL DESARROLLO</i>	118
<i>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</i>	121
<i>CONCLUSIÓN</i>	121
<i>BIBLIOGRAFÍA</i>	122
Diseño e integración de un sistema de conmutación automática en un sistema fotovoltaico híbrido para uso doméstico	123
DOI: 10.60968/iaet.3594-035X.875	123
<i>INTRODUCCIÓN</i>	124
<i>DESARROLLO</i>	126
<i>OBJETIVO GENERAL Y OBJETIVOS ESPECÍFICOS</i>	126
<i>OBJETO DE ESTUDIO</i>	126
<i>METODOLOGÍA</i>	126
<i>FASES DEL DESARROLLO</i>	129
<i>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</i>	130
<i>CONCLUSIÓN</i>	132
<i>BIBLIOGRAFÍA</i>	133
Qué tan trascendental son los laboratorios de cómputo en una carrera de Tecnologías de la Información	134
<i>1. INTRODUCCIÓN</i>	135
<i>2. OBJETO DE ESTUDIO</i>	136
<i>3. METODOLOGÍA</i>	139
<i>4. DESARROLLO.</i>	144
<i>5. RESULTADOS</i>	149
<i>6. CONCLUSIONES</i>	155
<i>7. RECOMENDACIONES</i>	156
<i>8. REFERENCIAS</i>	156
Caracterización física y mecánica de bloques de concreto con fragmentos de piedra pómez como agregado	157
<i>INTRODUCCIÓN</i>	158
<i>DESARROLLO</i>	158
<i>OBJETIVO GENERAL</i>	158
<i>OBJETIVOS ESPECÍFICOS</i>	158

<i>OBJETO DE ESTUDIO</i>	158
<i>METODOLOGÍA</i>	159
<i>RESULTADOS</i>	162
<i>CONCLUSIONES</i>	169
<i>BIBLIOGRAFÍA</i>	170
Aprendizaje automático para lenguas de bajos recursos: aplicación a la Traducción Automática Náhuatl-Español	171
<i>INTRODUCCIÓN</i>	172
<i>DESARROLLO</i>	175
<i>OBJETIVO GENERAL</i>	176
<i>OBJETIVOS ESPECÍFICOS</i>	176
<i>OBJETO DE ESTUDIO</i>	176
<i>METODOLOGÍA</i>	176
<i>BIBLIOGRAFÍA</i>	179
Sistema Seis Sigma como estrategia de mejora en empresa automotriz en el área de ventas.	180
<i>INTRODUCCIÓN</i>	181
<i>DESARROLLO</i>	181
<i>OBJETIVO GENERAL Y OBJETIVOS ESPECÍFICOS</i>	182
<i>OBJETO DE ESTUDIO</i>	182
<i>METODOLOGÍA</i>	182
<i>FASES DEL DESARROLLO</i>	183
<i>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</i>	187
<i>CONCLUSIÓN</i>	188
<i>BIBLIOGRAFÍA</i>	188
Aplicación para la Gestión de Datos Inteligente	190
<i>INTRODUCCIÓN</i>	191
<i>DESARROLLO</i>	191
<i>OBJETIVO GENERAL Y OBJETIVOS ESPECÍFICOS</i>	191
<i>OBJETO DE ESTUDIO</i>	192
<i>METODOLOGÍA</i>	192
<i>FASES DEL DESARROLLO</i>	192
<i>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</i>	196
<i>CONCLUSIÓN</i>	199
<i>BIBLIOGRAFÍA</i>	199
Aplicación de realidad aumentada para divulgación de las especies que habitan la Laguna de las Ilusiones	200
<i>INTRODUCCIÓN</i>	201

<i>DESARROLLO</i>	201
<i>OBJETIVO GENERAL Y OBJETIVOS ESPECÍFICOS</i>	201
<i>OBJETO DE ESTUDIO</i>	201
<i>METODOLOGÍA</i>	202
<i>FASES DEL DESARROLLO</i>	202
<i>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</i>	208
<i>CONCLUSIÓN</i>	210
<i>BIBLIOGRAFÍA</i>	211

Análisis físico-mecánico de bloques de concreto macizo y sus agregados, fabricados en los municipios de San Agustín Metzquititlán y Zacualtipán de Ángeles, Hidalgo

DOI: 10.60968/iaet.3594-035X.856

Arturo Arellano Hernández¹, José Antonio Cortés Benítez², Armando Gómez Trinidad³, José Alfonso Martínez Muñoz⁴, Shang Chi Moreno⁵

¹Universidad Politécnica de Francisco I. Madero/e-mail: aarellano@upfim.com.mx

²Universidad Politécnica de Francisco I. Madero/e-mail: jacortes@upfim.com.mx

³Universidad Politécnica de Francisco I. Madero/e-mail: argomez@upfim.edu.com.mx

⁴Universidad Politécnica de Francisco I. Madero/e-mail: jamartinez@upfim.edu.com.mx

⁵Laboratorio Terzaghi/e-mail: atomo010@hotmail.com

Línea de investigación: caracterización físico-mecánica de materiales utilizados en la construcción.

RESUMEN

En este trabajo se estudiaron bloques de concreto macizo de dimensiones estándar de 14 x 20 x 40 cm, producidos y distribuidos en los municipios de San Agustín Metzquititlán y Zacualtipán de Ángeles, Estado de Hidalgo; con la finalidad de conocer el comportamiento físico-mecánico de los bloques, así como de sus agregados utilizados en su fabricación. Los ensayos a los especímenes en estudio se realizaron de acuerdo al Organismo Nacional De Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación, S.C. (NMX-C-404-ONNCCE-2012). Los ensayos realizados a los bloques fueron: masa volumétrica seca, absorción inicial, absorción total, módulo de ruptura y resistencia a la compresión. A los agregados se le realizaron ensayos de masa volumétrica seca, análisis granulométrico y sanidad. Los datos obtenidos de dichos ensayos se compararon con los valores establecidos por las Normas Técnicas para Diseño y Construcción de Estructuras de Mampostería (NTCM-2023) y NMX-C-404-ONNCCE-2012, obteniendo como resultado que ningún lote de bloques de concreto en estudio cumple con los parámetros establecidos por la normatividad. En el caso de la resistencia a la compresión de dichos especímenes, oscila alrededor de 50 kg/cm², lo que equivale a menos del 50 % de la resistencia mínima requerida.

Palabras clave: Bloque, absorción inicial, absorción total, resistencia a la compresión, módulo de ruptura, agregados.

ABSTRACT

In this work, solid concrete blocks with standard dimensions of 14 x 20 x 40 cm, produced and distributed in the municipalities of San Agustín Metzquititlán and Zacualtipán de Ángeles, state of Hidalgo, were studied in order to know the physical-mechanical behavior, as well as the aggregates used in their manufacture. The tests on the specimens under study were carried out in accordance with the National Organization for Standardization and Certification of Construction and Building, S.C. (NMX-C-404-ONNCCE-2012). The tests carried out on the blocks were: dry volumetric mass, initial absorption, total absorption, modulus of rupture and compressive strength. Dry volumetric mass, granulometric analysis and health tests were carried out on the aggregates. The data obtained from these tests were compared with the values established by the Technical Standards for the Design and Construction of Masonry Structures (NTCM-2023) and NMX-C-404-ONNCCE-2012, obtaining as a result that no batch of concrete blocks under study complies with the parameters established by the regulations. In the case of the compressive strength of these specimens, it oscillates around 50 kg/cm², which is equivalent to less than 50% of the minimum required strength.

Keywords: Block, initial absorption, total absorption, compression resistance. modulus of rupture, aggregates.

INTRODUCCIÓN

La mampostería confinada es el sistema constructivo que se emplea con una mayor frecuencia en los municipios de San Agustín Metzquititlán y Zacualtipán de Ángeles, Hidalgo; debido a que la mayoría son edificaciones de no más de 3 niveles y su uso es habitacional; en menor cantidad podemos encontrar edificaciones a base de marcos de concreto reforzado y acero estructural, sin embargo, estas son utilizadas para un uso comercial e industrial. En estas regiones la pieza más usada en las construcciones son los bloques de concreto macizo; las medidas de bloques de concretos empleados en la región son 14 x 20 x 40 cm, usados normalmente para la planta baja y el primer nivel, las piezas de 12 x 20 x 40 cm se utilizan para los niveles superiores. Se les llama piezas macizas a aquellas que tienen en su sección transversal más desfavorable un área neta de por lo menos 75% del área bruta, y cuyas paredes exteriores no tienen espesores menores de 20 mm, en cambio, las piezas huecas son las que tienen en su sección transversal más desfavorable, un área neta de por lo menos 50% del área bruta; además, el espesor de sus paredes exteriores no es menor que 15 mm (Edificaciones de mampostería para vivienda, 2008). Debido a que las fábricas de bloques de concreto macizo en la región no tienen un control de calidad en su producción, estas desconocen la resistencia de las piezas que fabrican, así como la resistencia mínima que indica normas mexicanas NMX-C-404-ONNCCE-2012, es por ello que se requiere analizar las piezas de mampostería con las cuales se construyen las edificaciones en estos municipios. En este estudio se analizaron bloques de concreto macizo de 14 x 20 x 40 cm fabricados en San Agustín Metzquititlán y Zacualtipán de Ángeles, Hidalgo. En cada municipio se localizaron dos fábricas de bloques de concreto macizo, la fábrica 1 y fábrica 2 están ubicadas en el municipio de San Agustín Metzquititlán y la fábrica 3 y 4 se localizan en el municipio de Zacualtipán de Ángeles. En este trabajo identificaremos a los bloques producidos por la fábrica 1, fábrica 2, fábrica 3 y fábrica 4, como el lote A, B, C, D, respectivamente (Figura 1 y 2).

Se obtuvo una muestra de 15 bloques de concreto macizo de la producción de un día en cada una de las fábricas. La producción diaria promedio de cada fábrica es de ochocientas piezas. Así mismo se tomó una muestra de aproximadamente 30 kg del agregado con que fueron fabricados estos especímenes.

Figura 1

Fábricas de bloques de concreto macizo en San Agustín Metzquititlán



Fábrica 1(Lote A)



Fábrica 2 (Lote B)

Figura 2

Fábricas de bloques de concreto macizo en Zacualtipán de Ángeles



Fábrica 3 (Lote C)



Fábrica 4 (Lote D)

OBJETIVO GENERAL

Obtener las propiedades físicas y mecánicas de bloques de concreto macizo producidos y distribuidos en los municipios de San Agustín Metzquititlán y Zacualtipán de Ángeles, Hidalgo, con la finalidad de determinar que piezas cumplen con las normas mexicanas (NMX-C-404-ONNCCE-2012 y NTCM-2023), así como el estudio de los agregados que utiliza cada fábrica.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Medir las dimensiones de los especímenes.
2. Calcular la masa volumétrica seca de los especímenes.
3. Obtener la absorción inicial y total de los especímenes.
4. Calcular la masa volumétrica seca del agregado.
5. Determinar la granulometría del agregado.
6. Obtener la sanidad en el agregado.
7. Determinar la resistencia a compresión de las piezas.
8. Obtener módulo de ruptura de las piezas.

OBJETO DE ESTUDIO

El municipio de San Agustín Metzquititlán es uno de los ochenta y cuatro municipios que conforman el estado de Hidalgo. Se localiza al centro del territorio hidalguense. El municipio tiene la siguiente ubicación, se encuentra entre los paralelos 20° 25' y 20° 38' de latitud norte; los meridianos 98° 30' y 98° 43' de longitud oeste; con una altitud entre 900 y 2300 msnm. La cabecera municipal se encuentra a 83.8 km de distancia de la ciudad de Pachuca de Soto y a 175 km de la Ciudad de México. El clima predominante de este municipio es semiseco con escasas lluvias. El municipio de Zacualtipán de Ángeles colinda con el municipio de San Agustín Metzquititlán. La cabecera municipal y localidad más poblada es Zacualtipán. El municipio se localiza al norte del territorio hidalguense. Tiene la siguiente ubicación: se encuentra entre los paralelos 20° 33' y 20° 45' de latitud norte; los meridianos 98° 25' y 98° 43' de longitud oeste; con una altitud entre 500 y 2300 msnm. La cabecera municipal se encuentra a 105.9 km de distancia de la ciudad de Pachuca de Soto y a 197.1 km de la Ciudad de México y su clima predominante es templado húmedo con abundantes lluvias (INEGI, 2010).

Los bloques de concretos macizos empleados para las construcciones en el municipio de San Agustín Metzquititlán provienen de las fábricas 1 y 2, y en el caso del municipio de Zacualtipán de Ángeles, los bloques que utilizan para sus construcciones provienen de la fábrica 3 y 4, sin embargo, la fábrica 1 y 2 también distribuye piezas eventualmente en este municipio.

METODOLOGÍA

En esta investigación se emplea una metodología cuantitativa para la experimentación y pruebas en los especímenes. Los ensayos se realizaron de acuerdo al Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación, S.C. La fabricación de bloques de concreto en la región se realiza de manera mecánica, sin tener un control de calidad en los materiales ni en el proceso de fabricación, de tal manera que la dosificación que se emplea en el proceso es empírica y la han obtenido a partir de su experiencia al realizar diferentes tipos de mezclas, pero sin considerar la relación agua-cemento, la cual es un factor muy importante en la resistencia a compresión de las piezas. La cantidad de cemento que usan varía entre 0.85-1.0 kg por pieza y está en función del tipo de agregado. La fabricación de bloques de concreto consiste en mezclar arena, grava, cemento y agua, una vez que se realiza la mezcla, se vierte este material en los moldes de la máquina vibrocompactadora y posteriormente se le aplica vibración para obtener una pieza compactada. El vibrado es uno de los factores que influye en resistencia de la pieza debido a la compactación que se obtiene durante el proceso. Una vez vibrocompactados los bloques, son extraídos de la máquina y llevados al área de secado, sin recibir algún tipo de curado. Con respecto a los agregados, el material empleado para la fabricación de bloques de concreto macizo en estos municipios proviene de bancos de materiales ubicados en Tulancingo (Hidalgo) y Perote (Veracruz).

En este estudio se realizaron siete ensayos, los cuales se mencionan a continuación:

- 1.-Medición de dimensiones y peso volumétrico seco. NMX-C-038-ONNCCE-2013.
- 2.-Determinación de absorción total y absorción inicial. NMX-C-037-ONNCCE-2013.
- 3.- Obtención de la masa volumétrica seca del agregado. NMX-C-073-ONNCCE-2004
- 4.-Análisis granulométrico de los agregados. NMX-C-077-ONNCCE-2004.
- 5.-Obtención de sanidad en los agregados. NMX-C-075-ONNCCE-2018.
- 6.-Determinación de la resistencia a la compresión. NMX-C-036-ONNCCE-2013.
- 7.-Determinación del Módulo de ruptura. ASTM C 67-05.

FASES DE DESARROLLO

Obtención de muestras de bloques de concreto macizo y sus agregados.

Para obtener la muestra de los bloques de concreto macizo, se consideraron 15 especímenes de una población de ochocientos bloques, la cual es la cantidad promedio de bloques producidos en un día. La muestra son bloques de concreto macizo de dimensiones 14 x 20 x 40 cm seleccionados de manera aleatoria, estos bloques fueron trasladados al laboratorio de ingeniería civil de la Unidad Académica Metztitlán-UPFIM, una vez transcurridos al menos dos días después de su elaboración, con la finalidad de garantizar el fraguado del material y así evitar daños por ruptura y pérdida de material durante su traslado. La muestra de los agregados se obtuvo de la mezcla que realizan los fabricantes de bloques y se recolectó aproximadamente 30 kg de material en estado húmedo.

Almacenamiento de las muestras.

Las muestras fueron almacenadas en el laboratorio de ingeniería civil de la Unidad Academia Metztitlán-UPFIM a temperatura ambiente, con el propósito de asegurar su fraguado. Para realizar las pruebas a las que fueron sometidos los especímenes, transcurrieron 28 días a partir de su fabricación. Una vez que se tienen los especímenes en el laboratorio se procedió a identificarlos con un número y una letra, que representa el número de la pieza y el lote de procedencia.

Determinación de dimensiones.

Se obtuvieron las medidas de las piezas en sus tres direcciones: ancho, altura y largo (Figura 3), de acuerdo a la norma NMX-C-038-ONNCCE-2013. La dimensión nominal de los especímenes en estudio es: 140 mm x 200 mm x 400 mm. De acuerdo a la norma mexicana NMX-C-404-ONNCCE-2012, las dimensiones reales no deben diferir en más de ± 3 mm en la altura y ± 2 mm en el largo y en el ancho respecto a las medidas de fabricación. Los valores obtenidos en esta prueba de los lotes en estudio se muestran en la tabla 1.

Figura 3
Piezas de bloques de concreto macizo

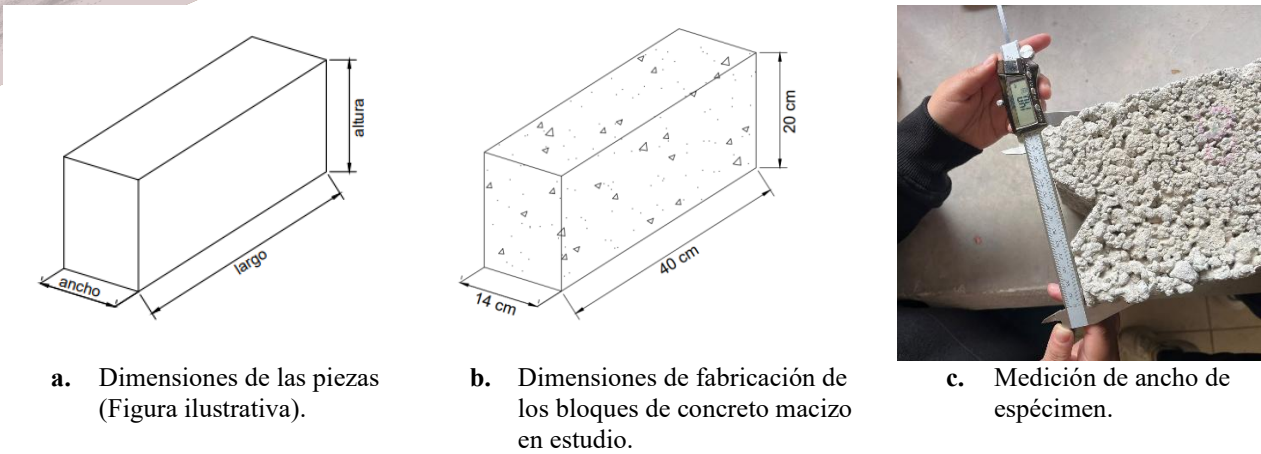
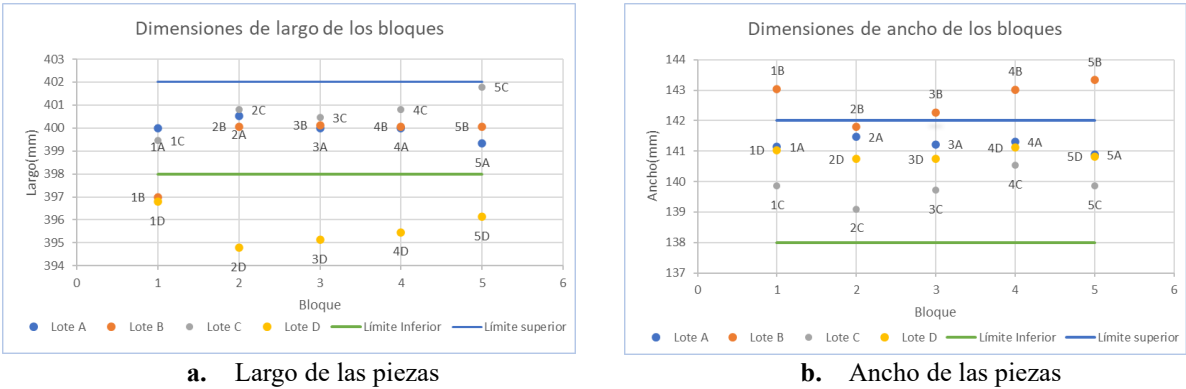


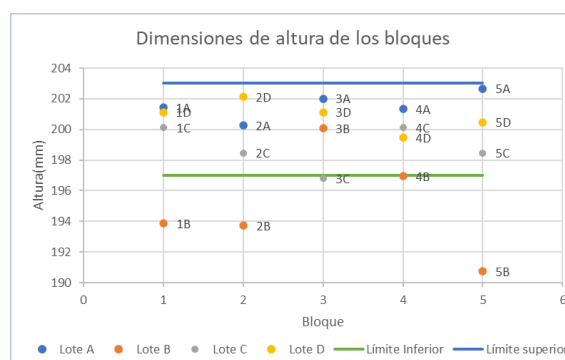
Tabla 1.
Dimensiones de bloques de concreto macizo de los diferentes lotes en estudio

Dimensiones en mm																				
Lote A					Lote B					Lote C					Lote D					
	1A	2A	3A	4A	5A	1B	2B	3B	4B	5B	1C	2C	3C	4C	5C	1D	2D	3D	4D	5D
Largo	400	401	400	400	399	397	400	400	400	400	399	401	400	401	402	397	395	395	395	396
Ancho	141	141	141	141	141	143	142	142	143	143	140	139	140	141	140	141	141	141	141	141
Altura	201	200	202	201	203	194	194	200	197	191	200	198	197	200	198	201	202	201	199	200

En la figura 4a se puede apreciar que los bloques del lote D y B no cumplen con la tolerancia del largo de la pieza. En el caso del ancho de las piezas, los bloques del lote B no cumplen con esta especificación (Figura 4b). Los bloques del lote A y D cumplen con las tolerancias de la altura (Figura 4c).

Figura 4
Comparación de las dimensiones de las piezas con la tolerancia permitida





c. Altura de las piezas

Obtención de peso volumétrico seco de los especímenes.

El peso volumétrico de las piezas se correlaciona con su resistencia a compresión y ésta con otras propiedades importantes como la permeabilidad, absorción de agua, durabilidad y estabilidad volumétrica ante cambios de humedad, por lo que se incluye como forma fácil de descartar piezas de baja capacidad, en particular para piezas de concreto (NTC-Mampostería 2023). En la tabla 2 se muestra el peso volumétrico neto mínimo para bloques de concreto que indican las Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Mampostería-2023, el cual es de 17 kN/m³(1700 kg/m³).

Tabla 2

Peso volumétrico neto mínimo de las piezas en estado seco (NTCM-2023)

Tipo de pieza	Valores en KN/m ³ (kg/m ³)
Tabiques macizos de arcilla artesanal	13 (1300)
Tabique hueco de arcilla extruida o prensada	17 (1700)
Bloque de concreto	17 (1700)
Tabique macizo de concreto (tabicón)	15 (1500)

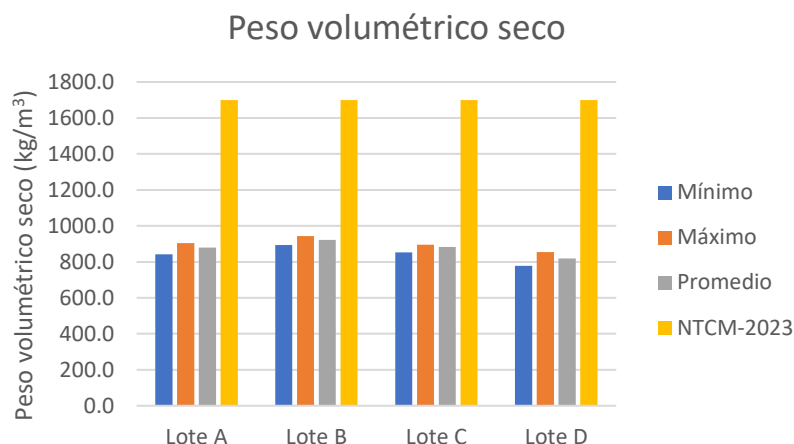
Para la realización de la prueba de peso volumétrico seco se analizaron cinco especímenes de cada lote. El peso volumétrico seco se calcula dividiendo la masa seca del espécimen entre su volumen. La masa seca se obtiene al secar las piezas en un horno a temperatura 105 °C ± 5°C durante 24 horas y el volumen se calcula a partir de sus dimensiones, de acuerdo a la norma NMX-C-038-ONNCCE-2013.

En la tabla 3 se muestran los pesos volumétricos secos de los cuatro lotes en estudio. En esta tabla se exponen los pesos volumétricos secos mínimos, máximos y el promedio de los 5 especímenes analizados. Como se observa en la figura 5, el peso volumétrico seco de los lotes en estudio se encuentra por debajo del valor mínimo de 1700 kg/m³ que indica la normativa, por lo que el lote que más se acerca a este valor es el lote B. Esta prueba expone que la variación de las masas volumétricas secas mínimas y máximas tienen un valor menor al 10%.

Tabla 3.

Peso volumétrico seco de bloques de concreto macizo en estudio

LOTE	Peso volumétrico seco					
	Mínimo		Máximo		Promedio	
	kg/m ³	kN/m ³	kg/m ³	kN/m ³	kg/m ³	kN/m ³
Lote A	841.76	8.42	904.58	9.05	878.68	8.79
Lote B	893.98	8.94	943.72	9.44	921.29	9.21
Lote C	853.25	8.53	895.83	8.96	882.77	8.83
Lote D	777.44	7.77	854.88	8.55	819.43	8.19

Figura 5*Peso volumétrico en estado seco de los especímenes***Determinación de la absorción inicial y la absorción total en bloques de concreto macizo.**

Es de suma importancia tener los menores niveles de absorción en las piezas, ya que esto ayuda a tener una mayor durabilidad y comportamiento estructural en la mampostería y si se presentan altos niveles de absorción en las piezas implica una reducción en la hidratación en el mortero, teniendo una pérdida en la adherencia. (Edificaciones de mampostería, 2019). La absorción inicial y total están en función del tipo del agregado y la vibrocompactación de los bloques. En este estudio se analizan los bloques de cuatro diferentes fábricas, cada fábrica utiliza diferente agregado por lo que existen diferencias en el peso específico, granulometría y absorción del material. El tener una mayor absorción en las piezas implica un comportamiento estructural no deseable, además de daños a la salud por la presencia de moho como resultado de exceso de humedad.

La absorción inicial se obtiene con la ecuación 1, para ello se requiere conocer la masa de agua absorbida en una cara de la pieza durante 10 minutos y se expresa por un coeficiente de absorción, C_b (Figura 6a). Con respecto a la absorción total, ésta se representa por un porcentaje, el cual se obtiene a partir de la masa de agua que la pieza absorbe durante 24 horas y el volumen del bloque (Figura 6b).

Figura 6*Prueba de absorción inicial y total**a) Absorción inicial**b) Absorción total**Ecuación 1:*

$$C_b = \frac{100 M}{S\sqrt{t}} = \frac{100(M_1 - M_s)}{S\sqrt{10}}$$

Donde:

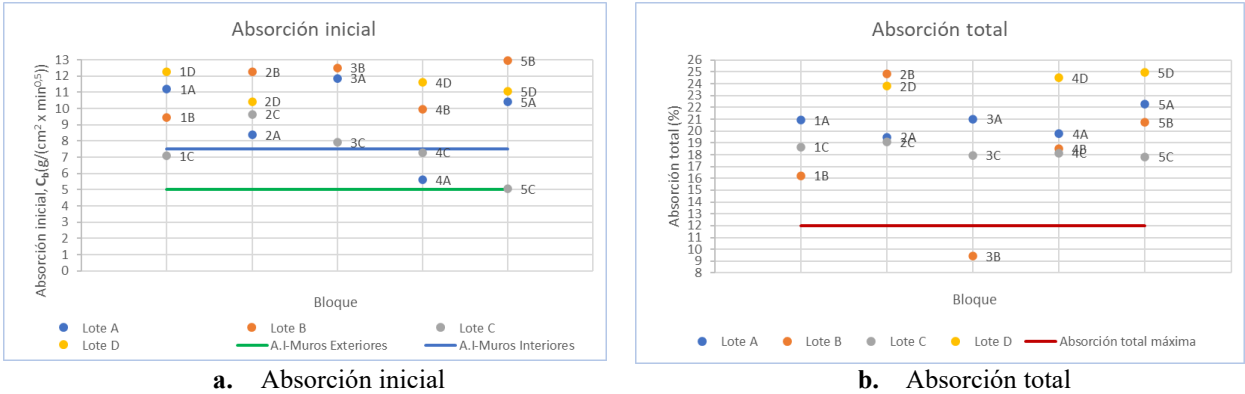
 M_s = Masa seca en g M_1 = Masa húmeda en g S = Superficie de la cara sumergida en cm^2 t = tiempo de inmersión ($t=10$ min)

La absorción total máxima y la absorción inicial máxima para muros interiores y exteriores que señala la norma mexicana NMX-C-404-ONNCCE-2012 para bloques de concreto son: 12%, 7.5 g/min y 5 g/min, respectivamente (Tabla 4). La figura 7a evidencia que ningún lote cumple con la absorción inicial máxima para muros exteriores; en cuanto a la absorción inicial para muros interiores, solamente una pieza del lote A y tres piezas del lote C cumplen con este parámetro. En lo que respecta a la prueba de absorción total, solo una pieza del lote B cumple con esta especificación (Figura 7b).

Tabla 4
Valores máximos de absorción inicial y absorción total de agua en 24 h (NMX-C-404-ONNCCE-2012)

Tipo de material	Absorción inicial para muros expuestos al exterior (g/min)	Absorción inicial para muros interiores o con recubrimiento (g/min)	Absorción total en 24 h en porcentaje
Concreto	5	7,5	12
Arcilla artesanal	-	-	23
Arcilla extruida o prensada	5	7,5	19

Figura 7
Absorción en los especímenes



Resistencia a compresión de los especímenes.

La resistencia a compresión es la principal propiedad mecánica de las piezas de mampostería, debido a que con ello se obtiene la capacidad de carga y así mismo la resistencia de diseño de elementos estructurales de mampostería. Para determinar la resistencia a la compresión se ensayaron cinco piezas de cada lote de acuerdo a la norma NMX-C-036-ONNCCE-2013, esta prueba se realizó 28 días después haber obtenido las piezas. Para someter las piezas de bloques de concreto a compresión fue necesario cabecear cada una de ellas con mortero de azufre (Figura 8); una vez cabeceadas las piezas, transcurrieron 24 horas antes de someterlos a la carga de compresión, para asegurar que el material del cabeceo alcance su máxima resistencia de 350 kg/cm².

El ensayo a compresión se realizó en el laboratorio de pesados de la Universidad Politécnica de Francisco I. Madero (Figura 9) y se utilizó una maquina universal marca SERVO PLUS EVOLUTION, la cual tiene una capacidad a compresión de 1500 kN (152.96 ton). La máquina se programó para que aplicará la carga con una velocidad uniforme de 0.24 MPa/s. La norma NMX-C-404-ONNCCE-2013 indica que la resistencia media para bloques de concreto macizo es de 150 kg/cm², y la resistencia mínima individual es de 120 kg/cm² (Tabla 5).

Figura 8

Cabeceo de bloques con mortero de azufre



Figura 9

Ensayo de compresión a bloques de concreto macizo



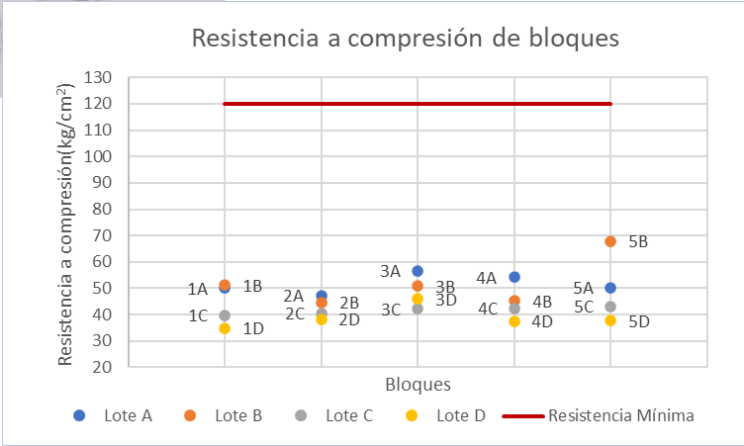
Tabla 5

Resistencia a compresión mínimas de acuerdo a la norma NMX-C-404-ONNCCE-2013

Tipo de pieza	Configuración	Resistencia media f_p MPa (kg/cm ²)	Resistencia mínima individual f_{pMn} MPa (kg/cm ²)
Bloque	Macizo	15 (150)	12 (120)
	Hueco	9(90)	7 (70)
	Multiperforado	15 (150)	12 (120)
Tabique (largo >300 mm)	Hueco	9(90)	7 (70)
	Multiperforado	9(90)	7 (70)
Tabique (largo <300 mm)	Macizo	11 (110)	7 (70)
	Hueco	9(90)	7 (70)
	Multiperforado	15 (150)	12 (120)

En la gráfica de la figura 10 se muestra el comportamiento de las piezas de concreto macizo sometidas a compresión, la línea de color rojo indica la resistencia mínima individual con un valor de 120 kg/cm², por lo que las piezas analizadas están por debajo de la resistencia mínima.

Figura 10
Resistencia a compresión de bloques de concreto macizo



Resistencia de diseño a compresión de los especímenes.

La resistencia de diseño a compresión se obtuvo a partir de la ecuación 2, como lo indica la NMX-C-404-ONNCCE-2012, considerando un coeficiente de variación $c_p=0.3$, ya que se trata de una fabricación mecanizada, pero sin un sistema de control de calidad. De acuerdo a las Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Mampostería 2023, la resistencia mínima de diseño a compresión en bloques de concreto macizo es de 10 MPa (100 kg/cm²), por lo tanto, ningún bloque en estudio cumple. Los valores de las resistencias de diseño a compresión de los lotes estudiados se muestran en la tabla 6.

$$f'_p = \frac{f_p}{1+2.5c_p} \quad \text{Ecuación 2}$$

Donde:

- f'_p resistencia de diseño a compresión
- $\overline{f_p}$ resistencia media a compresión de las piezas, referida al área bruta
- c_p coeficiente de variación de la resistencia a compresión

Tabla 6.
Valores de resistencia de diseño a compresión de los diferentes lotes en estudio

Resistencia de diseño a compresión				
f'_p	LOTE A	LOTE B	LOTE C	LOTE D
Mpa (N/m²)	2.90	2.91	2.33	1.95
kg/cm²	29.56	29.70	23.78	19.92

Módulo de ruptura.

El ensayo se realizó de acuerdo a la norma AST C67-05 aplicando una velocidad de carga de 8,896 N/min. Los valores obtenidos del ensayo se muestran en la tabla 7. La finalidad de la figura 11 es encontrar una relación entre la resistencia de diseño a la compresión y el módulo de ruptura. En este caso no se tiene una línea de tendencia que sea representativa, una de las variantes puede ser que son pocos datos.

Tabla 7.
Valores de módulo de ruptura de los especímenes en estudio

Módulo de ruptura (S)																				
Lote A					Lote B					Lote C					Lote D					
Pieza	A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	C1	C2	C3	C4	C5	D1	D2	D3	D4	D5
S(Mpa)	0.87	1.02	0.83	1.00	0.91	0.68	0.87	0.76	0.84	0.58	0.88	0.61	1.06	0.62	0.90	0.56	0.71	1.21	0.96	0.95

Masa volumétrica seca del agregado.

El peso volumétrico seco de los especímenes está en función del tipo de agregado, del cemento utilizado y de la compactación debido a la vibración de la máquina vibrocompactadora; es por ello que se analizaron los agregados de los diferentes lotes en estudio. En la tabla 8 se muestra la masa volumétrica seca suelta, compactada con varilla y compactada por impactos, por lo que es notable que las masas volumétricas secas de los diferentes materiales presentan valores por debajo de los 1,700 kg/m³, es por ello que las piezas analizadas presentan masas volumétricas secas inferiores a lo establecido en la normativa. Esta prueba se realizó con base en la norma mexicana *NMX-C-073-ONNCCE-2004*. La masa volumétrica seca compactada por impactos se relaciona más con la compactación a la que son sometidos los bloques al momento de aplicarles vibración. Los agregados de lote A, lote B y lote C provienen de minas de Tulancingo, Hidalgo y el agregado del lote D se obtiene de minas de Perote, Veracruz.

Figura 11
Grafica Resistencia a compresión v/s Modulo de ruptura

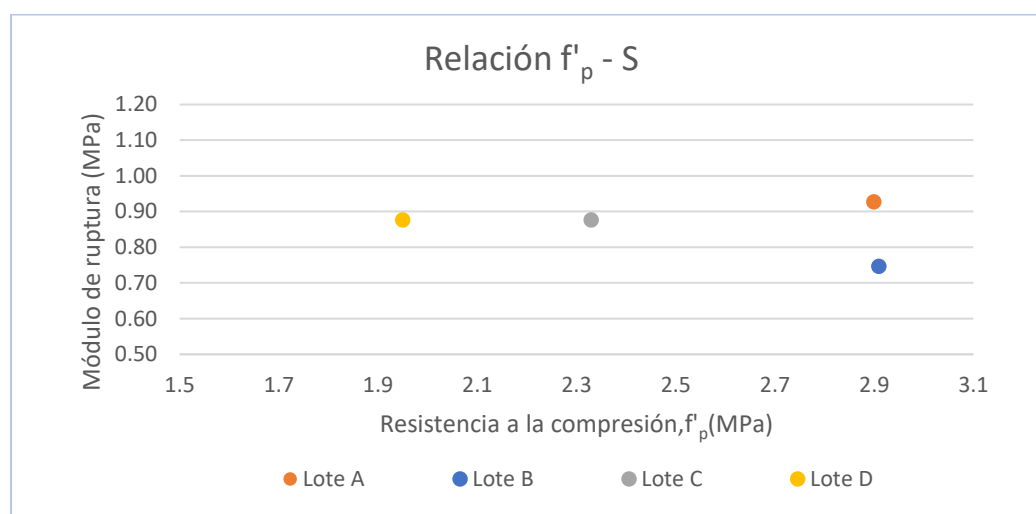


Tabla 8
Masas volumétricas secas de los agregados en estudio.

Tipo de agregado	Masas volumétricas secas (kg/m ³)		
	Suelta	Compactada con varilla	Compactada con golpeteo
Lote A	605.88	718.02	879.8
Lote B	612.64	700.00	810.86
Lote C	617.78	623.27	835.14
Lote D	594.61	528.11	773.25

Granulometría de los agregados.

La granulometría de los agregados influye en el peso específico seco de las piezas, debido al acomodo de las partículas y al grado de compactación, este último influye en la densidad, porosidad, permeabilidad y la resistencia mecánica. En la figura 12 se aprecia la granulometría de los agregados en estudio, identificando al agregado como M-A, M-B, M-C y M-D, correspondientes al lote A, B, C y D, respectivamente. En la tabla 9 se muestra el porcentaje de gravas, arenas y finos de cada uno de los diferentes agregados en estudio, teniendo como resultado que los diferentes agregados se clasifican como gravas bien graduadas con arena (GW) de acuerdo al Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (Braja, 2015).

Figura 12
Granulometría de los agregados del lote A, lote B, lote C y lote D.

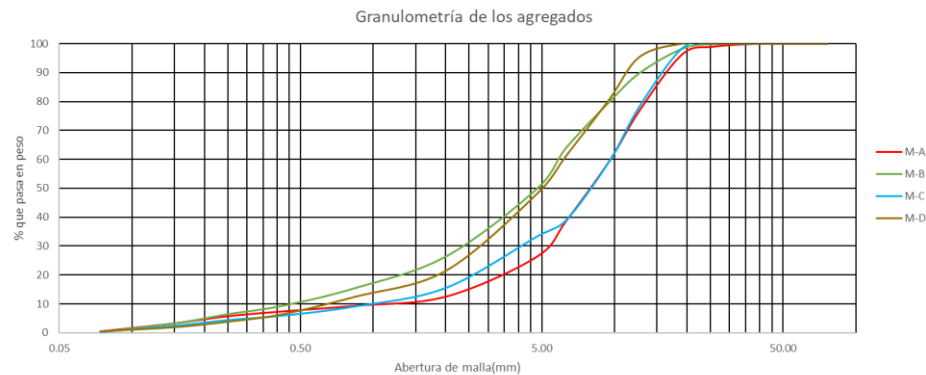


Tabla 9
Porcentajes de gravas, arenas y finos

	Agregado				Clasificación SUCS
	G(%)	S(%)	F(%)	Pasa No. 40(%)	
Lote A	72.74	26.82	0.44	7.34	GW
Lote B	50.28	49.39	0.33	9.38	GW
Lote C	66.77	32.86	0.37	6.01	GW
Lote D	52.10	47.41	0.48	6.38	GW

Determinación de la sanidad en agregado.

La sanidad en los agregados se define como la característica de los agregados para resistir la acción del medio ambiente. Esta prueba solo se realizó al agregado del lote D, por medio de sulfato de magnesio en forma heptahidratada, de acuerdo a la norma NMX-C-075-ONNCCE-2018. En la figura 13 se muestran el agregado en estudio. El resultado de dicho ensayo fue la precipitación del agregado, formándose una pasta sólida por lo que no se cumplió con el objetivo de dicha prueba (figura 14). A partir del segundo ciclo de la prueba, se formaron cristales, esto debido a una reacción de los silicatos presentes en el agregado de acuerdo a Steve H. (2004), como se puede observar en la figura 15.

Figura 13. Agregado del lote D Figura 14. Precipitación del agregado Figura 15. Formación de cristales



RESULTADOS Y CONCLUSIONES

De acuerdo a las tolerancias permitidas en relación a las *dimensiones*, el lote que cumple con las medidas de largo, ancho y altura es el lote A, el lote B no cumple con ninguna medida, el lote C solo cumple con medidas de largo y ancho, en el caso del lote D cumple con ancho y altura. Los valores obtenidos de *peso volumétrico seco* de los diferentes lotes arrojan que ninguna pieza cumplen con el valor mínimo de 1700 kg/m^3 , teniendo que el caso más favorable se presenta en el lote B, con un valor promedio de 921.29 kg/m^3 , lo que representa el 54% del peso volumétrico seco mínimo requerido de acuerdo a la normatividad. Al presentar los especímenes valores de peso volumétrico por debajo del mínimo, incrementa la absorción. Referente a la *absorción total*, ninguna pieza cumplió con esta propiedad; esta propiedad es más desfavorable en la región de Zacualtípán de Ángeles, debido al clima húmedo de la región, provocando un aumento del peso en la estructura y la presencia de moho blanco en muros exteriores o aquellos en contacto con la humedad. Con lo que respecta a la *absorción inicial* para muros interiores solo 3 especímenes de lote C y un espécimen del lote A cumplen, sin embargo, ningún lote cumple con la absorción inicial máxima para muros exteriores. La absorción inicial es más desfavorable en el municipio de San Agustín Metzquitlán por tener un clima cálido, aumentando así la deshidratación de la junta del mortero.

Ningún lote en estudio cumple con la *resistencia a compresión mínima individual* de 12 MPa (120 kg/cm^2), ni la *resistencia a compresión media* de 15 MPa (150 kg/cm^2). Los bloques del lote B fueron quienes presentaron un mejor comportamiento de resistencia a compresión, registrando una resistencia media de 5.1 MPa (51 kg/cm^2), valor que representa el 34% de la resistencia media establecida en la normativa, es por ello que no se cumple con la especificación de resistencia mínima de diseño a compresión en bloques de concreto macizo la cual es de 10 MPa (100 kg/cm^2). La resistencia a la compresión se ve afectada por los agregados, la relación agua-cemento y la vibrocompactación a la que son sometidos los bloques. Con lo que respecta a los agregados, se analizó su masa volumétrica seca y granulometría de los materiales usados en las diferentes fábricas en estudio, obteniendo como resultados que los agregados de lote C presentaron mayor masa volumétrica seca con valor de 835.14 kg/m^3 . Así mismo, la prueba de análisis granulométrico dio como resultado que los diferentes agregados contienen más del 50 % de gravas, razón por la que las piezas tienen una apariencia rugosa y con muchos vacíos, esta es una causa del por qué las piezas no cumplen con el peso volumétrico seco mínimo de 1700 kg/m^3 . En relación a la sanidad del agregado se observó que el material del lote D no es apto para ambientes con alta salinidad, esto debido a su porosidad excesiva y su alta reactividad con los sulfatos.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Braja M. Das, “Fundamentos de ingeniería geotécnica”, 4ª edición, Cengage Learning, México D.F., 2015.
- [2] Fundación Ica, “EDIFICACIONES DE MAMPOSTERÍA PARA VIVIENDA”, 2ª edición, SMIE-ICA, México D.F., 2002.
- [3] R. Meli Piralla. “Diseño Estructural”, 2ª edición, Limusa, México D.F., 2008.
- [4] R. Meli, O. Hernández, M. Padilla, E. Valencia (1981). Refuerzo de Vivienda Rural en Zonas Sísmicas, Informe 441, Universidad Nacional Autónoma de México.
- [5] Sociedad Mexicana de Ingeniería Estructural, “Edificaciones de mampostería/SMIE”, 1ª edición, Limusa, México D.F., 2019.
- [6] Steve H. Kosmatka, Beatrix Kerkhoff, William C. Panarese, y Jussara Tanesi. “Diseño y Control de Mezclas de Concreto”, Portland Cement Association, 1ª edición, México D.F., 2004.
- [7] Norma Mexicana NMX-C-036-ONNCCE-2013. Industria de la Construcción – Bloques, Tabiques o Ladrillos, Tabicones y Adoquines, ONNCCE.
- [8] Norma Mexicana NMX-C-037-ONNCCE-2005. Industria de la Construcción – Bloques, Tabiques o Ladrillos, Tabicones y Adoquines, ONNCCE.
- [9] Norma Mexicana NMX-C-038-ONNCCE-2013. Industria de la Construcción – Bloques, Tabiques o Ladrillos, Tabicones y Adoquines, ONNCCE.
- [10] Norma Mexicana NMX-C-073-ONNCCE-2004. Industria de la Construcción – Agregados, ONNCCE.
- [11] Norma Mexicana NMX-C-075-ONNCCE-2018. Industria de la Construcción – Agregados, ONNCCE.
- [12] Norma Mexicana NMX-C-077-ONNCCE-2004. Industria de la Construcción – Agregados, ONNCCE.
- [13] Norma Mexicana NMX-C-404-ONNCCE-2012. Industria de la Construcción – Bloques, Tabiques o Ladrillos, Tabicones y Adoquines, ONNCCE.
- [14] “Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Mampostería”, Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal Gaceta oficial del Departamento del Distrito Federal, México. 2020.
- [15] ASTM C67-05, Standard Test Methods for Sampling and Testing Brick and Structural Clay Tile.
- [16] INEGI. (2010). Compendio de información geográfica municipal 210-Zacualtípán de Ángeles, Hidalgo. Recuperado de http://www.inegi.org.mx/contenidos/app/mexicocifras/datos_geograficos/13/13081.pdf. (p.2).

Flexometer: A Method for Studying Electronic and Mechanical Behavior in Flexible Substrate

DOI: 10.60968/iaet.3594-035X.860

Harvi Alirio Castillo Cuero¹, Angelica Garzon-Fontecha², Elisabeth Restrepo-Parra³, Mayra Cecilia Ramirez-Camacho^{4*} and Wencel De La Cruz¹

**corresponding autor: cramirez50@uabc.edu.mx*

¹Centro de Nanociencias y Nanotecnología, Universidad Nacional Autónoma de México, km. 107 Carretera Tijuana-Ensenada, Ensenada, B.C, 22860. (e-mail: hcastillo@ens.cnyn.unam.mx)

²Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de Tijuana, Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica. Blvd. Alberto Limón Padilla s/n, Mesa de Otay, Tijuana, B.C. 22500, México. (e-mail: angelica.gf@tectijuana.edu.mx)

³Laboratorio de Física del Plasma, Universidad Nacional de Colombia – Sede Manizales, Kilometro 9 vía al aeropuerto, Campus La Nubia, Manizales, Caldas, Colombia. (e-mail: erestrepopa@unal.edu.co)

^{4*}Instituto Ingeniería, Universidad Autónoma de México (UABC)- Blvd. Benito Juárez S/N, Parcela 44, 21280 Mexicali, B.C.- México. (e-mail: cramirez50@uabc.edu.mx)

Línea de investigación: curvature radius, diode, flexible electronic devices, flexometer device, flexible device testing.

Resumen

Flexible electronics have garnered significant attention for their potential use in low-cost electronic products such as electronic skin, health monitoring patches, and other lighting and sensing applications. Their inherent flexibility and adaptability, open up new possibilities for integrating electronic functions into unconventional forms and substrates. However, mechanical deformation during operation can significantly influence the performance and reliability of these devices. This underscores the need for thorough evaluation and testing, which are crucial to developing flexible electronics. In this work, we present the design and implementation of a Flexometer instrument developed explicitly for testing flexible devices. This instrument is designed to provide guided bending of flexible samples with controlled bending radius and time, ensuring no additional tensile stress is applied during testing. The system incorporates a linear actuator driven by a stepper motor, allowing precise control over the bending process. The control system for the Flexometer was developed using LabVIEW software, which was chosen for its robustness and versatility in handling complex control tasks. The software architecture was meticulously designed to ensure accurate and repeatable bending cycles, facilitating consistent testing conditions. The performance of the Flexometer was rigorously evaluated through bending tests conducted on a flexible SnO diode. The results from these tests validated the system's capability to perform precise and controlled bending operations, making it a valuable tool for assessing the electrical properties of flexible electronic systems under bending and extension conditions. This study highlights the potential of the Flexometer as a crucial instrument for advancing the research and development of flexible electronics. By providing a reliable method for testing these devices' mechanical and electrical properties, the Flexometer contributes to optimization and enhancement of flexible electronic products, paving the way for their broader application in various fields.

INTRODUCTION

In this first part of your article, give a brief introduction to your work, without elaborating on concepts known to everyone. To prepare your article, it is recommended that you faithfully follow these instructions, as your electronic file will appear exactly as you submit it. For emphasis use italics, do not underline. Define the related variables of the research, the factors related to the general objective and the specific ones.

Recent research focusing on flexible and transparent electronics has led to developing new applications that cannot be carried out with conventional silicon technology (Li, Run-Wei, et al, 2020). The current challenge for flexible electronics is to develop devices comprising optically transparent materials with thermal properties suitable for use at relatively low temperatures ($< 250\text{ }^{\circ}\text{C}$). However, mechanical flexibility is the key characteristic that distinguishes flexible electronics from conventional rigid electronic devices. Therefore, it is imperative to understand and develop ways to quantify the flexibility of flexible electronic systems.

Compared to traditional rigid sensors, thin, flexible films can be used arbitrarily in curved surfaces such as human skin and robotic arms and help measuring more extensive deformations. The most common materials are polyimide (PI), glass-fiber-reinforced epoxy-phenolic, and polydimethylsiloxane (PDMS), which supports a strain-sensitive patterned layer, such as Constantan (Copper-Nickel) and Karma/Evanohm (Nickel-Chromium) alloys range (Ningyue Mao, 2022). On the other hand, Passive flexible electronics and, especially, flexible printed circuits (FPCs) have a long history and a good understanding of static and dynamic reliabilities, including dependence on curvature ratio (relationship between radius of curvature and substrate thickness) and other factors. As mentioned above, the most straightforward bending test for flexible electronic devices is the static-bending test, where devices are bent to a certain curvature, and their electrical properties are tested. However, flexible electronics need to withstand repeated mechanical bending cycles for real-life working conditions, such as bendable or foldable applications. Evidence of dynamic bending is necessary in such cases.

The bending strain has been studied and reported on different papers. Strain (ϵ) can be calculated by $\epsilon = h_s RC$, where h_s (Lin et al., 2013), (Peng et al., 2024), (Taguchi et al., 2021) is the thickness of the substrate and RC is the slightest bending curvature. In the case of low RC , the experimental strain per cycle would be greater than the initially calculated strain. However, there are no reports on the influence of variables such as bending speed, bending relaxation time (BRT), and stretching relaxation time (SRT) on the stress generated in thin films. Some works have been reported regarding implementing flexometer devices that allow measuring dynamic flexibility. For example, Li and Jackson H. U. Li et al., 2016 reported testing strategies and tools for testing flexible electronic devices and systems. An anisotropic conductive film to attach flexible extension cables to long connection cables in the flexible sample was used to make reliable electrical connections for flexible electronic devices under mechanical flexibility testing. In this work, three platforms were developed for testing flexible devices. According to the authors, these flexible testing approaches are valuable tools for obtaining electrical properties for flexible electronic devices and systems as a function of bending or flexing.

Agcayazi et al., 2021 reported on interconnecting conformable electrical systems integrated in textiles. Their research addresses one of the main obstacles to developing electronic textiles: the efficient formation of interconnections, from fiber-to-fiber, within textiles, with rigid circuits based on semiconductors and other devices, and efficiently route these circuits. The fundamental challenge of forming these interconnects involves making them flexible, robust, and environmentally stable while ensuring adequate electrical connectivity. Their work provides a comprehensive review of the technological issues related to textile interconnections and providing an overview of flexible interconnects, including relevant materials, electrical and mechanical characterization techniques, and ways of forming flexible conductive paths.

Wang et al., 2021 present a review of the recent progress in the field of FTEs (flexible transparent electrodes), with particular emphasis on metal materials, carbon-based materials, conductive polymers (CPs), and composite materials, which are good alternatives to the traditional commercial transparent electrode (for example, indium tin oxide, ITO).

Another important work was published by Li et al., 2015. They reported flexible ZnO TFTs fabricated on thin molten polymer substrates. This report is focused on non-stretchable flexible applications and thin flexible ZnO thin film transistors (TFTs) which were used as sample devices for flexibility testing.

DEVELOPMENT

In this section, we briefly present the impact of the innovation in our research. Flexible electronics are gaining significant attention for their application in low-cost, innovative products such as electronic skin, health monitoring patches, and other advanced sensing technologies. These electronics' inherent flexibility offers opportunities for integrating them into unconventional forms and substrates. However, the mechanical deformation that occurs during operation can significantly affect the performance and reliability of such devices. Therefore, comprehensive testing and evaluation are crucial in developing these technologies.

In this work, we introduce the Flexometer, a dedicated instrument designed for testing flexible devices. The Flexometer provides precise control over bending conditions, ensuring no additional tensile stress is applied. It uses a linear actuator driven by a stepper motor, offering a controlled bending radius and time. LabVIEW software was employed to develop the control system, enabling accurate and repeatable bending cycles.

We validated the performance of the Flexometer by testing a flexible SnO diode under bending conditions. The results confirmed that the system delivers reliable and controlled bending operations, proving its capability to assess the mechanical and electrical properties of flexible electronic systems. The Flexometer presents a valuable tool for advancing the research and development of flexible electronics, facilitating their optimization and broadening their potential applications across various fields.

GENERAL OBJECTIVE AND SPECIFIC OBJECTIVES

To design, develop, and evaluate the Flexometer instrument to assess the mechanical and electrical properties of flexible electronic devices under bending and extension conditions, contributing to the advancement of flexible electronics for broader application in low-cost, innovative products such as electronic skin, health monitoring patches, and advanced sensing technologies.

SPECIFIC OBJECTIVES

To design and implement a Flexometer system capable of controlling bending radius and time to assess the mechanical behavior of flexible electronic devices.

1. To develop a robust control system using LabVIEW software that ensures precise and repeatable bending cycles for consistent testing of flexible electronic systems.

2. To evaluate the performance of the Flexometer by testing flexible electronic devices, such as a flexible SnO diode, under controlled bending conditions and analyze their mechanical and electrical properties.

OBJECT OF STUDY

The primary object of study is the Flexometer instrument, which has been developed for the testing and evaluation of flexible electronic devices. This system addresses the critical need for reliable and controlled testing conditions to assess the mechanical and electrical performance of flexible electronics, particularly those used in low-cost, flexible applications such as electronic skin, health monitoring patches, and sensors. The importance of this system lies in its potential to optimize the design and functionality of flexible electronics, ensuring their reliability and performance in real-world applications where mechanical deformation is common.

METHODOLOGY

The Flexometer prototype device was designed and managed using a Graphical User Interface (GUI) developed in LabVIEW, a sophisticated graphical application development environment created by National Instruments Corporation. LabVIEW utilizes a dataflow-based programming language known as "G," which inherently supports multithreading and offers advanced functions for communication and synchronization. This capability makes LabVIEW highly suitable for control, command, and soft real-time applications. The Flexometer's functionality was controlled and monitored through its intuitive graphical interface, demonstrating LabVIEW's efficiency in managing complex instrumentation systems.

PHASES OF DEVELOPMENT

1. Thin films and materials

Transparent p-SnO_{0.8} (8.0% ppO₂) and n-SnO_{1.2} (18.5% ppO₂) were successfully deposited onto polyimide substrates using specific oxygen concentrations in the sputtering system [10]. A p-SnO_x/n-SnO_x diode was fabricated on a 127 μm thick polyimide substrate through photolithography. Electrical characterization of the diode was conducted by varying the bending cycles, demonstrating its performance and stability under mechanical stress. Every detail about the production and characterization of the materials used in diode production was previously published by *Garzon-Fontecha et al., 2023*.

2. Hardware structure

LabVIEW-based control systems are extensively utilized in measurement and control applications. To develop a flexometer device, a linear actuator equipped with a stepper motor was integrated with LabVIEW-based software. A computer running LabVIEW managed the entire system, overseeing key functions such as receiving data from the actuator, generating and dispatching instructions, and processing and displaying the data. This setup enabled precise control and effective monitoring of the flexometer's performance.

2.1. Data acquisition module.

The data acquisition module, built using NI DAQmax, enables real-time multi-channel data acquisition and transmits this data to a computer for processing and visualization. Connectivity between NI DAQmax and the actuator module is established via an RS232 serial port. The control program for the linear actuator is developed using VISA serial communication control, allowing precise position control through continuous input of position commands. This setup ensures effective management and visualization of data from the actuator system.

2.2. Linear actuator.

The actuator module includes a stepper motor, threaded shaft, transmission band, and force sensor. In this system, the stepper motor generates torque, transmitted via the band to the threaded shaft, converting the rotational motion into linear force. The force sensor continuously measures this linear force in real time, allowing for precise monitoring and control of the actuator's performance. The design of the linear actuator is illustrated in figure 1.

2.3 Software structure

Following LabVIEW software design principles, the overall software architecture for the system is developed on a PC using LabVIEW. The application program is responsible for screening test projects, receiving data from the actuator module, processing and displaying this data, and issuing control commands to the actuator module. The LabVIEW program is organized into three primary components: the event management loop, the UI message loop, and the data receiving loop. These components communicate through a message queue. The event

management loop handles test selection and control command generation, the UI message loop is dedicated to data processing and visualization, and the data receiving loop captures real-time data from the actuator module and forwards it to the UI via the message queue. The structure of the LabVIEW program is shown in figure 2.

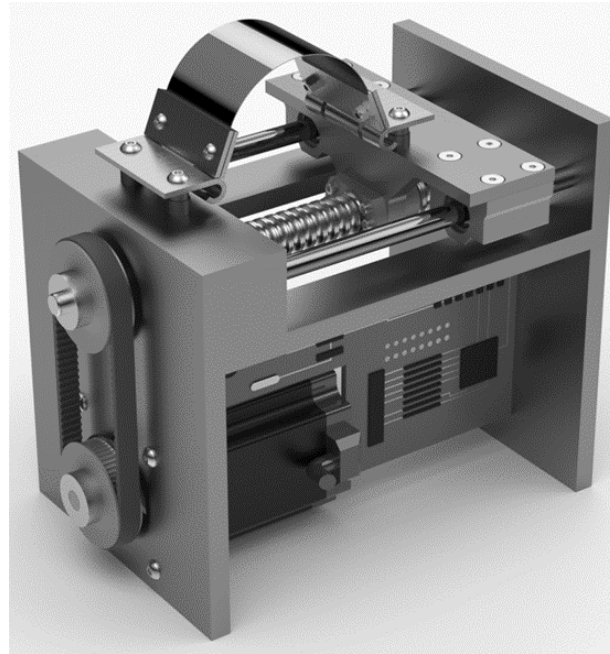


Figure 1. Linear actuator structure representation.

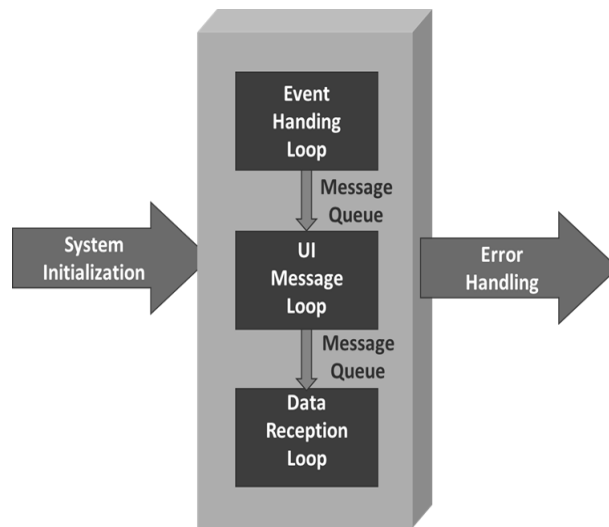


Figure 2. software structure.

RESULTS AND DISCUSSION

The experimental flexometer represents a significant advancement in the field of material testing by enabling in-situ measurement of electrical resistivity under mechanical deformation. This device is specifically designed to assess how materials' electrical properties change as they bend from a flat state to various curvature radii. With the flexibility to configure parameters such as bending speed, radius of curvature (R_C), bending relaxing time (BRT), and stretching relaxing time (SRT), researchers can tailor the testing conditions to explore their effects on both the electrical and mechanical behaviors of the samples.

The core functionality of the flexometer lies in its ability to perform continuous bending and relaxation cycles, allowing for a comprehensive analysis of how materials respond to dynamic stresses. By adjusting the bending speed and curvature, researchers can simulate different mechanical conditions and observe their impact on resistivity, thus providing valuable insights into material performance under practical use conditions.

3.1 Graphical User Interface (GUI)

A crucial component of the flexometer is its Graphical User Interface (GUI), detailed in figure 3. The GUI serves a dual purpose: it facilitates real-time system control for active users and acts as an educational tool for future students. Designed with ease of use in mind, the GUI ensures that users can efficiently operate the system, configure experimental parameters, and monitor results. Its intuitive layout and comprehensive information display are intended to support both practical experimentation and educational development.

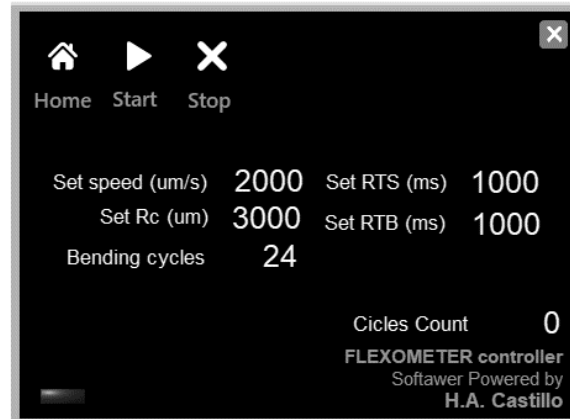


Figure 3. Graphic interface of flexometer device

The design of the GUI reflects a commitment to user experience and accessibility. It is crafted to be user-friendly, allowing for straightforward manipulation of experimental settings and real-time data visualization. This thoughtful design not only enhances the usability of the flexometer but also provides a valuable platform for students to engage with the technology, learn about system operation, and conduct their own experiments. Overall, the experimental flexometer and its accompanying GUI represent a robust tool for advancing the understanding of material behavior under deformation, bridging the gap between research and practical application.

The procedure for using this GUI is presented below:

- Set Speed ($\mu\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)

The speed can be set to any value in a range of (100 to 20000 $\mu\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$). This is the speed that allows the device to perform the bending and stretching movements of the sample. This value is set for bending the sample until the radius of curvature R_C is reached.

- Set R_C (Bending radius)

The critical radius of curvature that the sample can reach. R_C can be set at any range of (2000 to 45000 μm).

- Bending Relaxing Time (BRT) and Stretching Relaxing Time (SRT)

This command is typically used to give the material time to reach a state of relaxation of the stress produced by the bending and stretching. This time can be set to any value in a range of 0 to 30,000 ms.

The flexometer's operation was validated by evaluating the performance of a flexible p-SnO_x/n-SnO_x diode fabricated on a polyimide substrate. This section discusses the diode's electrical properties before and after 200 bending cycles at varying radii of curvature and assesses the relationship between its mechanical deformation and electrical behavior.

Figure 4(a) illustrates the layered structure of the p-SnO_x/n-SnO_x diode, showing the individual materials that constitute the device. The diode was subjected to mechanical bending to analyze how different curvature radii and bending cycles affect its electrical properties. Initially, the device was bent to a radius of curvature of 10,000 μm , as depicted in figure 4(b). This preliminary test established a baseline for the diode's performance under bending stress.

Seven months post-fabrication, the diode underwent a series of bending tests at a larger radius of curvature, precisely 50,000 μm , over 20, 100, and 200 cycles. Each cycle involved a bending phase of 1 second, followed by a relaxation period of 1,000 milliseconds. Figure 4(d) illustrates the bending and relaxing processes, demonstrating the cyclic stress applied to the diode. An automatic, lab-made flexometer device was utilized for these measurements (Figure 4(c)), ensuring precise control and monitoring of the bending and relaxation phases.

The diode's electrical properties were measured in atmospheric air using a micromanipulator MicroZoom from Wentworth Labs, coupled with a Keithley 4200-SCS tool. The ignition voltage (V_{on}) was determined by extrapolating the linear portion of the current-voltage (I-V) curve with direct polarization. These measurements are crucial for understanding the diode's rectification behavior and threshold characteristics.

The stability of the diode under bending stress was evaluated by measuring the I-V curves in the flat position and after bending at a radius of curvature of 50 mm for 20, 100, and 200 cycles. As shown in Figure 5(a), the diode exhibited substantial bending stability during the first 100 cycles, maintaining 61.8% of its initial current at 5 V [10]. However, after 200 bending cycles, the current reduced to 3.6% of its initial value, indicating a significant decrease of nearly one order of magnitude (from 10^{-5} A to 10^{-6} A). Despite this reduction, the diode continued to function as a reliable rectifier, demonstrating its ability to maintain rectification properties even after extensive mechanical stress. The current values were normalized (N) to facilitate comparison using the following equation:

$$N = \left(\frac{I_f}{I_i}\right) \times 100\% \quad (1)$$

I_f is the current after different bending cycles, and I_i is the current before bending this normalization allows for a clear assessment of the impact of bending cycles on the diode's performance.

Zardetto *et al.*, 2011 found that the ITO conductivity on a flexible substrate decreased after 150 cycles at $r = 8$ mm. This behavior can be caused by small failures or cracks formed during the bending process (Zardetto *et al.*, 2011). This could explain the decrease of the current after 200 cycles, even if moderate bending has been applied ($r = 50$ mm). Note that the diode retained its rectifying properties after seven months of manufacture and 200 bending cycles.

The ideality factor (η) was extracted from the slope of the curve $\ln(I_D)$ vs V , where I_D is the diffusion current. These results are shown in Figure 5b. Here η represents the uniformity in the binding interface and usually has a $1 \leq \eta \leq 2$ value. When η is close to 1, the diffusion current, which corresponds to the flow of charge carriers within a semiconductor traveling from a higher concentration region to a lower concentration region, dominates at the interface. In contrast, for $\eta > 2$, the recombination current is defined as conduction electrons predominate, filling the valence gaps, thus eliminating an electron-hole pair (Mayes *et al.*, 2004). The flexible p-SnOx/n-SnOx diode exhibited an average ideality factor (the measurement of how close the diode follows the ideal diode equation) of 2.2, higher than the conventional one. It could be mainly due to a recombination of carriers in the depletion layer. Moreover, it can be attributed to surface defects on the semiconductors (Garzon-Fontecha *et al.*, 2023, Zardetto *et al.*, 2011, Mayes *et al.*, 2004., Ohta *et al.*, 2003).

In the test carried out on a p-SnOx/n-SnOx diode, it can be observed that the ignition voltage of the diode decreased when the radius of curvature was reduced to 10 mm. It was established that the threshold voltage and the carrier mobility value may decrease when devices are bent under tension, but they increase when bent under compression, or vice versa. This change is because the device, under tension or compression, can promote changes in the electron orbitals of the junction interface. After bending in $r = 10$ mm, the diode was returned to the flat position and exhibited a V_{on} of 2.20 V, a value close to the V_{on} initially measured in the flat place ($V_{on} = 2.24$ V). Which means that no significant changes are observed in the current of the p-SnOx/n-SnOx diode before and after bending. In addition, it was observed that the current decreased after applying more than 2.5 V, which could be attributed to the diode suffering mechanical deformations of its morphology, thus diminishing the mobility of the carriers in the films (Angelica Garzon-Fontecha, *et al* 2023).

CONSLUSIONS

The flexometer device was constructed with a control program written in LabVIEW. Control strategies, such as advance position compensation and PID controller, were adopted to enhance the accuracy in linear actuator displacement. The performance of this equipment was evaluated using a p-SnOx/n-SnOx diode, revealing the effects of bending strain on the electronic properties of the diode after 200 bending cycles.

The diode, both in the flat position and after bending to $r = 50$ mm during several bending cycles, exhibited high bending stability, retaining 61.8% of its initial current at 5 V. Furthermore, the flexible diode presented an average ideality factor of 2.2, which is higher than that of conventional diodes.

The experimental results underscore the flexibility and durability of the p-SnOx/n-SnOx diode on a polyimide substrate. The device exhibited good bending stability over an extensive number of cycles, though some degradation in current was observed. The flexibility of the diode, combined with its ability to retain rectification properties, makes it a promising candidate for applications requiring mechanical flexibility. Future work could focus on enhancing the material's robustness to improve its long-term performance and stability further.

Finally, the experimental results demonstrated that the flexometer device is a viable tool for researching the effects of variables such as bending radius, speed, bending relaxation time, and stretching relaxation time, all of which are implicit in the generation of bending strain.

Acknowledgment

this work was partially supported by the DGAPA-UNAM No. IN112918 grant and the Laboratorio Nacional de Nanofabricación of CNyN and CONAHCYT.

BIBLIOGRAPHY

- Garzon-Fontecha, A., Castillo, H. A., Regalado, A., Valdez, R., Cota-Araiza, L., & De La Cruz, W. (2023a). Electrical Properties of a p-SnO_x/n-SnO_x Diode on a Flexible Polyimide Substrate. *physica status solidi (a)*. <https://doi.org/10.1002/pssa.202300316>
- Li, H. U., & Jackson, T. N. (2015). Oxide Semiconductor Thin Film Transistors on Thin Solution-Cast Flexible Substrates. *IEEE Electron Device Letters*, 36(1), 35–37. <https://doi.org/10.1109/led.2014.2371011>
- Li, H. U., & Jackson, T. N. (2016). Flexibility Testing Strategies and Apparatus for Flexible Electronics. *IEEE Transactions on Electron Devices*, 63(5), 1934–1939. <https://doi.org/10.1109/ted.2016.2545706>
- Lin, H. K., Chiu, S. M., Cho, T. P., & Huang, J. C. (2013). Improved bending fatigue behavior of flexible PET/ITO film with thin metallic glass interlayer. *Materials Letters*, 113, 182–185. <https://doi.org/10.1016/j.matlet.2013.09.084>
- Mayes, K., Yasan, A., McClintock, R., Shiell, D., Darvish, S. R., Kung, P., & Razeghi, M. (2004). High-power 280 nm AlGaIn light-emitting diodes based on an asymmetric single-quantum well. *Applied Physics Letters*, 84(7), 1046–1048. <https://doi.org/10.1063/1.1647273>
- Ohta, H., Hirano, M., Nakahara, K., Maruta, H., Tanabe, T., Kamiya, M., Kamiya, T., & Hosono, H. (2003). Fabrication and photoresponse of a pn-heterojunction diode composed of transparent oxide semiconductors, p-NiO and n-ZnO. *Applied Physics Letters*, 83(5), 1029–1031. <https://doi.org/10.1063/1.1598624>
- Peng, O., Jiang, L., Yao, H., & Zayed, T. (2024). A four-point bending technique for characterizing the interface fracture toughness between soft thin films and stiff substrates. *Engineering Fracture Mechanics*, 109881. <https://doi.org/10.1016/j.engfracmech.2024.109881>
- Sathyamoorthy, R., Abhirami, K. M., Gokul, B., Gautam, S., Chae, K. H., & Asokan, K. (2014a). Fabrication of p-n junction diode using SnO/SnO₂ thin films and its device characteristics. *Electronic Materials Letters*, 10(4), 743–747. <https://doi.org/10.1007/s13391-013-3297-6>
- Taguchi, R., Akamatsu, N., Kuwahara, K., Tokumitsu, K., Kobayashi, Y., Kishino, M., Yaegashi, K., Takeya, J., & Shishido, A. (2021). Nanoscale Analysis of Surface Bending Strain in Film Substrates for Preventing Fracture in Flexible Electronic Devices. *Advanced Materials Interfaces*, 8(5), 2001662. <https://doi.org/10.1002/admi.202001662>
- Wang, T., Lu, K., Xu, Z., Lin, Z., Ning, H., Qiu, T., Yang, Z., Zheng, H., Yao, R., & Peng, J. (2021). Recent Developments in Flexible Transparent Electrode. *Crystals*, 11(5), 511. <https://doi.org/10.3390/cryst11050511>
- Zardetto, V., Brown, T. M., Reale, A., & Di Carlo, A. (2011a). Substrates for flexible electronics: A practical investigation on the electrical, film flexibility, optical, temperature, and solvent resistance properties. *Journal of Polymer Science Part B: Polymer Physics*, 49(9), 638–648. <https://doi.org/10.1002/polb.22227>

Comunicación: elemento clave en una organización. Problemas y propuestas de solución

DOI: 10.60968/iaet.3594-035X.861

M.I.A. Verónica Muñoz Ponce¹, Dra. Adriana Zavala Martínez², M.A. Aarón Rubén Ríos Juárez³, Dra. Martha Elena Rabadán Serrano⁴

¹ Tecnológico Nacional de México/Tecnológico de Estudios Superiores de Cuautitlán Izcalli, veronica.mp@cuautitlan.tecnm.mx

² Tecnológico Nacional de México/Tecnológico de Estudios Superiores de Cuautitlán Izcalli, adriana.zm@cuautitlan.tecnm.mx

³ Tecnológico Nacional de México/Tecnológico de Estudios Superiores de Cuautitlán Izcalli, ruben.rj@cuautitlan.tecnm.mx

⁴ Tecnológico Nacional de México/Tecnológico de Estudios Superiores de Cuautitlán Izcalli, martha.rs@cuautitlan.tecnm.mx

Línea de investigación: Productividad y competitividad

Resumen

La comunicación es un factor clave en toda organización, influye directamente en la convivencia, productividad y clima laboral. En el Tecnológico de Estudios Superiores de Cuautitlán Izcalli (TESCI), la comunicación interna ha presentado serias deficiencias, afectando negativamente el ambiente de trabajo, causando diversos problemas. Este estudio tiene como objetivo identificar los conflictos generados por la comunicación deficiente y proponer estrategias que reduzcan los efectos negativos, mejorando así la productividad y el ambiente laboral. La investigación se orientará a evaluar los medios de comunicación existentes, así como, la percepción de los colaboradores. Se adoptará un enfoque mixto con métodos cuantitativos y cualitativos. Mediante encuestas y entrevistas a docentes, personal administrativo y directivo del TESCOI, se evaluará la calidad y efectividad de los medios de comunicación en la institución. Se analizará estadísticamente una muestra de 146 personas, aplicando un cuestionario en escala de Likert. Este análisis permitirá identificar los principales patrones y áreas de mejora. Dentro de los hallazgos principales se identifica que existe un canal de comunicación oficial, sin embargo, no es el que más se utiliza, sino los medios informales, lo cual, crea confusión por la diversidad del contenido; entre las propuestas de mejora destacan la unificación de canales, la capacitación en comunicación efectiva y la creación de un sistema continuo de retroalimentación para evaluar y ajustar los procesos comunicativos. Estas acciones, junto con una correcta asignación de tareas y cargas laborales, contribuirán a crear un ambiente de trabajo más armonioso y productivo.

Palabras clave: Canales de comunicación, Comunicación, Educación superior, Problemas de comunicación.

Abstract

Communication is a key factor in any organization, it directly influences coexistence, productivity and work environment. At the Tecnológico de Estudios Superiores de Cuautitlán Izcalli (TESCI), internal communication has presented serious deficiencies, negatively affecting the work environment, causing various problems. This study aims to identify the conflicts generated by poor communication and propose strategies that reduce the negative effects, thus improving productivity and the work environment. The research will be aimed at evaluating the existing media, as well as the perception of collaborators. A mixed approach will be adopted with quantitative and qualitative methods. Through surveys and interviews with teachers, administrative staff and directors of TESCOI, the quality and effectiveness of the media in the institution will be evaluated. A sample of 146 people will be statistically analyzed, applying a questionnaire on a Likert scale. This analysis will identify the main patterns and areas for improvement. Among the main findings, it is identified that there is an official communication channel, however, it is not the one that is most used, but informal media, which creates confusion due to the diversity of content; Among the improvement proposals, the unification of channels, training in effective communication and the creation of a continuous feedback system to evaluate and adjust communication processes stand out. These actions, together with a correct assignment of tasks and workloads, will contribute to creating a more harmonious and productive work environment.

Keywords: Communication channels, Communication, Higher education, Communication problems.

INTRODUCCIÓN

Desde el nacimiento, las personas forman parte de un núcleo, una comunidad, una localidad, o una ciudad; es decir, forman parte de la sociedad, la cual, tiene una serie de características: las actividades comunes, actitudes, comportamientos, normas, ya sean tácitas o explícitas, el dinamismo, está integrada por roles y niveles, entre otras. Todas estas características están sujetas a un elemento primordial: la comunicación, la cual, es entendida como el intercambio de información con un fin específico y mediante diversos mecanismos.

La comunicación es un elemento esencial para el intercambio de información en diferentes contextos, fundamental para la vida en sociedad:

Es importante tomar en cuenta que en el proceso de la comunicación la escucha activa ocupa un lugar primordial. Sin duda, para poder dar una respuesta asertiva es indispensable escuchar al interlocutor. Saber conversar es sinónimo de saber escuchar, se conoce como comunicación asertiva. (Gómez, 2016).

En el ámbito educativo, una comunidad está compuesta por estudiantes, profesores, personal administrativo, personal de apoyo y directivos, todos interrelacionados en un entorno de aprendizaje. Sin embargo, la gran cantidad de información que circula en estas instituciones puede generar conflictos si no se cuenta con medios de comunicación efectivos:

La comunicación interna de la empresa se ha de planificar a través de canales e instrumentos formales determinados por su propia estructura organizativa. Pero sin olvidar que también existen los canales informales, el más importante de los cuales es el rumor, que surge de la interacción entre sus empleados. Cuanto más desarrollados y controlados estén los primeros, más positivas serán las relaciones sociales y mejor se podrán gestionar las situaciones de rivalidades, desacuerdos o incluso de conflicto. (Túñez, Costa, 2015, p. 62)

En el TESCOI, como en cualquier organización, existen niveles jerárquicos y se maneja un amplio volumen de información que debe fluir entre todos los miembros de la comunidad escolar. Hasta ahora se considera que no se han utilizado los canales adecuados de comunicación en el momento oportuno, lo que ha generado retrasos en la entrega de los trabajos asignados o actividades, desconocimiento, incertidumbre y, por ende, descontento. Este análisis tiene como objetivo identificar las deficiencias en la comunicación en el Tecnológico de Estudios Superiores de Cuautitlán Izcalli (TESCI) y sus consecuencias, así como proponer soluciones para mejorar la comunicación interna.

Mediante encuestas y entrevistas a docentes, personal administrativo y directivo, se evalúa la calidad de la comunicación interna. Los resultados indican que, aunque el correo electrónico institucional es el canal oficial, una gran cantidad de encuestados reconoce que mayormente se utiliza WhatsApp y las redes sociales, generando confusión y desorganización.

Sin duda, para una mejor calidad en los ambientes educativos, es fundamental implementar estrategias claras y eficientes, que estén adaptadas a las necesidades de la comunidad, integrando los canales oficiales, promoviendo formación en comunicación efectiva y la creación de un sistema de retroalimentación continuo que permita evaluar y ajustar las estrategias comunicativas en función de los resultados obtenidos, considerando que esto contribuirá a un ambiente más armonioso y productivo.

La comunicación dentro de las organizaciones son los cimientos de las actividades diarias, las cuales permiten el cumplimiento de los objetivos específicos y generales asignados por un orden jerárquico y cíclico, de esta manera, una institución educativa debe desarrollar herramientas eficientes y adecuadas a las operaciones, circunstancias, actividades y decisiones dentro del plantel y sus usuarios.

DESARROLLO

El presente trabajo tiene como objetivo analizar las deficiencias en la comunicación en una institución de educación superior; se centra en la problemática de la comunicación interna del Tecnológico, se pretende identificar las causas de las fallas en la comunicación, evaluar su impacto en los resultados institucionales y proponer soluciones para mejorar los procesos de comunicación en la institución.

En esta investigación, los participantes son miembros clave de la comunidad educativa del Tecnológico de Estudios Superiores de Cuautitlán Izcalli (TESCI), divididos en tres grupos principales: docentes, personal administrativo y directivos. La muestra está compuesta por 146 personas, con una predominancia clara de docentes, quienes constituyen el 91% del total de los encuestados, seguida del 8% de personal administrativo y el 1%, correspondiente a los directivos.

Este estudio adopta un enfoque mixto, combinando métodos cuantitativos y cualitativos. Se llevará a cabo un análisis descriptivo y exploratorio a través de encuestas y entrevistas dirigidas a docentes, personal administrativo y directivos de TESCOI, con el fin de evaluar la calidad de la comunicación interna. Se aplicó un cuestionario con preguntas en escala de Likert; los datos recolectados serán analizados estadísticamente para identificar patrones, hábitos y áreas clave de mejora en los procesos comunicativos. El desarrollo se llevó a cabo bajo el siguiente orden:

1. Cuestionarios estructurados
2. Entrevistas semi-estructuradas
3. Revisión de documentación institucional
4. Revisión documental del tema
5. Observación participativa
6. Análisis de resultados
7. Propuestas con base en el análisis

OBJETIVO GENERAL Y OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Identificar los conflictos que se generan por una comunicación deficiente en el TESCO y proponer estrategias para aminorar los efectos negativos de éstos.

- Identificar los medios de comunicación existentes en el TESCO y su efectividad.
- Obtener información de la percepción general de los colaboradores de la institución, mediante la aplicación de una encuesta.
- Evaluar y analizar la información obtenida y con base en ello Proponer estrategias que permitan mejorar la comunicación y acrecentar la productividad.

OBJETO DE ESTUDIO

En el TESCO los problemas de comunicación son respuesta de qué no se han utilizado los canales adecuados en el momento oportuno, lo que ha generado retrasos en la entrega de los trabajos asignados o actividades, baja productividad, desconocimiento, retrabajo, incertidumbre, descontento y, con ello, se ha propiciado un mal ambiente laboral. En todas las instituciones, independientemente del sector, actividad, tamaño, debe existir un flujo de comunicación entre todos los integrantes; se admite que un porcentaje considerable de los problemas que aquejan a las organizaciones modernas se refiere al factor humano, en todas direcciones y desde y hacia todos los niveles, ya que la participación de todos es importante al interior de las mismas. La deficiencia en la comunicación o la falta de efectividad en los canales existentes generan una serie de problemas que tienen impacto en las personas, en las tareas, y, sobre todo, en los resultados.

METODOLOGÍA

En esta investigación, se emplearon diversos métodos de recolección de datos para obtener información sobre la calidad y efectividad de la comunicación interna en la institución. Dado que la metodología utilizada fue mixta, se combinaron técnicas tanto cuantitativas, como cualitativas para ofrecer una visión integral del objeto de estudio. A continuación se describen los métodos empleados:

1. Cuestionarios Estructurados

El principal instrumento para la recolección de datos fue un cuestionario estructurado, aplicado a los participantes seleccionados (docentes, personal administrativo y directivos). Este cuestionario tenía como objetivo obtener información sobre las percepciones, experiencias y prácticas comunicacionales dentro de la institución. Las características del cuestionario fueron las siguientes:

Formato Mixto: Se incluyeron preguntas tanto abiertas, como cerradas. Las preguntas cerradas permitieron una evaluación cuantitativa de las respuestas, mientras que las preguntas abiertas, facilitaron el acceso a percepciones y comentarios cualitativos más profundos.

Escala de Likert: Para medir el grado de acuerdo o desacuerdo de los participantes respecto a ciertos aspectos de la comunicación, se utilizaron preguntas con una escala Likert de 5 puntos. Esta escala permitió evaluar la percepción de los participantes sobre la efectividad y confianza en los canales de comunicación.

Distribución de Temas: El cuestionario incluyó preguntas sobre la existencia de canales de comunicación, los medios preferidos, la efectividad de éstos y la confiabilidad percibida en cada canal de comunicación utilizado en la institución.

2. Entrevistas Semi-estructuradas

Además de los cuestionarios, se realizaron entrevistas semi-estructuradas a ciertos directivos y líderes administrativos para complementar la información recolectada. Las entrevistas permitieron profundizar en aspectos más cualitativos relacionados con la toma de decisiones y la estrategia comunicacional de la institución.

3. Revisión de documentación institucional

Se realizó una revisión documental de las políticas de comunicación internas y otros documentos institucionales relevantes para evaluar los canales de comunicación formalmente establecidos en la organización.

4. Revisión documental del tema

Se realizó una profunda investigación de conceptos y terminología en fuentes primarias, estudios previos similares a éste, así como sus resultados.

5. Observación Participativa

Se realizó una observación participativa para analizar de manera directa los comportamientos, actitudes y prácticas comunicativas dentro del entorno laboral. Esto permitió identificar cómo los empleados se comunican diariamente y qué canales utilizan en la práctica, comparando estos resultados con las respuestas dadas en las encuestas y entrevistas.

Análisis de Interacciones: Se observó cómo se utilizaban los distintos medios de comunicación (correo electrónico, WhatsApp, redes sociales, etc.) en la práctica diaria.

Registro de Información: Las observaciones se documentaron en registros de campo para complementar los resultados cuantitativos y cualitativos obtenidos a través de los otros métodos.

6. Análisis de Resultados

El análisis de los datos recolectados permite obtener información valiosa que se presenta a continuación; con base en ésta, se proponen algunas estrategias y acciones.

FASES DEL DESARROLLO

En esta investigación, los participantes son miembros clave de la comunidad educativa del Tecnológico de Estudios Superiores de Cuautitlán Izcalli (TESCI), divididos en tres grupos principales: docentes, personal administrativo y directivos. La muestra está compuesta por 146 personas, con una predominancia clara de docentes, quienes constituyen el 91% del total de los encuestados, el personal administrativo representa el 8% de la muestra y el directivo, 2% de la misma. El grupo docente tiene un rol esencial en la dinámica educativa y administrativa de la institución, aportando información valiosa sobre las prácticas de comunicación.

Contribución de los participantes.

Docentes: Al ser el grupo mayoritario, sus aportaciones son cruciales para evaluar cómo la diversidad de canales afecta su labor diaria y cómo la falta de una comunicación clara, genera confusión o retrasos en el cumplimiento de sus responsabilidades.

Administrativos: Ofrecen una visión desde la coordinación de operaciones, ayudando a detectar fallas en los procesos administrativos que dependen de la transmisión efectiva de información.

Directivos: Brindan una perspectiva gerencial sobre las políticas de comunicación y su implementación, destacando la importancia de formalizar los canales y de mejorar la confianza en los medios institucionales.

Para la investigación, como puede observarse en la Tabla 1, se establecieron los procedimientos para la selección de los participantes, estos procedimientos garantizan que la muestra sea representativa de la comunidad educativa y que se obtenga una perspectiva integral sobre la comunicación interna en la institución.

Tabla 1.
Procedimiento para la Selección de los Participantes.

1. Criterios de inclusión	2. Tamaño de la muestra	3. Método de selección	4. Aplicación de cuestionarios	5. Participación voluntaria
Docentes	91% Docentes	El procedimiento de selección fue no probabilístico	A los participantes seleccionados se les aplicó un cuestionario de 10 preguntas	Se garantizó que la participación en el estudio fuera voluntaria
Personal administrativo	8% Personal administrativo			
Directivos	1% Directivos			

Nota: Elaboración propia a partir del procedimiento de selección.

- 1. Criterios de Inclusión.** Se establecieron criterios específicos para incluir a los participantes en la muestra.
- 2. Tamaño de la Muestra**
La muestra total seleccionada fue de 146 personas, distribuidas de la siguiente manera:
91% Docentes: Este grupo fue priorizado en la selección debido a su relevancia numérica y su impacto directo en los procesos académicos y comunicacionales de la institución.
8% Personal Administrativo: Se incluyeron miembros del personal administrativo para obtener una visión complementaria sobre cómo se gestiona la comunicación desde el ámbito organizativo.
1% Directivos: Se seleccionaron directivos clave que tuvieran un papel relevante en la toma de decisiones institucionales y la implementación de estrategias comunicativas.
- 3. Método de Selección**
El procedimiento de selección fue no probabilístico, utilizando un muestreo por conveniencia. Esto implica que los participantes fueron seleccionados en función de su disponibilidad y relevancia para la investigación. Se eligieron personas de cada uno de los grupos descritos anteriormente (docentes, personal administrativo, y directivos) asegurando la representatividad de los distintos niveles jerárquicos y roles dentro de la institución.
- 4. Aplicación de Cuestionarios**
A los participantes seleccionados se les aplicó un cuestionario de 10 preguntas, compuesto por preguntas abiertas y en una escala de Likert. Este cuestionario cubría aspectos clave sobre la comunicación interna.
- 5. Participación voluntaria**
Se garantizó que la participación en el estudio fuera voluntaria. Los participantes fueron informados sobre el propósito de la investigación y su importancia para mejorar la comunicación institucional. Todos los participantes dieron su consentimiento para formar parte del estudio y responder al cuestionario.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En esta sección se presentan los hallazgos obtenidos a partir de la recolección de datos mediante los cuestionarios, entrevistas y otros instrumentos descritos en la metodología. A continuación, se detallan los resultados clave en torno a la calidad de la comunicación interna, los canales utilizados, su efectividad y la percepción de los participantes en la institución educativa.

Se analizan e interpretan las respuestas recabadas, lo cual será de utilidad para identificar la importancia de una buena comunicación, por un lado, los problemas que se causan y que, deben intentar eliminarse, y por el otro, propuestas de acciones que pueden ponerse en marcha para corregir este aspecto, mejorando el ambiente laboral y aumentando la productividad general.

Pregunta 1. Población de estudio. De la muestra recolectada, de 146 personas del total de la población, puede observarse que el 91% son docentes, el 8% personal administrativo y el 1%, directivos, como se observa en la figura 1.

Figura 1.
Población de Estudio



Nota: Elaboración propia a partir de encuestas realizadas.

Dentro de la primera pregunta se suministra información crucial acerca de la composición de la muestra en relación con los roles dentro de la institución educativa. En este contexto, resalta la predominancia de docentes, seguidos por el personal administrativo y los directivos. Estos porcentajes proporcionan una visión general de la representación de cada grupo en la muestra y pueden resultar relevantes para analizar y comprender la dinámica de la población de estudio en el marco de la investigación o evaluación en desarrollo.

Pregunta 2. Existencia de canales de comunicación interna. Como lo muestra la figura 2, se observan datos muy interesantes, ya que el 66% opina que sí hay un canal de comunicación oficial (en este caso el correo electrónico institucional), sin embargo, el 20% opina que, al ya tener más comunicación por otros medios, como WhatsApp, el correo electrónico ya no es la fuente oficial y ante esa misma confusión, el 14% opina no saber si existe un canal oficial o no.

Figura 2.
Existencia de Canales de Comunicación Interna

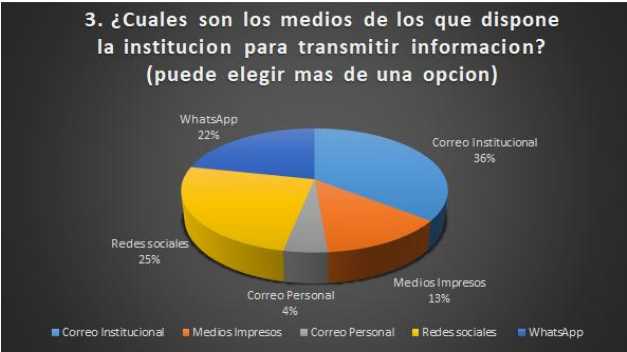


Nota: Elaboración propia a partir de encuestas realizadas.

La información destaca la diversidad de canales utilizados para la comunicación interna en la institución TESCO. La presencia de varios medios subraya la importancia de adaptarse a las preferencias de los usuarios, enfatizando la necesidad de una estrategia integral que abarque diversos canales para garantizar una comunicación efectiva en la comunidad educativa.

Pregunta 3. Medios de comunicación interna. Al analizar las respuestas, con las respuestas a la pregunta tres, cobran sentido las respuestas de la pregunta dos, ya que, actualmente, existen varios canales de comunicación en el TESCI: 22% usa WhatsApp, solo el 36%, el correo institucional, 25%, redes sociales, como Facebook, el 13% utiliza medios impresos, como trípticos o circulares y el 4% restante, su correo electrónico personal, lo cual, se presenta en la figura 3.

Figura 3.
Medios de Comunicación Interna



Nota: Elaboración propia a partir de encuestas realizadas.

La mayoría reconoce el correo electrónico institucional como un canal oficial, pero un significativo porcentaje favorece otras formas de comunicación. La diversidad de opiniones sugiere la posible necesidad de aclaración y ajuste en la estrategia de comunicación interna. Además, indica la conveniencia de adaptarse a las preferencias de los usuarios en términos de canales de comunicación.

Pregunta 4. Efectividad de los medios de comunicación interna. Esta pregunta es detonante, ya que hace referencia a la confiabilidad y se observa que a pesar de que WhatsApp no es el canal oficial, si el más confiable y ágil con 43% y en contraste, tenemos un 3% que indica que ningún canal es confiable, ver figura 4.

Figura 3.
Efectividad de los Medios de Comunicación Interna



Nota: Elaboración propia a partir de encuestas realizadas.

Esta gráfica destaca la importancia de la percepción de confiabilidad en la efectividad de los canales de comunicación interna (a pesar de que no todos pueden considerarse como oficiales), resaltando la relevancia de evaluar y mejorar la confianza de los usuarios en estos medios.

Pregunta 5. Recepción de los mensajes del emisor. Como se presenta en la figura 5, al preguntar si se reciben de manera correcta y precisa los mensajes que envía el emisor, el 55% considera que casi siempre, el 21%, siempre, ocasionalmente, el 18%, mientras que el 2% cree que nunca cuenta con información precisa.

Figura 5.
Recepción de Mensajes del Emisor



Nota: Elaboración propia a partir de encuestas realizadas.

Esta gráfica muestra que no siempre se reciben los mensajes o la información con la con la misma intención con que la manda el emisor, influye el canal, los intermediarios y el momento en que se envía y recibe el comunicado, lo que resta confiabilidad y por ende, la ejecución correcta de lo que se pretendía.

Pregunta 6. Percepción de la calidad de la comunicación en la institución. En términos generales, de acuerdo con la experiencia de las personas encuestadas, el 42% considera que es regular, un porcentaje muy similar (40%), tiene la percepción de que es buena, para el 9% es mala, es excelente únicamente para el 8% y el 2% restante percibe una mala calidad, como lo muestra la figura 6:

Figura 6.
Percepción de la Calidad de la Comunicación en la Institución



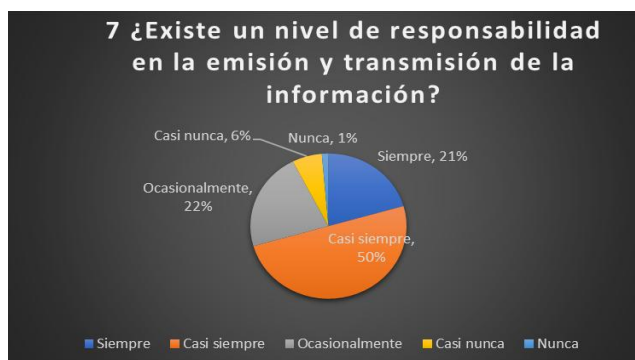
Nota: Elaboración propia a partir de encuestas realizadas.

De acuerdo con las vivencias, experiencia y posición en la institución, se tiene diferente percepción de la calidad de la comunicación, aunque el promedio se encuentra entre regular y buena, es evidente que tienen que tomarse medidas al respecto.

Pregunta 7. Nivel de responsabilidad en la emisión y transmisión de la información. Dentro de la institución se genera una gran cantidad de información, emitida desde diferentes áreas y con distintos objetivos; en la figura 7 puede observarse que, de acuerdo con el 50%, casi siempre existe un nivel de responsabilidad emisión-transmisión, lo cual, es positivo; el 6% considera que casi nunca, mientras que el 22% y el 21% consideran que ocasionalmente y siempre, respectivamente.

Figura 7.

Nivel de Responsabilidad en la Emisión y Transmisión de la Información



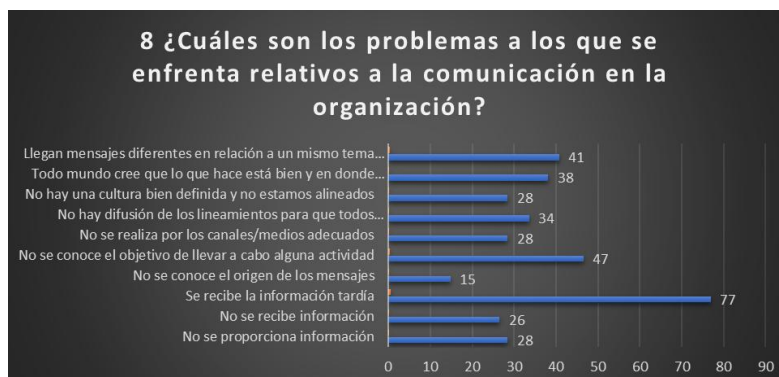
Nota: Elaboración propia a partir de encuestas realizadas.

Para una mayor confiabilidad, es indispensable que la información se encuentre respaldada por quien la emite, con ello, habrá mayores probabilidades de que se atienda de una manera más efectiva; es importante que el emisor asuma dicha responsabilidad.

Pregunta 8. Problemas a los que se enfrenta la comunidad relativos a la comunicación en la organización. Se plantearon 10 dificultades que suelen presentarse como resultado de una mala comunicación; las tres más comunes son: la recepción tardía de la información se encuentra en primera posición, enseguida, el que no se conoce el objetivo de llevar a cabo alguna actividad y, por último, que llegan mensajes diferentes en relación a un mismo tema, dependiendo de quien lo emite y/o transmite, como puede verse en la figura 8:

Figura 8.

Problemas Relacionados con la Comunicación a los que se Enfrenta la Comunidad

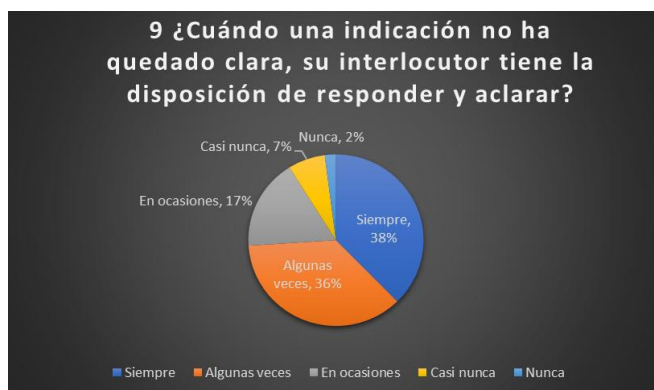


Nota: Elaboración propia a partir de encuestas realizadas.

Pregunta 9. Disposición del interlocutor para responder y aclarar. En la figura 9 se observan las respuestas acerca de la disposición que existe en la institución para aclaración de dudas, el 38% respondió que siempre hay disposición, el 36%, algunas veces, para el 17%, es en ocasiones, casi nunca hay disposición, según el 7% y el 2% menciona que nunca se aclaran las dudas.

Figura 9.

Disposición del Interlocutor para Responder y Aclarar Dudas



Nota: Elaboración propia a partir de encuestas realizadas.

En ocasiones no quedan claras las indicaciones o la información que se comparte, lo ideal sería que, ante la duda, el emisor o responsable de la información tuviese la disposición de aclarar para evitar confusiones y errores en la ejecución de las tareas, aunque no siempre es así.

Pregunta 10. Propuestas para mejorar la comunicación en la institución. Se solicitó a los encuestados que anotaran algunas propuestas para mejorar este aspecto (comunicación) dentro del TESCO, se recopilaron respuestas diversas, incluso, algunas personas mencionaron que de ellas no dependía, sin embargo, la comunicación es algo que compete a todos los participantes dentro de la institución, por lo tanto, es válido hacer alguna aportación desde nuestra experiencia y punto de vista.

Por las múltiples respuestas, no fue posible obtener una gráfica, sin embargo, se mencionan las propuestas:

- Más interacción y empatía
- Que la información se comparta a tiempo
- Claridad, precisión, transparencia y oportunidad en la información
- Que existan canales específicos para determinado tipo de información
- Depuración y oficialización de canales de comunicación
- Que la información se comparta de manera general, que ésta no sea privilegiada solo a algunas personas o niveles
- Clasificar la información
- Que solo haya un emisor, ya que, en ocasiones se recibe por varios medios, pero con diferente interpretación
- Que exista correlación y responsabilidad sobre la información que se comparte
- Que exista mayor disposición para escuchar, hablar y aclarar
- Que las reuniones se programen a diversas horas, para que todas las personas puedan participar y enterarse, además de que éstas sean concretas y objetivas
- Ser objetivos, pronto y expeditos
- Que se comuniquen los objetivos que se persiguen ante cierta información
- Buena actitud al emitir y al recibir
- Que la comunicación sea objetiva, alineada, a tiempo y por igual a todos

A partir de los datos obtenidos, es evidente que la comunicación interna en la institución requiere una revisión y actualización de sus políticas y prácticas. Si bien existe un canal oficial (el correo electrónico institucional), las herramientas informales, como WhatsApp, han ganado terreno en términos de preferencia y confianza. Esta situación puede generar descoordinaciones y desinformación, afectando la eficiencia comunicacional.

Por otro lado, los resultados subrayan la importancia de la percepción de confiabilidad en la efectividad de los medios de comunicación. Los empleados valoran la accesibilidad, inmediatez y facilidad de uso de los canales, lo que sugiere la necesidad de adaptar los sistemas formales a estas expectativas sin perder de vista los objetivos institucionales.

Finalmente, los hallazgos evidencian la importancia de un enfoque integral y flexible en la estrategia de comunicación interna, que incorpore las preferencias de los usuarios y garantice, al mismo tiempo, la claridad y formalidad de los mensajes emitidos dentro de la institución.

CONCLUSIÓN

La comunicación interna es crucial en cualquier institución, ya que influye en su funcionamiento y la satisfacción de sus miembros. La falta de comunicación puede causar malentendidos, desconfianza y un ambiente laboral negativo. En una encuesta realizada, se identificó que los integrantes de la institución sienten falta de transparencia y confianza, lo que lleva a problemas de desinformación y conflictos personales. Esta situación resalta la necesidad de establecer y unificar canales adecuados que mejoren la comunicación interna y promuevan un entorno laboral saludable.

Para abordar estos problemas, se proponen varias estrategias de mejora en la comunicación del TESCO. Primero, es importante fomentar la interacción y la empatía entre los miembros, asegurando que la información se transmita de manera clara y oportuna, evitando duplicidades. Además, se sugiere la creación de un canal específico para comunicados, asegurando que toda la información sea accesible para todos sin privilegios. Esto implica depurar y oficializar los canales de comunicación, priorizando correos electrónicos en momentos críticos y estableciendo un sistema donde las comunicaciones oficiales sean impresas y numeradas.

La utilización de diferentes medios para difundir la información y la creación de un chat para aclaraciones puede facilitar la comunicación. También se recomienda la formación de comités representativos y la designación de personas para manejar las redes sociales, así como notificar anticipadamente sobre cambios en la documentación.

La capacitación del personal en temas de comunicación y la creación de un plan estructurado para la difusión de la información son esenciales. Se debe ser objetivo, puntual y conciso en las instrucciones, utilizando solo canales oficiales y estableciendo responsabilidades claras en el proceso comunicativo. La transparencia y empatía hacia la comunidad estudiantil son clave, ya que ellos son el foco principal de la institución. En resumen, para mejorar la comunicación en la institución, es esencial implementar estrategias que incluyan la organización de la información, el uso de canales oficiales, empatía, transparencia y capacitación del personal, lo que contribuirá a una comunicación más efectiva y cohesionada.

BIBLIOGRAFÍA

- Angarita, C. J. R., & Puentes, W. T. (2014). *¿Comunidad educativa o sociedad educativa?* Educación y ciudad, (27), 139-146
- Cueva, M. R. C., Hernández, Y. L. D., & Regalado, Ó. L. (2021). *Comunicación asertiva en el contexto educativo: revisión sistemática*. Boletín Redipe, 10(4), 315-334.
- Gómez, F. (2016, diciembre). *La comunicación*. SCIELO. https://ve.scielo.org/scielo.php?pid=S1316-71382016000300002&script=sci_arttext
- Salinas, J. (1999). *¿Qué se entiende por una institución de educación superior flexible?* In Comunicación presentada en " Congreso Edutec (Vol. 99).
- Secretaría del Trabajo y Previsión Social. Norma Oficial Mexicana NOM-035-STPS-2018. *Factores de riesgo psicosocial en el trabajo-Identificación, análisis y prevención*. <https://www.gob.mx/stps/articulos/norma-oficial-mexicana-nom-035-stps-2018-factores-de-riesgo-psicosocial-en-el-trabajo-identificacion-analisis-y-prevencion>
- Túñez, L.M, Costa, S. C., (2015). *Comunicación corporativa claves y escenarios* (1.^a ed.). Editorial UOC.
- Vilanova, N. (2013). *Micropoderes Comunicación interna para empresas con futuro* (3.^a ed., p. 24, 25, 26). Plataforma Editorial.
- Yukl, G. (2008). *Liderazgo en las organizaciones*.

Caracterización Óptica de Micro Depresiones Ópticas Fabricadas en Silicio

DOI: 10.60968/iaet.3594-035X.862

Raúl Pérez Rodríguez¹, Omar Totolhua Paleta², Francisco Javier Renero Carrillo³, Wilfrido Calleja Arriaga⁴

¹Universidad Politécnica de Amozoc raul.perez@upamozoc.edu.mx

²Universidad Politécnica de Amozoc omar.totolhua@upamozoc.edu.mx

³Instituto Nacional de Astrofísica Óptica y electrónica paco@inaoep.mx

⁴Instituto Nacional de Astrofísica Óptica y electrónica wcalleja@inaoep.mx

Línea de investigación: Otras ingenierías

RESUMEN

La caracterización mecánica y óptica es fundamental en la fabricación de dispositivos MEMS y MOEMS. Este estudio presenta la medición de micro depresiones obtenidas a partir de ventanas cuadradas grabadas en silicio cristalino. Se emplearon un perfilómetro mecánico y un microscopio interferométrico Twyman-Green para determinar el diámetro y la sagita, complementándose con mediciones de sagita mediante un esferómetro óptico. Los resultados muestran que, para ventanas de 10 μm , las micro depresiones presentan un diámetro promedio de 302.5 μm y una sagita de 4.4 μm con una desviación estándar del 5.4%. Para ventanas de 20 μm , los valores promedios fueron de 415.3 μm en diámetro y 8.9 μm en sagita, con una desviación del 4.3%. Estos datos confirman la precisión y reproducibilidad del proceso de fabricación, validando su aplicabilidad en dispositivos optoelectrónicos avanzados.

Palabras clave: Dispositivos optoelectrónicos, MEMS, micro depresiones ,micro maquinado en electrónica .

ABSTRAC

The mechanical and optical characterization is essential in the fabrication of MEMS and MOEMS devices. This study presents the measurement of microdepressions obtained from square windows etched in crystalline silicon. A mechanical profilometer and a Twyman-Green interferometric microscope were used to determine the diameter and sagitta, complemented by sagitta measurements using an optical spherometer.

The results show that, for 10 μm windows, the microdepressions have an average diameter of 302.5 μm and a sagitta of 4.4 μm , with a standard deviation of 5.4%. For 20 μm windows, the average values were 415.3 μm in diameter and 8.9 μm in sagitta, with a deviation of 4.3%. These data confirm the precision and reproducibility of the fabrication process, validating its applicability in advanced optoelectronic devices

Keywords: Micromachining in microelectronics, Optoelectronic devices, Optical Mems,

INTRODUCCIÓN

Las micro depresiones de silicio son ampliamente utilizadas en aplicaciones de óptica integrada debido a su morfología de alta calidad (Molar V.G., 2009). Los sistemas de exploración óptica tienen una variedad de aplicaciones, como la lectura de códigos de barras, el despliegue de datos, el almacenamiento óptico de información y la cirugía láser, entre otras. La mayoría de estos sistemas están compuestos por espejos dobladores de luz y lentes o espejos (Rubico J. T. 1994).

Los sistemas micro opto electromecánicos (MOEMS) se emplean en proyectos cuyo objetivo principal es permitir el direccionamiento o la modulación de la trayectoria de un rayo de luz. En algunos casos, estos sistemas también pueden modificar temporal o espectralmente el rayo de luz. Los elementos micro-ópticos más comunes incluyen aquellos que reflejan, difractan o refractan la luz (Zou, J. et al, 1999).

Las aplicaciones de los MOEMS abarcan desde guías de onda para comunicaciones ópticas hasta sistemas de exploración, como escáneres y lectores de códigos de barras, dispositivos de almacenamiento de datos, impresoras, cirugía láser, dispositivos de despliegue de información (displays) y rejillas de difracción. Estos dispositivos son diseñados y fabricados mediante micro tecnología (Rubico J. T. 1994).

El término MOEMS ha sido reemplazado en la literatura por "Optical MEMS" u "Opto-MEMS". Los MEMS ópticos pueden definirse como sistemas MEMS que integran subsistemas ópticos. El rango de longitudes de onda en el que operan estos dispositivos va desde los 0.2 μm en el ultravioleta hasta los 12 μm en el infrarrojo lejano (García G. 2024)

Las principales características que destacan la relevancia de los MOEMS en la tecnología son (Kufner S., et al 1997):

- El proceso de fabricación de los sistemas.
- El tamaño reducido de los elementos en los sistemas.
- La posibilidad de dotar a los elementos ópticos de un movimiento preciso y controlado.
- El costo accesible en comparación con otras tecnologías.

Se emplean dispositivos como micro-lentes y micro-espejos en arreglos diseñados para fuentes de luz con propiedades específicas, tales como los VCSEL's (Láseres Emisores Superficiales de Cavity Vertical). Estas fuentes son desarrolladas por organizaciones especializadas, como la Unión de Proyectos Optoelectrónicos (JOP) y Gigalese, una colaboración entre Japón y Estados Unidos dedicada a los dispositivos optoelectrónicos (Kagawa K., et al 1999). Este desarrollo impulsa el área de optoelectrónica integrada, promoviendo la fabricación litográfica de elementos ópticos y electrónicos integrados (Don L. K., 1994).

DESARROLLO

OBJETIVO GENERAL:

Caracterizar mecánica y ópticamente las micro depresiones fabricadas en silicio, fabricadas en el laboratorio de microelectrónica del Instituto Nacional de Astrofísica Óptica y Electrónica (INAOE) para evaluar su viabilidad en sistemas de iluminación adaptativa.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

1. Analizar la forma de las micro depresiones de silicio mediante técnicas de Perfilometría e interferometría para determinar su impacto en la reflexión y transmisión de la luz.
2. Evaluar el comportamiento de los parámetros sagita y radio de curvatura de las micro depresiones de silicio.
3. Realizar una propuesta de uso para las micro depresiones fabricadas y caracterizadas.

METODOLOGIA

La metodología usada en este trabajo fue del tipo experimental, y describe el uso de instrumentos de medición (perfilómetro mecánico, esferómetro e interferómetro ópticos) para caracterizar superficies a través de ecuaciones y procedimientos específicos.

Así mismo, dentro de la metodología experimental, se puede clasificar como una investigación cuantitativa porque:

- Se basa en la medición de parámetros físicos y geométricos.
- Utiliza ecuaciones matemáticas para calcular valores específicos.
- Emplea instrumentos de alta precisión para obtener datos objetivos.

Si el estudio se enfoca en comparar distintos métodos o validar la precisión de los instrumentos, también podría incluir un enfoque comparativo o de validación experimental.

FASES DEL DESARROLLO

Para la caracterización de las micro depresiones grabadas en silicio cristalino, se emplearon tres técnicas de medición: Perfilometría mecánica, esferometría óptica e interferometría Twyman-Green. El perfilómetro mecánico permitió obtener un perfil topográfico de la superficie y medir directamente la sagita y el diámetro de cada micro depresión. Complementariamente, el esferómetro óptico se utilizó para determinar el radio de curvatura, mientras que el microscopio interferométrico Twyman-Green permitió realizar mediciones de alta precisión mediante el análisis de franjas de interferencia. Estas técnicas se combinaron para garantizar una caracterización detallada de las micro expresiones y validar la precisión del proceso de fabricación.

Perfilómetro mecánico.

El perfilómetro mecánico es un instrumento que permite medir el perfil topográfico de una superficie mediante contacto (Scientec Ibérica, 2022), Con el uso una punta muy fina de diamante la cual se utiliza para barrer la superficie; mientras se registra su movimiento vertical. El perfilómetro proporciona directamente una descripción visual del perfil de prueba, así mismo; nos permite medir la sagita y el diámetro (Malacara D. 1999), como se muestra en la fig.1. El proceso de medición se realiza barriendo el perfil de cada micro espejo, tan cercano a la base como sea posible y así obtenemos la sagita a través de la diferencia entre la base y el borde de la superficie. La ventaja que ofrece es que tiene puntas intercambiables según requerimientos, que van de $1.2 \mu\text{m}$ a los $12 \mu\text{m}$. Para una muestra, se determina el diámetro después de alinearla con la dirección del cristal y luego a lo largo de la diagonal para obtener la circularidad, esta se puede calcular para cada micro espejo con la ecuación 1.

$$P = \frac{D_1 - D_2}{D_2}$$

Ecuación 1. Formula para determinar la circularidad (Malacara D. 1999)

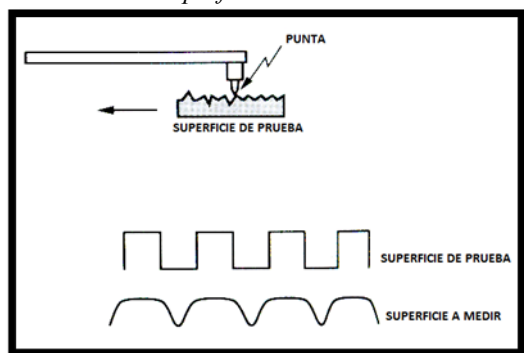
Dónde: D_1 y D_2 son los dos diámetros provenientes de dos medidas en la dirección del cristal y a lo largo de la diagonal, este parámetro aparece en general en porcentaje.

Esferómetro óptico

esferómetro óptico es un instrumento que nos permite medir con precisión radios de curvaturas en superficies esféricas cóncavas o convexas ((Malacara D. 1999). Este instrumento está formado de una fuente de luz, una rejilla o retícula que sirve como objeto, un divisor de haz, un ocular y un objetivo, este permite formar una imagen del objeto en el punto focal, también obtener la posición de la base y del centro de curvatura del espejo. La figura 2, muestra una esquematización del esferómetro en la medición de sagita, dos puntos son los importantes, uno es el vértice y el otro es la superficie plana en ambos debemos hacer coincidir la distancia focal del objetivo sobre la superficie, la diferencia será la sagita.

Figura 1

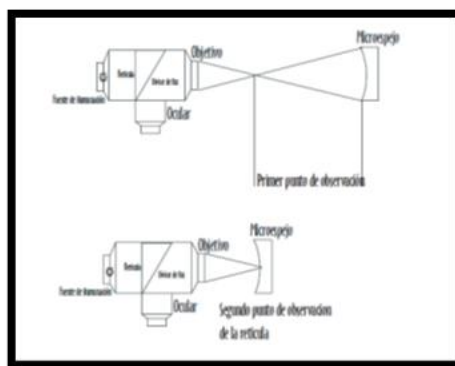
Funcionamiento del perfilómetro mecánico



Fuente: Elaboración Propia.

Figura 2

Esferómetro



Fuente: Elaboración Propia.

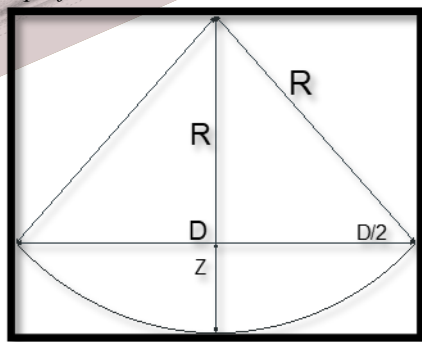
En la figura 3, se presenta una sección superficial de una esfera, con forma similar a la de nuestra de muestra, donde las líneas que unen la base y los extremos de la sección de superficie se unen en un punto el cual define el radio de curvatura de la sección, así como de mostrar las variables utilizadas. Para calcular el radio de curvatura, se usa la ecuación (2).

$$Z = R^2 \pm \sqrt{R^2 - D^2}$$

Ecuación 2. Fórmula para obtener Sagita. (Malacara D. 1999)

Donde $D/2$: es el radio de sección transversal, R : es el radio de curvatura y Z : es la Sagita

Figura 3
Sección superficial



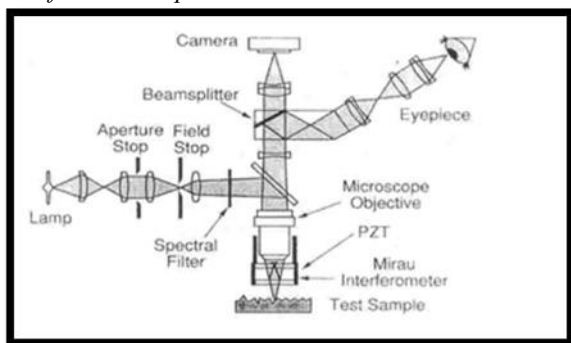
Fuente: Elaboración Propia.

interferómetro óptico

La interferometría es una de las técnicas de medición de precisión más utilizadas para caracterizar dispositivos ópticos (Malacara D. 1999). La precisión proporcionada por los interferómetros ha permitido innumerables descubrimientos y avances científicos, siendo además su uso muy común en aplicaciones industriales que incluyen espectroscopía infrarroja, telecomunicaciones y metrología. Este interferómetro óptico mostrado en la figura 4(a), nos ayuda a realizar una prueba interferométrica a la muestra, este instrumento, puede ser usado como un interferómetro o como un microscopio. Está formado como un interferómetro Twyman-Green; la iluminación incidente es dividida en dos brazos uno de referencia y uno de muestra por medio de un divisor de haz y es reflejado por dos espejos. Como se observa en la figura 4(b).

Figura 4(a)

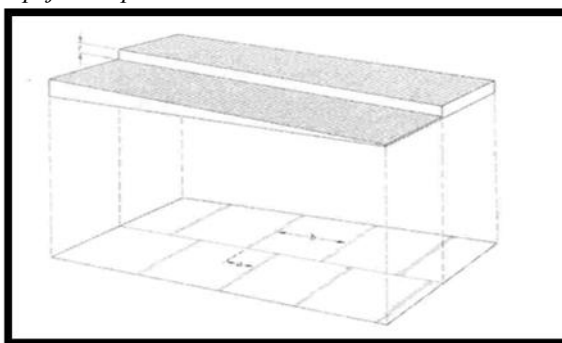
Interferómetro óptico



Fuente: Elaboración, (Malacara D. 1999)

Figura 4(b)

Espejos desplazados



Fuente: Elaboración Propia.

Para un interferómetro Twyman-Green común (Malacara D. 1999) , estos dos espejos pueden ser desplazados e inclinados para obtener interferencia entre dos haces, y deducir la forma de la muestra de las franjas observadas ver figura 4(c). Así también incluye objetivos de microscopio antes de los espejos, para focalizar el haz paralelo sobre la muestra. Por tanto, sólo la superficie del tamaño del punto focal es comparada con el plano de referencia para estudiar la micro depresión, este interferómetro es también un microscopio ya que funciona en nuestro caso como un interferómetro con dos brazos, donde se puede intercambiar las fuentes de luz, y ajustar la longitud de los brazos mediante tornillos. La ecuación (3) nos permite calcular la sagita (Malacara D. 1999).

$$t = N \frac{\lambda}{2}$$

Ecuación 3. Fórmula para obtener Sagita. (Malacara D. 1999)

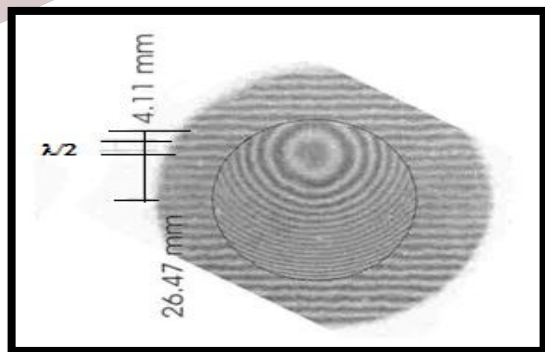
Donde N: número de franjas

λ : es la longitud de onda de la fuente de luz

t: es la Sagita

Figura 4(c)

Franjas Interferómetro óptico



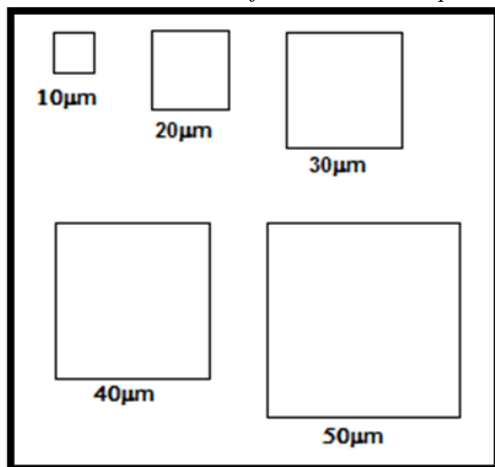
Fuente: Elaboración Propia.

Desarrollo experimental

Cuando hablamos de **d0**, nos referimos al diámetro inicial del cuadro en la mascarilla de fabricación, de las depresiones, como es mostrado en la figura 5. Con el perfilómetro, ver figura 6, obtenemos una medida mecánica e invasiva estándar en los laboratorios de microelectrónica. Con el uso del este instrumento, la lectura de la sagita es directamente desplegada en pantalla dada en micras y además se ilustra un gráfico de la forma de las superficies que forman las micro depresiones. El perfilómetro puede ser usado con dos escalas, una para las depresiones menores a 160 micras y otra para depresiones más profundas. La primera escala se usa para las superficies producidas por ventanas de inicio **d0**, 10 μm , 20 μm , de lado. La precisión de la punta del perfilómetro es 0.5nm, que es despreciable comparada con la incertidumbre del aparato ($\Delta s = 1.3\%$). Para los grabados con ventanas de inicio de 40 μm y 50 μm de tiene una precisión de 5 nm, y que se considera despreciable también, con respecto a la incertidumbre del instrumento.

Figura 5.

Mascarilla usada en la fabricación de depresiones.



Fuente: Elaboración Propia.

Figura 6.

Perfilómetro ALPHA STEP 200 8 (LM-INAOE).

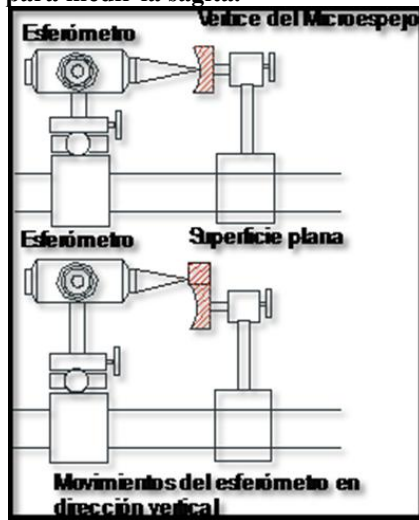


Fuente: Recuperada del laboratorio de Microelectrónica (INAOE)

El sistema del esferómetro-micro-depresión se encuentra ubicado como en la figura 7. Este sistema nos permite medir el radio de curvatura haciendo solamente la diferencia entre la distancia del primer punto de observación, y el segundo que corresponde al vértice. El primer punto de observación, que se ilustra en la figura 8, corresponde al radio de curvatura de la micro depresión, en este punto se tiene la característica de que los rayos que llegan a este son reflejados en la misma dirección de incidencia, por lo tanto, se observa en el ocular una imagen que corresponde a la retícula que sirvió de objeto. En el segundo paso se obtiene la misma imagen que en el primero primer punto, y esto se debe a que nos ubicamos en el vértice que corresponde a la distancia focal del objetivo. De la misma forma descrita anteriormente podemos determinar la sagita, aquí el segundo punto no es en el radio de curvatura como en la figura 2, si no como lo muestra la figura 7, dado que la medimos desde el inicio de la micro depresión hacia el vértice de éste. Las imágenes obtenidas en estos dos puntos se ilustran en la figura 8(A), esta es la imagen obtenida en el radio de curvatura de la micro depresión. Es más tenue debido a que la luz debe recorrer

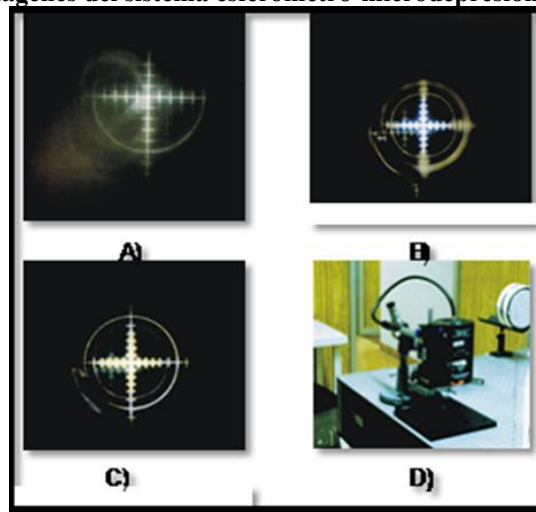
mayor distancia. En 8(B) la imagen es más intensa debido a que está coincide con el foco del objetivo. La figura 8(C) es una imagen enfocada en el contorno del espejo es la parte más tenue interior al círculo definido de la retícula. En 8(D) muestra el arreglo óptico.

Figura 7.
Sistema para medir la sagita.



Fuente: Elaboración Propia.

Figura 8.
Imágenes del sistema esferómetro-microdepresión.



Fuente: Elaboración Propia.

La ecuación 4 es obtenida de (Malacara D. 1999), y nos permite calcular la distancia focal.

$$f = \frac{D_f}{16S}$$

Ecuación 4. Fórmula para obtener la distancia focal

Donde:

D_f es el diámetro del microespejo

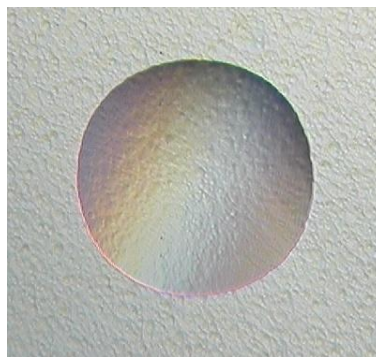
S es la sagita medida

El método interferométrico, nos permite encontrar indirectamente la sagita al medir el período de las franjas de interferencia que hay entre el brazo de referencia y la superficie a caracterizar. La sagita es calculada usando la fórmula 2 en donde se eligió para trabajar una lámpara de mercurio, de longitud de onda de $\lambda=546,078\text{nm}$. Se ajusta la parte óptica del microscopio de manera tal que ambos espejos el dé referencia y la muestra estén en el plano focal del objetivo. Esto es realizado para un espejo a la vez, mientras se deja que la iluminación pase sólo en uno de los brazos. En este proceso el diafragma de apertura es reducido, para visualizar el plano focal. Para nuestro experimento, se usa un objetivo 100x. el cual fue suficiente para las micro depresiones de ventana de inicio de 10, 20 y 30 micras.

RESULTADOS

Los micro espejos fueron fabricados por medio de litografía y procesos utilizados en la fabricación de circuitos integrados a manera de muestra en la figura 9 se presenta la imagen de una micro depresión, y serán cauterizados para obtener sus radios de curvatura y sagita.

Figura 9
Micro depresión para caracterizar



Fuente: Elaboración Propia.

A continuación, se muestra la caracterización de micro depresiones, como elementos ópticos, de una muestra medible de 24 micro depresiones. Estas son principalmente, para diámetros de inicio de 10 y 20 μm respectivamente, en los cuales se utilizó un método mecánico y los métodos ópticos del esferómetro e interferométrico como evaluación, para medir su diámetro, sagita, distancia focal y circularidad, en los cuales los parámetros medidos son repetibles. En la tabla 1, se muestran los resultados obtenidos en la caracterización óptica usando el Perfilómetro, se miden diámetro, distancia focal, sagita y circularidad para una ventana de 10 μm , mostrando el valor promedio y su desviación estándar para cada parámetro.

Tabla 1

Resultados obtenidos en la caracterización de las micro depresiones, usando el perfilómetro, para una ventana de 10 μm .

Muestra	Sagita (μm)	Diámetro (μm)	Distancia Focal (μm)	Error de Circularidad (%)
1	4.392	305	1324	1.61
2	4.403	305	1320	1.61
3	4.215	305	1379	1.61
4	4.328	295	1257	1.67
5	4.472	305	1300	1.61
6	4.380	305	1327	1.61
7	4.487	305	1296	1.61
8	4.553	310	1319	1.67
9	4.144	295	1313	1.67
10	4.145	295	1312	1.67
Promedio	4.347	302.5	1314.7	1.637
Desv.Est.	0.150	5.400	30.412	0.5184

Fuente: Elaboración Propia.

En la tabla 2, se muestran los resultados obtenidos en la caracterización óptica usando el Perfilómetro, donde se miden los mismos parámetros; diámetro, distancia focal, sagita y circularidad; para una ventana de 20 μm , mostrando el valor promedio y su desviación estándar para cada parámetro.

Tabla 2

Resultados obtenidos en la caracterización óptica con el Perfilómetro, para ventana de 20 μm .

Muestra	Sagita (μm)	Diámetro (μm)	Distancia Focal (μm)	Error de Circularidad (%)
1	8.762	415	1228	3.49
2	8.752	415	1230	2.35
3	8.941	415	1204	3.49
4	9.209	415	1169	4.60
5	9.182	420	1201	4.55
6	8.965	420	1230	3.45
7	8.993	415	1197	3.49
8	9.137	415	1178	3.49
9	8.721	410	1205	4.65
10	8.971	420	1229	3.45
11	8.660	405	1184	3.57
12	9.134	420	1207	2.33
13	8.809	415	1222	3.49
Promedio	8.941	415.384	1206.461	3.569
Desv.Est.	0.187	4.311	20.750	0.7231

Fuente: Elaboración Propia.

En la tabla 3, presentamos los resultados de caracterización obtenidos usando el microscopio interferométrico, como se puede observar los resultados son consistentes comparados con el uso del Perfilómetro. El valor promedio obtenido para la sagita usando la ventana de la sagita con la ventana 10(μm) es de 4.34 μm y 4.39 μm . Mientras que para la ventana de 20(μm) es de 8.941 μm y 8.912 μm respectivamente.

Tabla 3

Resultados obtenidos en la caracterización óptica con el microscopio interferómetro.

Muestra	Sagita-10 (μm)	Sagita-20 (μm)
1	4.44	8.60
2	4.44	8.74
3	4.30	9.30
4	4.44	9.02
5	4.72	9.16
6	4.58	8.88
7	4.16	9.02
8	4.44	8.88
9	4.44	8.74
10	4.30	8.60
11	4.16	8.88
12	4.02	9.16
13	4.44	8.88
Promedio	4.39	8.912
Desv.Est.	0.187	0.215

Fuente: Elaboración Propia.

La tabla 4, muestra los resultados obtenidos en la caracterización de las micro depresiones, usando el esferómetro, se miden la sagita; para una ventana de 10 μm .

Tabla 4

Resultados obtenidos en la caracterización óptica, de las micro depresiones, usando el esferómetro óptico.

Muestra	Sagita-10 (μm)
1	2.72
2	2.72
3	2.68
4	2.70
5	2.73
6	2.71
7	2.70
8	2.71
9	2.69
10	2.71
Promedio	2.707
Desv.Est.	0.014

Fuente: Elaboración Propia.

En la tabla 5, se muestra el resumen de la caracterización de las micro depresiones, de una muestra medible de 24 micro depresiones. Estas son principalmente, para diámetros de inicio de 10 y 20 μm respectivamente. Se observa que la desviación de la medida experimental respecto de la teórica crece conforme los diámetros de inicio se hacen más pequeños, lo cual se esperaba, ya que el método de medición de la distancia focal por medio del esferómetro se encuentra limitado por la precisión que nos proporciona la base de desplazamiento, que nos permite mover la micro depresión, y que es de 1 μm , sin embargo conforme el diámetro de inicio se hace más grande, la desviación disminuye esto ocurre porque al realizar las mediciones de la sagita va disminuyendo conforme esta va aumentando.

Tabla 5

Resultados obtenidos en la caracterización óptica, de las micro depresiones.

Sagita μm	Diámetro μm	Distancia focal 1 μm (Teórica)	Distancia focal 2 μm (Teórica)	Distancia Focal μm (Medida)	Desviación Estándar.
4.347	302.5	1301.2	1300.1	1314.7	5.40%
8.971	415.3	1231.2	1228.96	1206.4	4.30%

Fuente: Elaboración Propia.

CONCLUSIONES

Se llevo a cabo la medición del radio de curvatura de micro depresiones de forma teórica y práctica, las desviaciones encontradas son de 6.3 y 4.2% para las micro depresiones de 10 y 20mm de diámetro de inicio respectivamente, esta desviación se encuentra dentro de los límites considerando ya que la alineación es crítica en un sistema de estas dimensiones. Se encuentran diferencias entre las medidas de cada método, se concluye que el microscopio es mejor método para determinar el diámetro de las micro depresiones, y esto es porque el perfilómetro se encuentra limitado por el diámetro de su punta de 1.2mm, sin embargo, se comprobó su buen funcionamiento, pues las mediciones son repetibles. La desviación estándar del diámetro para una muestra es de 1.3% y para su distancia focal es de 2.6%.

Se determinó la sagita por medio del método interferométrico supero al esferómetro, ya que éste último se encuentra limitado por la precisión que nos proporciona la base de desplazamiento, que es de 1mm esto comparado con la sagita más pequeña que corresponde a la micro depresión de 10mm de diámetro de inicio es de alrededor del 25% de la medida que deseamos hacer lo cual se refleja en los resultados. Una propuesta de corrección para el grabado es darle un mayor tiempo, aunque eso genere un aumento en el diámetro final de las micro depresiones generar también mascarar circulares para alinear o hacer mascarar rectangulares para compensar la desalineación y la poca circularidad.

Propuesta de arreglo para iluminación automotriz basado en micro depresiones de silicio

A continuación, se presenta una propuesta de aplicación para las micro depresiones de silicio caracterizadas anteriormente, aplicada a sistemas de iluminación automotriz en particular en el diseño de faros. Utilizando un arreglo de micro depresiones es posible diseñar un sistema de iluminación que optimice la distribución de luz, mejore la seguridad vial y aumente la eficiencia energética.

1. Componentes del Sistema, se propone tener los siguientes componentes:

- Micro depresiones de Silicio: Con un diámetro de 302 micrómetros y una distancia focal de 1314 micrómetros.
- Fuente de Luz: Un láser de alta intensidad que puede ser modulado para diferentes patrones de iluminación.
- Lentes y Ópticas: Lentes colimadoras, expansoras de haz y de enfoque para manipular y dirigir la luz.

2. Arreglo Óptico: Modulación de la Fuente de Luz: Se propone utilizar una fuente de luz azul con una longitud de onda de 450 nm, un diámetro de haz apropiado. Este haz de luz será modulado espacialmente utilizando el arreglo de micro espejos, estos reflejarán el haz láser modulado hacia una lente expansora de haz con una distancia focal adecuada por ejemplo usando una lente cilíndrica planoconvexa.

3. Conversión de Color: El haz expandido, incidirá sobre una placa de fósforo para convertir la luz azul en luz blanca, la cual será proyectada hacia adelante.

4. Proyección del Patrón de Luz: Finalmente, la luz blanca será enfocada y proyectada sobre la carretera mediante una lente de enfoque la cual podría ser una lente planoconvexa.

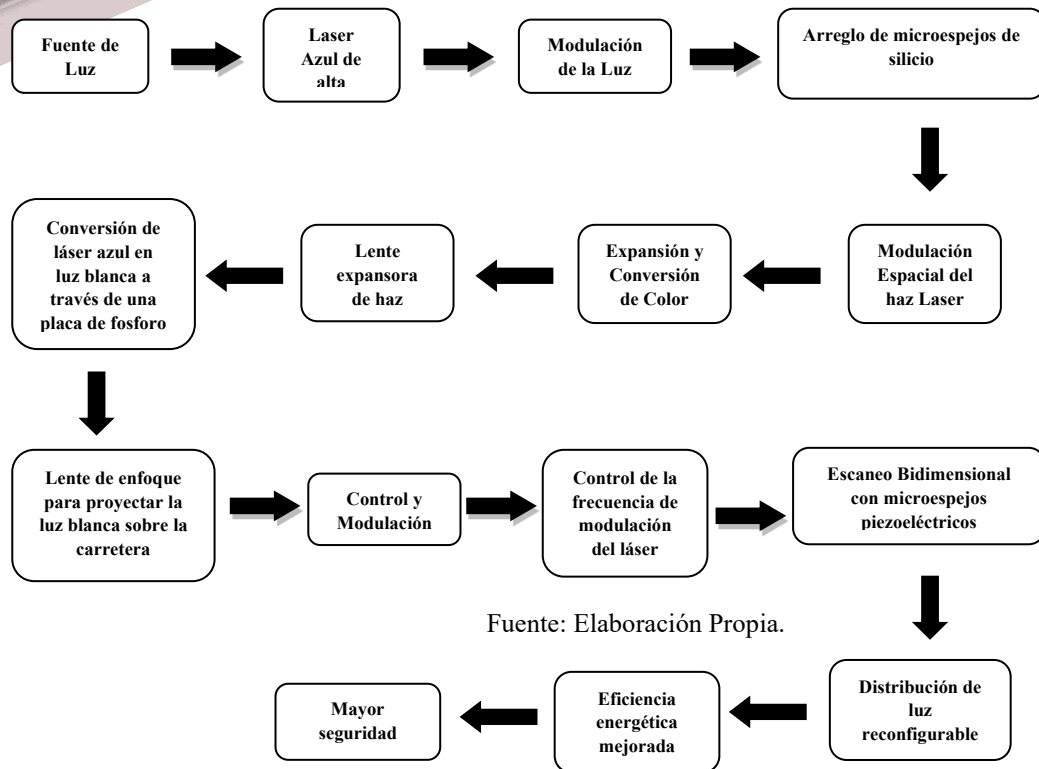
5.- Control de Modulación del Luz: La frecuencia de modulación de la fuente de luz será ajustada para sincronizarse con la frecuencia de escaneo de las micro depresiones. Esto permitirá obtener diferentes densidades de patrones de luz, dependiendo de las necesidades del entorno de conducción.

La propuesta es mostrada en la figura 10, esta propuesta tendría los siguientes beneficios:

Distribución de Luz reconfigurable: el sistema permite ajustar la distribución de luz en tiempo real, mejorando la visibilidad y reduciendo el deslumbramiento, la eficiencia energética: con el uso de fuentes de luz láser y micro depresiones de alta eficiencia se puede reducir el consumo de energía y seguridad vial mejorada: La capacidad de proyectar patrones de luz específicos puede resaltar obstáculos y mejorar la comunicación con otros usuarios de la carretera.

Figura 10

Propuesta de diseño de aplicación de las micro depresiones de silicio.



Fuente: Elaboración Propia.

REFERENCIAS

- Don L. K., et al 1994. Micromirrors array using KOH: H₂O, Optical Engineering, vol 33, #11.
- Esferómetro HOFBAUER. (s/f). Instituto de Astrofísica de Canarias • IAC. Recuperado el 9 de mayo de 2024, de <https://www.iac.es/es/ciencia-y-tecnologia/tecnologia/medios-tecnicos/esferometro-hofbauer>
- García G., 2024. Los coches eléctricos de Audi estrenan faros matriciales con proyección de imágenes. Recuperado el 9 de mayo de 2024. <https://advancedfleetmanagementconsulting.com/blog/2020/10/15/coches-electricos-de-audi/>
- Kagawa K., et al. 1999., Discrete correlation processor as a building core of a digital optical computing system: architecture and optoelectronic embodiment, Applied Optics, vol 38, #35, December
- Kufner S., Kufner M., 1997 Micro-optics and lithography, VUBPRESS Brussels 854-58.
- Malacara D., 1992., Optical Shop Testing, Wiley Interscience.
- Molar. V. G., 2009. Diseño y Caracterización de un microescáner Bidimensional. INAOE, Tesis Doctoral.
- Perfilometría mecánica. (2020, julio 22). Scientec Ibérica; Scientec. <https://www.scientec.es/es/analisis-de-superficie/profilometria-mecanica/>
- Rubico Jay, T., 1994. Dry etching for coherent refractive microlens arrays. Optical engineering (Redondo Beach, Calif.), 33(11), 3547. <https://doi.org/10.1117/12.179880>
- Zou, J. et al. 1999. Optical properties of surface micromachined mirrors with etch holes. Journal of microelectromechanical systems: a joint IEEE and ASME publication on microstructures, microactuators, microsensors, and microsystems, 8(4), 506–513. <https://doi.org/10.1109/84.809066>

Análisis de bloques de concreto con caucho triturado y concreto reciclado como materiales alternativos en la construcción

DOI: 10.60968/iaet.3594-035X.864

Armando Gómez Trinidad¹, José Alfonso Martínez Muñoz², José Antonio Cortés Benítez³ Arturo Arellano Hernández⁴

^{1,2,3 y 4} Universidad Politécnica de Francisco I. Madero, Carretera Tepatepec-San Juan Tepa km. 2, 42660, Francisco I. Madero, Hidalgo, México. [Tel:+52 \(738\) 724 1174](tel:+52(738)7241174). *Correo: argomez@upfim.edu.mx

Línea de investigación: Caracterización física y mecánica de materiales utilizados actualmente para la construcción y de materiales alternativos ecológicos.

Resumen

Con el crecimiento poblacional en México y la expansión de la infraestructura, el concreto, principal material de construcción, genera grandes cantidades de residuos que contribuyen a la contaminación y al agotamiento de recursos. Este estudio investigó el uso de concreto reciclado y caucho triturado, derivados de residuos de construcción y neumáticos, en la fabricación de bloques. Se evaluaron diferentes proporciones de concreto reciclado (15%, 25% y 50%) y caucho (5%, 15% y 25%), encontrando que el concreto reciclado puede ser una alternativa viable, siempre que se utilicen proporciones adecuadas, mientras que el caucho mostró un rendimiento aceptable en pequeñas cantidades (5%). Estos resultados sugieren que el reciclaje de materiales en la construcción es una opción sostenible que podría contribuir a la economía circular, reduciendo el impacto ambiental del sector y destacando la necesidad de políticas públicas que fomenten su implementación.

Palabras clave: Bloques de concreto, caucho reciclado, concreto reciclado, resistencia a compresión, sostenibilidad

Abstract

With population growth in Mexico and the expansion of infrastructure, concrete, the main construction material, generates large amounts of waste that contributes to pollution and resource depletion. This study investigated the use of recycled concrete and crumb rubber, derived from construction waste and tires, in block manufacturing. Different proportions of recycled concrete (15 %, 25% and 50%) and rubber (5%, 15% and 25%) were evaluated, finding that recycled concrete can be a viable alternative, as long as adequate proportions are used, while the rubber showed acceptable performance in small quantities (5%). These results suggest that recycling materials in construction is a sustainable option that could contribute to the circular economy, reducing the environmental impact of the sector and highlighting the need for public policies that encourage its implementation.

INTRODUCCIÓN

El concreto es el material de construcción más utilizado a nivel mundial, debido a sus propiedades como resistencia, durabilidad y trabajabilidad. Sin embargo, su producción depende de materias primas no renovables, cuya extracción, principalmente por minería a cielo abierto, genera un importante impacto ambiental (Bedoya & Dzúl, 2015). En 2020, la industria de la construcción fue responsable del 37% de las emisiones globales de gases de efecto invernadero, de las cuales el 10% provino de la producción de materiales (Aguirre et al., 2024). Ante este panorama, es urgente que el sector adopte prácticas más sostenibles, como el uso de concreto reciclado, una alternativa que ya ha sido impulsada en varios países europeos alineados con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (Aguilar et al., 2021). El reciclaje de residuos de construcción y demolición (RCD) es fundamental para mitigar problemas ambientales como la contaminación del suelo y de acuíferos. Para abordar esta problemática se proponen la reutilización de concreto reciclado (Chica & Beltrán, 2018), que permite sustituir los agregados naturales al procesar y triturar concreto demolido, lo cual ayuda a conservar los recursos pétreos, cada vez más escasos (Elías et al., 2020). Además, otro material reciclado con gran potencial es el caucho triturado, derivado de neumáticos desechados, que al ser incorporado en bloques de concreto mejora ciertas propiedades como la absorción de impactos y la capacidad de aislamiento térmico y acústico (Ahmad et al., 2022). Sin embargo, el uso de caucho también plantea retos, como la disminución de la resistencia a la compresión, lo que exige un balance adecuado en su proporción para no comprometer la integridad estructural del material. Este artículo tiene como objetivo explorar el potencial de estos materiales reciclados en la construcción, evaluando sus beneficios ambientales y las implicaciones técnicas para lograr una construcción más sostenible sin sacrificar la calidad y durabilidad de los productos finales.

OBJETIVO GENERAL

Evaluar el impacto de diferentes proporciones de concreto reciclado y la incorporación de caucho triturado en las propiedades físicas y mecánicas de los bloques de construcción, con el fin de proponer una alternativa sostenible y viable para la industria de la construcción y a la vez determinar que las piezas cumplen con las normas oficiales (NMX-C-404-ONNCCE-2012 y NTCM-2020)

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- **Evaluar el impacto de las diferentes proporciones de concreto reciclado** (porcentaje de agregado reciclado frente al natural) en la calidad, resistencia y desempeño de los bloques de construcción.
- **Comparar las ventajas y desventajas del uso de concreto reciclado** en bloques de construcción frente a los bloques tradicionales, analizando aspectos como costos, sostenibilidad, impacto ambiental y eficiencia en la construcción.
- **Analizar la viabilidad estructural de los bloques con caucho triturado** mediante pruebas de resistencia a compresión y flexión, comparándolos con los estándares establecidos en la normativa vigente.
- **Evaluar el impacto de la incorporación de caucho triturado en las propiedades físicas de los bloques**, como la absorción de agua, densidad y durabilidad, para determinar su viabilidad y rendimiento en condiciones diversas.

OBJETO DE ESTUDIO

El objeto de estudio se centra en el comportamiento y las propiedades de los bloques de concreto, fabricados mediante el uso de materiales reciclados, específicamente concreto reciclado y caucho triturado derivado de neumáticos reciclados. Se analiza cómo diferentes proporciones de estos materiales en la mezcla afectan las propiedades físicas y mecánicas de los bloques, tales como resistencia a la compresión, resistencia a la flexión y absorción de agua. En particular, se estudia el desempeño del concreto reciclado, comparando su rendimiento frente a los materiales convencionales, y cómo las variaciones en las proporciones de agregado reciclado (en comparación con el agregado natural) impactan en las características de los bloques. Además, se examina la incorporación del caucho triturado como sustituto parcial del agregado fino, evaluando su influencia en las propiedades fundamentales de los bloques y buscando el balance óptimo entre sostenibilidad y desempeño estructural. Este estudio tiene como objetivo explorar el potencial de estos materiales reciclados para reducir el impacto ambiental de la industria de la construcción, cumpliendo al mismo tiempo con los estándares de calidad requeridos para su aplicación.

METODOLOGÍA

Para realizar el estudio descrito, se seguirá una metodología estructurada que abarca todas las etapas del proceso, desde la preparación de los materiales hasta la evaluación de las propiedades de los bloques fabricados. A continuación, se detalla cada una de estas etapas.

1. Selección y Preparación de Materiales

- Definición de materias primas
- Caracterización del concreto reciclado y caucho triturado
- Dosificación de mezclas

2. Fabricación de Bloques

- Elaboración de la mezcla
- Moldeo de bloques
- Curado de bloques

3. Ensayos físicos y mecánicos

- Absorción inicial
- Absorción total

- Resistencia a compresión
- Módulo de ruptura
- 4. Análisis de Resultados
 - Comparación de propiedades
 - Identificación de tendencias
- 5. Conclusiones y Recomendaciones
 - Impacto del concreto reciclado

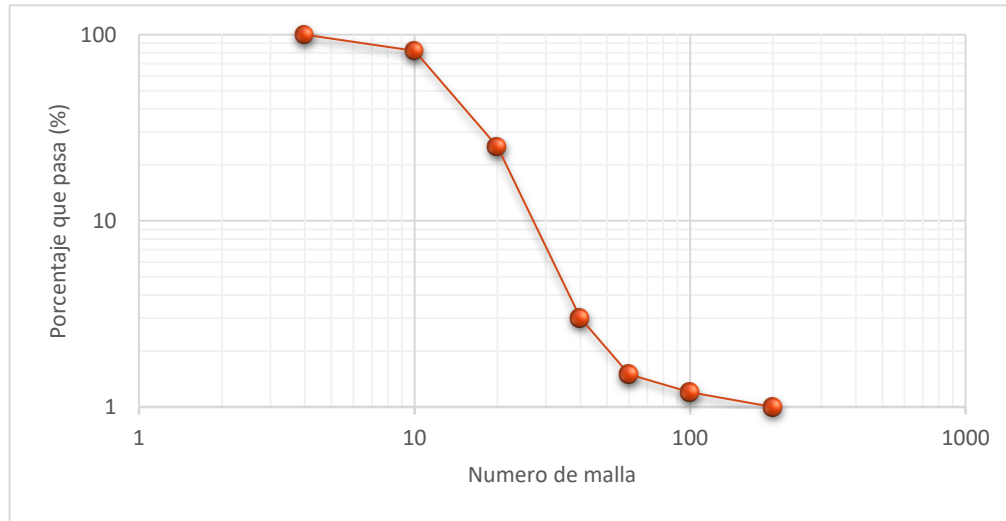
FASES DEL DESARROLLO:

Primera etapa: Selección y preparación de materiales

En esta fase del estudio se llevó a cabo la trituración y selección del concreto reciclado, así como la granulometría del caucho triturado el cual fue analizado mediante un proceso de tamizado. La figura 1 muestra el resultado del análisis granulométrico. Todo el material pasó a través de la malla No. 4 (4.75 mm), por lo que este se considera como fino. Y en la figura 2 se aprecia la clasificación del concreto reciclado.

Figura 1

Curva Granulométrica del Caucho Triturado



Fuente: Elaboración Propia

Figura 2

Clasificación de concreto reciclado mediante el uso de la malla # $\frac{3}{4}$



a) Concreto reciclado triturado

b) Cribado de concreto reciclado triturado



c) Agregado fino a partir de concreto reciclado



d) agregado grueso a partir de concreto reciclado

Segunda etapa: Fabricación de bloques

En esta fase del estudio, se elaboraron bloques macizos de 14 x 20 x 40 cm utilizando materiales típicos del Valle del Mezquital, como piedra pómez, agua, cemento Portland y caucho triturado derivado de neumáticos reciclados con partículas entre 4.76 mm y 0.074 mm. Se fabricaron tres tipos de bloques con caucho triturado, incluyendo proporciones del 5 %, 15 % y 25 %, seleccionadas para evaluar el impacto de estas variaciones en las propiedades mecánicas y físicas de los bloques, basándose en estudios previos que sugieren que un contenido óptimo de caucho para mejorar la resistencia a compresión oscila entre el 5 % y el 10 %. Paralelamente, se fabricaron otros tres tipos de bloques con concreto reciclado, utilizando proporciones del 15 %, 25 % y 50 %, con el objetivo de analizar su influencia en las características estructurales del material.

En la figura 3 se ilustra el proceso de adición de concreto reciclado en la elaboración de las piezas con la nueva mezcla. Estas piezas se utilizaron posteriormente para comparar las características físicas y mecánicas entre la mezcla tradicional y la formulación innovadora.

Los materiales secos se mezclaron en una máquina bloquera, como la que se observa en la figura 4, añadiendo agua en proporciones controladas con base en la experiencia del fabricante para formar los bloques. Se emplearon diversos equipos e instrumentos, como moldes para bloques, prensa hidráulica, horno y azufre para cabecear, asegurando precisión y calidad en los resultados

Figura 3

Elaboración de Mezcla con Adición de Concreto Reciclado



Fuente: Elaboración propia

Figura 4
Moldeado en Maquina Bloquera



Fuente: Elaboración Propia

Las muestras fueron almacenadas en el laboratorio de prácticas pesadas de la Universidad Politécnica de Francisco I. Madero, con la finalidad principal de asegurar su fraguado y así poder realizar las pruebas a las que serían sometidos los especímenes posteriormente. Se fabricaron 8 piezas por cada proporción analizada, de estas, aleatoriamente se eligieron 3 piezas, haciendo un total de 18 las cuales fueron sometidas a pruebas de absorción inicial, absorción final, resistencia a la compresión y módulo de rotura en condiciones de laboratorio, garantizando la uniformidad de los resultados y contribuyendo al conocimiento del uso de concreto reciclado en la construcción

Tercera etapa: Ensayos físicos y mecánicos

Resistencia a compresión de los especímenes

El ensayo de resistencia a compresión es un método utilizado para determinar la resistencia máxima que puede soportar un material antes de fallar bajo una carga de aplastamiento. Para llevar a cabo este ensayo, las dos caras horizontales del block que serán sometidas a la compresión se cubren con una capa de azufre como se puede apreciar en la figura 4. Esto se hace para asegurarse de que ambas superficies sean completamente planas y estén niveladas, garantizando un contacto uniforme con las placas de la máquina de ensayo (Soto & Sánchez, 2024).

Figura 5
Ensayos a Compresión de Bloques de Concreto



a) Prensa universal Matech



b) Bloque ensayado

La ecuación utilizada para determinar la resistencia a compresión de los ensayos correspondientes se presenta en la ecuación 1. Por otro lado, en las figuras 5 y 6 se muestran los datos graficados obtenidos a partir de dichos ensayos.

$$f_p = \frac{P_u}{A} \quad (1)$$

Donde:

f_p = Resistencia a la compresión en kg/cm²

P_u = Carga máxima en kg

A = Área de la sección transversal del bloque en la que se aplica la carga en cm²

Absorción inicial:

La prueba de absorción inicial mide la cantidad de agua que un bloque puede absorber en un tiempo determinado. Se limpia cada ladrillo con una brocha para eliminar cualquier impureza superficial, luego, se colocan en un horno durante 24 horas para asegurar que estén completamente secos. Después del horneado, los ladrillos se dejan enfriar durante mínimo 4 horas, y una vez enfriados, se colocan en charolas de acero sobre dos barras metálicas.

A continuación, el contenedor se llena con agua hasta alcanzar un nivel de 5 milímetros por encima de las barras metálicas, como se muestra en la figura 7. El ladrillo se coloca sobre las barras dentro del agua, de manera que quede suspendido. Se deja sumergido durante 10 minutos, manteniendo el nivel de agua constante, si es necesario, se añade agua para mantener la altura 5 milímetros por encima de las barras. Transcurridos los 10 minutos, se retira el ladrillo del agua y se seca rápidamente la superficie que estuvo en contacto con el agua utilizando una toalla húmeda. Este proceso debe realizarse en menos de 10 segundos. Finalmente, se pesa el ladrillo para determinar la cantidad de agua que ha absorbido, comparando su peso al final de la prueba con el peso inicial (Soto & Sánchez, 2024).

Figura 6

Proceso para Determinar la Absorción Inicial en Bloques de Concreto



a) Bloque con agua hasta los 5 mm.

b) Adición de agua para mantener el nivel

La ecuación presentada en (2) permite calcular la absorción inicial de los bloques analizados. Los resultados obtenidos mediante su aplicación se ilustran de manera gráfica en las figuras 8 y 9.

$$Cb = \frac{100M}{S\sqrt{t}} = \frac{100(M_1 - M_s)}{S\sqrt{10}} \quad (2)$$

Donde:

C_b = Es la absorción máxima inicial en g/min

M_s = Masa seca en g.

M_1 = Masa húmeda en g.

S = Superficie de la cara sumergida en cm²

t = Tiempo de inmersión (t=10 minutos)

Absorción total:

La capacidad de absorción total de un bloque se define como el porcentaje que representa la diferencia de peso entre el bloque saturado y el bloque seco. Para medir esta capacidad, se realiza el siguiente procedimiento: primero, los ladrillos se limpian con una brocha y se colocan en un horno durante 24 horas. Luego, se dejan enfriar durante 4 horas. Una vez enfriados, los ladrillos se sumergen en una pila de agua durante 24 horas, como se observa en la figura 10 y finalmente, se seca la superficie de cada ladrillo con una toalla húmeda y se pesan en una balanza digital para obtener el peso saturado con superficie seca.

Figura 7

Proceso para Determinar la Absorción Final en Bloques de Concreto



a) Bloques sumergidos en agua

b) Bloque recién sacado de la pileta

La ecuación utilizada para calcular la absorción total se encuentra en (3). Además, los datos obtenidos en esta prueba se representan gráficamente en las figuras 11 y 12.

$$A = \frac{M_{sss} - M_s}{M_s} \times 100 \quad (3)$$

Donde:

A = Es la absorción en %

M_s = Es la masa seca del espécimen en kg

M_{sss} = Es la masa saturada y superficialmente seca en kg

Módulo de rotura:

La prueba de flexión o módulo de rotura en bloques de concreto es un ensayo diseñado para evaluar la resistencia y las propiedades mecánicas de un bloque cuando se somete a una carga que genera flexión (doblamiento). Durante este ensayo, el bloque se coloca sobre dos apoyos y se aplica una carga en su centro o en un punto específico para inducir la deformación por flexión, lo cual se observa en la figura 13.

Figura 8

Ensayos a Flexión de Bloques de Concreto



a) Acomodo de apoyos y barra central

b) Bloque ensayado

La ecuación utilizada para determinar el módulo de rotura se detalla en (4), así como los resultados obtenidos mediante la aplicación de la ecuación correspondiente para calcular la resistencia a flexión en los bloques analizados se presentan de forma gráfica en las figuras 14 y 15.

$$f_t = \frac{3Pu}{bh^2} \left(\frac{L}{2} - x \right) \quad (4)$$

- Donde:
- f_t = Resistencia a la flexion o Módulo de ruptura en kn/cm^2
 - P = Carga máxima aplicada en el centro del bloque durante el ensayo en kn
 - L = Longitud entre los apoyos en cm
 - b = Ancho del bloque en cm
 - h = Altura del bloque en cm

Figura 9
Ensayos a Compresión en Bloques de Construcción Con Adición de Concreto Reciclado

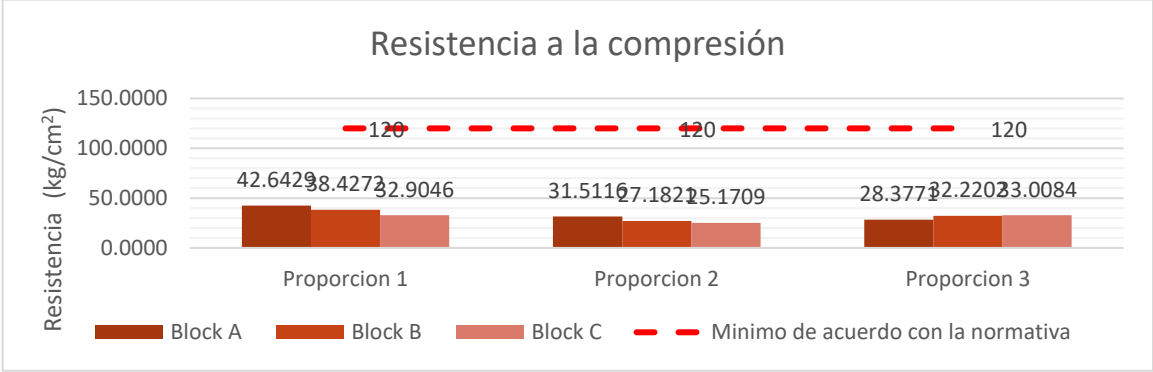


Figura 10
Ensayos a Compresión en Bloques de Construcción Con Adición de Caucho Triturado

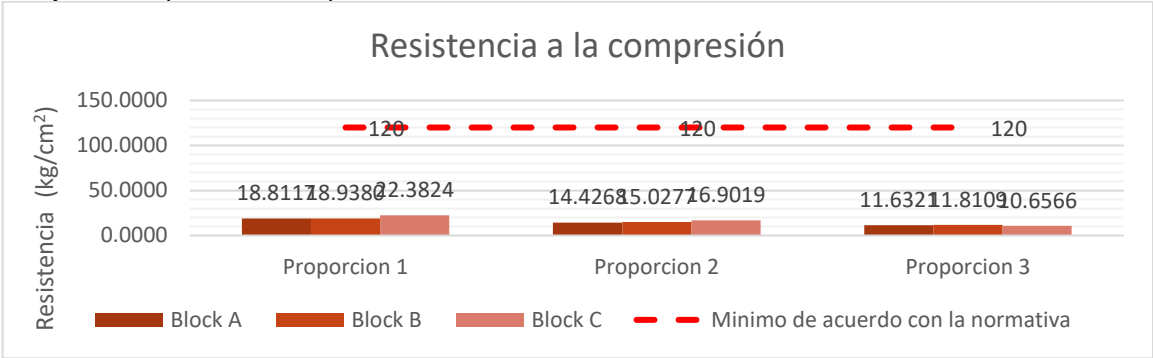


Figura 11
Absorción Inicial en Bloques de Construcción Con Adición de Concreto Reciclado

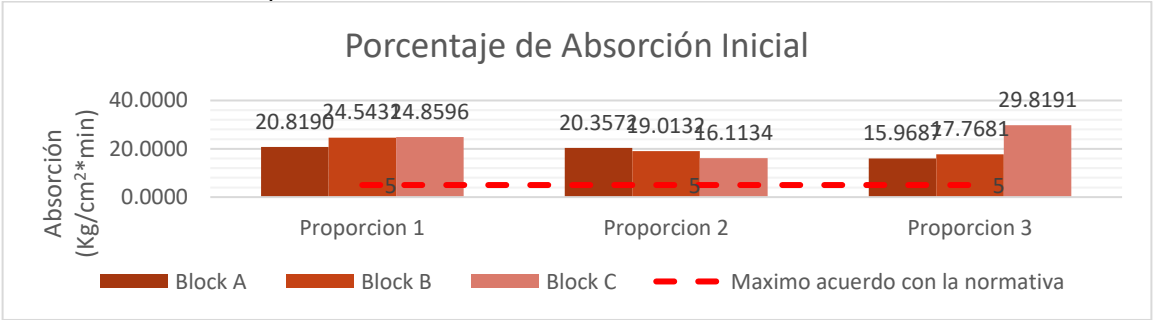


Figura 12
Absorción Inicial en Bloques de Construcción Con Adición de Caucho triturado

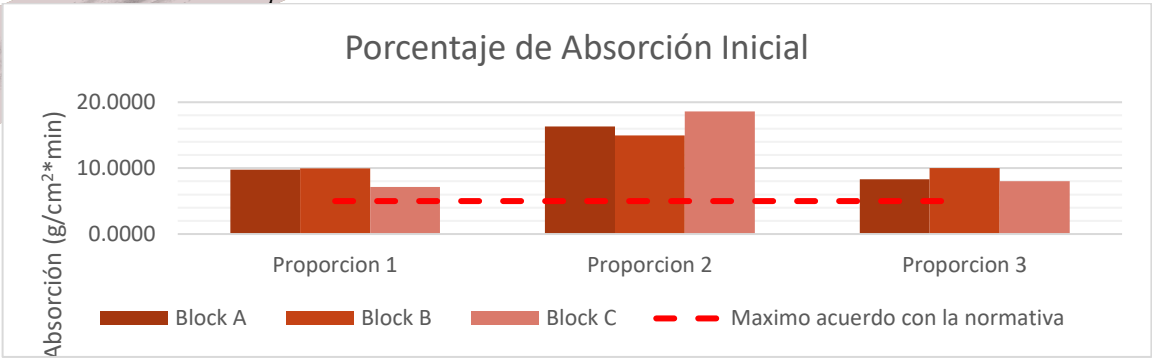


Figura 13
Absorción Total en Bloques de Construcción Con Adición de Concreto Reciclado

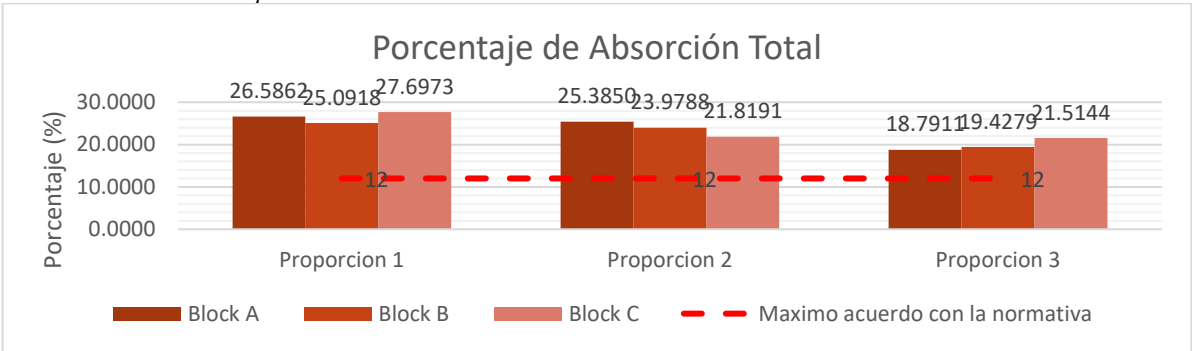


Figura 14
Absorción Total en Bloques de Construcción Con Adición de Caucho Triturado

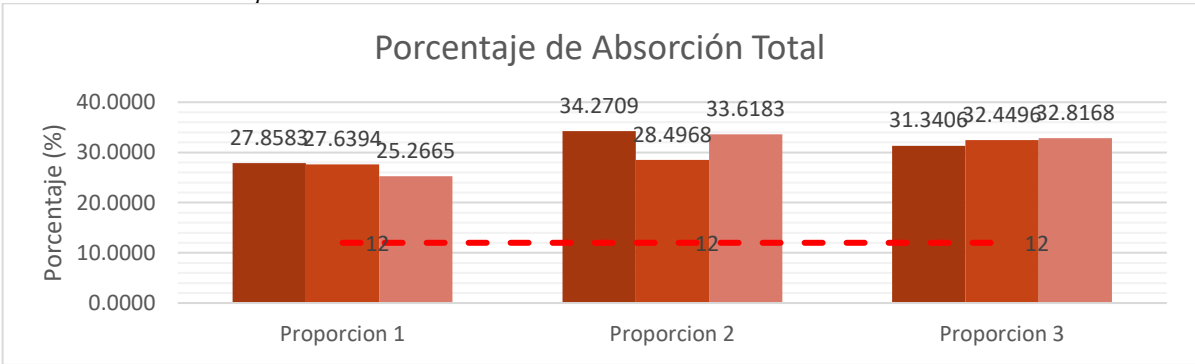


Figura 15
Resultados a Flexión en Bloques de Construcción Con Adición de Concreto Reciclado

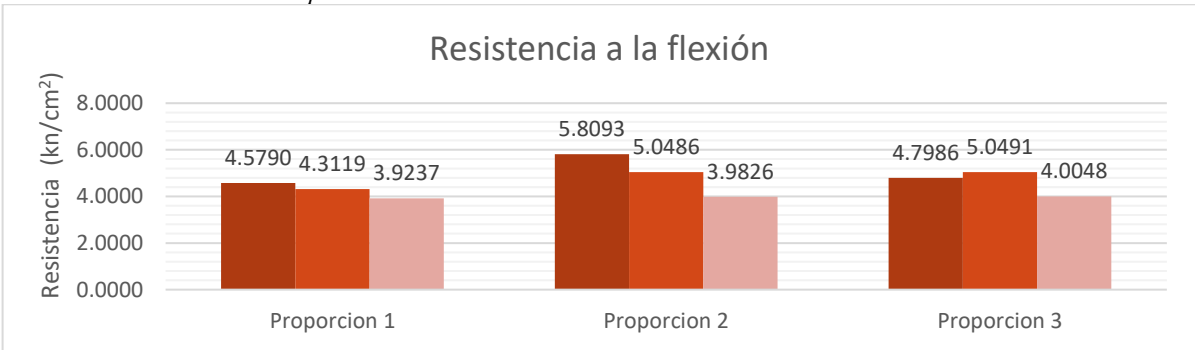
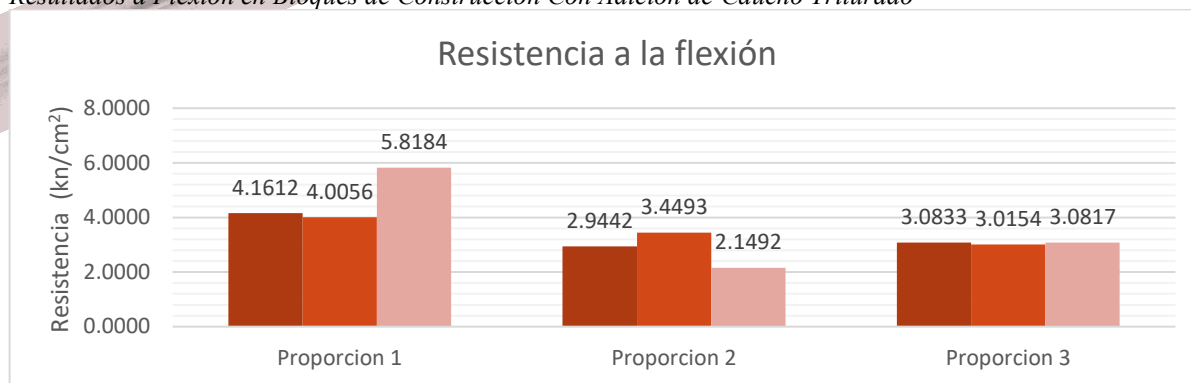


Figura 16

Resultados a Flexión en Bloques de Construcción Con Adición de Caucho Triturado



RESULTADOS

Los resultados de las pruebas realizadas sobre bloques de concreto reciclado y caucho triturado indican que, aunque ambos materiales tienen potencial para aplicaciones en la construcción no estructural, solo el concreto reciclado cumple con las normativas vigentes en México (NMX-C-404-ONNCCE-2020 y NMX-C-037-ONNCCE) cuando se utiliza en las proporciones adecuadas. Los bloques con concreto reciclado, especialmente en proporciones de hasta un 25%, presentan un desempeño mecánico aceptable y son una solución viable para reducir residuos y promover la economía circular. En contraste, los bloques con caucho triturado, aunque contribuyen a la reducción de desechos de neumáticos, no cumplen con los requisitos de resistencia para aplicaciones no estructurales debido a la calidad del agregado utilizado. A pesar de esta limitación, se sugiere seguir investigando el uso del caucho triturado en la construcción, optimizando los materiales y explorando su viabilidad en aplicaciones como pavimentos o particiones, con el objetivo de equilibrar la sostenibilidad con el desempeño adecuado.

CONCLUSIONES

El presente estudio confirma que la utilización de materiales reciclados, específicamente **concreto reciclado y caucho triturado**, representa una alternativa sostenible y técnicamente viable en la fabricación de bloques de concreto para aplicaciones no estructurales. La incorporación de concreto reciclado en proporciones de hasta el 25% permite mantener **niveles adecuados de resistencia a compresión** y propiedades físicas compatibles con las normas mexicanas. Esto, además de disminuir el uso de agregados naturales, contribuye al aprovechamiento de residuos de demolición, promoviendo prácticas de construcción más responsables.

Por su parte, el uso de caucho triturado mostró resultados aceptables únicamente en proporciones del 5%, donde se preservaron ciertas propiedades mecánicas y se observaron beneficios en cuanto a absorción de impactos y aislamiento. Sin embargo, al incrementar su porcentaje, la resistencia disminuyó considerablemente, lo que limita su aplicación estructural. En términos generales, se concluye que el **concreto reciclado puede ser utilizado eficazmente hasta un 25%**, y el **caucho triturado hasta un 5%**, en la fabricación de bloques de concreto no estructurales, representando una alternativa viable tanto en términos técnicos como ambientales.

RECOMENDACIONES

Se recomienda limitar el uso de concreto reciclado al 15%-25% para garantizar un equilibrio entre sostenibilidad, calidad y durabilidad, considerando que estos bloques son adecuados para elementos no estructurales, como, cercas y acabados arquitectónicos. No se recomienda su uso en elementos portantes o en ambientes con alta exposición a humedad.

Es esencial seguir estrictamente las normativas NMX aplicables y realizar ensayos regulares para garantizar que las propiedades físicas y mecánicas cumplen con los estándares, de igual manera se deben promover políticas que incentiven el reciclaje en la construcción, además de educar a los actores del sector sobre las ventajas y limitaciones del concreto reciclado.

En conclusión, el uso de concreto reciclado en bloques de uso no estructural es una alternativa sostenible y técnicamente viable, siempre que se maneje de manera controlada y acorde con las regulaciones vigentes en México

BIBLIOGRAFÍA

1. Aguilar, E. J., Hernández, E. F., & Espinoza, P. A. (2021). Concreto reciclado a partir de escombros de mampostería de bloque de cemento. *Nexo Revista Científica*, 34(05), 7–19. <https://doi.org/10.5377/nexo.v34i05.13099>
2. Aguirre, D.A., Padilla, N.B., & Frafán, M.G. (2024). Influencia del corcho en la propiedades físicas, térmicas y mecánicas del bloque de concreto. *Ingeniería. Revista de la Universidad de Costa Rica*, 34(2), 1-8. <https://doi.org/10.15517/ri.v34i2.56844>
3. Ahmad, J.; Zhou, Z.; Majdi, A.; Alqurashi, M.; Deifalla, A. (2022). Overview of Concrete Performance Made with Waste Rubber Tires: A Step toward Sustainable Concrete. *Green Materials and Manufacturing Processes*. (p. 15-16)
4. Bedoya, C., & Dzul, L. (2015). El concreto con agregados reciclados como proyecto de sostenibilidad urbana. *Revista ingeniería de construcción*, 30(2), 99-108. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-50732015000200002>
5. Chica, L. M., & Beltrán, J. M. (2018). Caracterización de residuos de demolición y construcción para la identificación de su potencial de reúso. *Dyna*, 85(206), 338-347. <https://doi.org/10.15446/dyna.v85n206.68824>
6. Elías, J.W., Flores, J.E., Barrera, R. E., & Reyna, C.A. (2020). Efecto de la Utilización de Agregados de Concreto Reciclado sobre el Ambiente y la Construcción de Viviendas en la Ciudad de Huamachuco. *PURIQ*, 2 (1), 16-27. <https://doi.org/10.37073/puriq.2.1.68>
7. Soto, G. S., & Sánchez, L. P. (2024). Estudio Comparativo de la Resistencia a la Compresión, Absorción y Dimensionamiento del Ladrillo Rafón Producido en Quimistán, Chamelecón y Florida, Honduras. *Innovare Revista De Ciencia Y tecnología*, 6(1), 97–116. <https://revistas.unitec.edu/innovare/article/view/54>
8. Norma Mexicana NMX-C-073-ONNCCE-2004. Industria de la Construcción – Agregados, ONNCCE.
9. Norma Mexicana NMX-C-404-ONNCCE-2012. Industria de la Construcción – Bloques, Tabiques o Ladrillos, Tabicones y Adoquines, ONNCCE.
10. “Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Mampostería”, Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal Gaceta oficial del Departamento del Distrito Federal, México. 2020.

Implementación de una arquitectura de servicios web seguros basado en contenedores: buenas prácticas

DOI: 10.60968/iaet.3594-035X.865

Iván Alonso Vargas Ramírez¹, Heberto Ferreira Medina^{2*}, Anastacio Antolino Hernández^{3*},
Juan Jesús Ruiz Lagunas⁴, Víctor Manuel Yépez García⁵

¹Tecnológico Nacional de México campus Morelia, MSC: m14120550@morelia.tecnm.mx

²Instituto de Investigaciones en Ecosistemas y Sustentabilidad, UNAM / TECNM campus Morelia MSC: hferreira@iies.unam.mx

³Tecnológico Nacional de México campus Morelia, MSC: anastacio.ah@morelia.tecnm.mx

⁴Tecnológico Nacional de México campus Morelia, MSC: juan.rl@morelia.tecnm.mx

⁵Tecnológico Nacional de México campus Morelia, IE: victor.yg@morelia.tecnm.mx

Línea de investigación: Seguridad y administración de la información

Resumen

En la era digital actual, donde las tecnologías avanzan a un ritmo vertiginoso, la seguridad en las actividades relacionadas con las comunicaciones se ha vuelto de vital importancia. Un ejemplo es la arquitectura de microservicios que trae varios beneficios tanto para los desarrolladores como para las empresas, ya que satisface la necesidad de cubrir varios servicios en una sola plataforma reduciendo costos, mantenimiento, administración y escalabilidad, así como ser sistemas más resilientes.

Esta arquitectura ofrece muchas ventajas y también presenta ciertas desventajas, por ejemplo, al dividir las aplicaciones o servicios en un mayor número de componentes también aumenta la complejidad y dificultad en la comunicación entre servicios, inconsistencia de datos al tener una gestión descentralizada, y también trae un problema muy importante, cómo protegerlos para reducir el impacto ante ataques de grupos de hackers.

La investigación profundiza en este ámbito para ofrecer un aporte demostrativo a la cultura de ciberseguridad. Se abordan temas que van desde la justificación de la implementación de medidas de seguridad hasta la creación de un entorno seguro y confiable para la ejecución de aplicaciones a través del uso de contenedores (Docker) en red. El enfoque principal se centra en la creación y el aseguramiento de una zona desmilitarizada (DMZ), complementado con una configuración exhaustiva de seguridad perimetral mediante un firewall con servicios unificados. Esta implementación busca incrementar la fiabilidad y facilitar el seguimiento de las actividades dentro de la red. Adicionalmente, se explora el hackeo ético a través de la metodología de pruebas de penetración, incluyendo el escaneo de puertos y la detección de vulnerabilidades, siguiendo las fases de preparación y planificación, testeo y emulación, y redacción de reportes, tal como lo dictan las buenas prácticas. De esta manera, se demuestra la viabilidad de desplegar una aplicación containerizada en Docker de forma segura y confiable, integrando elementos esenciales de ciberseguridad.

Palabras clave: Buenas Prácticas, Ciberseguridad, Contenedores, Servicios Web, Microservicios.

Abstract

In the current digital age, where technologies are advancing at a dizzying pace, security in communications-related activities has become vitally important. One example is microservices architecture, which brings several benefits to both developers and businesses, as it meets the need to cover multiple services on a single platform, reducing costs, maintenance, administration, and scalability, as well as creating more resilient systems.

This architecture offers many advantages and presents certain disadvantages. For example, dividing applications or services into a larger number of components also increases the complexity and difficulty of communication between services, data inconsistency due to decentralized management, and poses an especially important problem, such as protecting them from attacks by hacker groups.

This research delves into this area with the aim of offering a demonstrative contribution to the cybersecurity culture. Topics range from the justification for implementing security measures to creating a secure and reliable environment for running applications using networked containers (Docker). The focus is on the creation and securing of a demilitarized zone (DMZ), complemented by a comprehensive perimeter security configuration using a security system (firewall) with unified services. This implementation seeks to increase reliability and facilitate the monitoring of network activities. Additionally, ethical hacking is explored through penetration testing, including port scanning and vulnerability detection, following the preparation and planning, testing and emulation, and report writing phases, as dictated by best practices. This demonstrates the feasibility of deploying a containerized application in Docker securely and reliably, integrating essential cybersecurity elements.

Keywords: Best Practices, Cybersecurity, Containers, Web Services, Microservices.

* Autores de correspondencia; hferreira@iies.unam.mx, anastacio.ah@morelia.tecnm.mx

INTRODUCCIÓN

El desarrollo de la era digital actual está marcado por la creciente dependencia de las tecnologías de la información y la comunicación (TIC) en todas las actividades. En este contexto, la seguridad de las comunicaciones es un aspecto crucial para proteger la integridad de la información y prevenir ataques cibernéticos. Una de las arquitecturas que han logrado mayor aceptación en el mercado, es la de microservicios, que ofrece beneficios como la escalabilidad, la flexibilidad y la reducción de costos. Sin embargo, también presenta desafíos relacionados con la complejidad, la inconsistencia de datos, así como la protección contra ataques cibernéticos (Almeida, F., Simões, J., y Lopes, S., 2022).

La arquitectura de microservicios es vulnerable a los ataques cibernéticos por su naturaleza y la gran cantidad de elementos que interactúan entre sí. Por lo tanto, es fundamental implementar medidas de seguridad efectivas para proteger estas aplicaciones y garantizar la confiabilidad, disponibilidad y la integridad de la información. Un contenedor es como una caja que contiene y ofrece microservicios que ayudan a realizar un proceso en sistemas Web. Entre las desventajas de los contenedores está la estandarización, que se fue desarrollando de acuerdo a su implementación, de tal manera que en la actualidad se encuentran muchas bibliotecas de diferentes desarrolladores (Mohan, S. J., 2020).

Para lograr la contenerización de servicios, una primera solución fue la introducción de máquinas virtuales (VM, por sus siglas en inglés) las cuales encapsulaban completamente cada aplicación, pero con el inconveniente de que requerían de muchos recursos del servidor que las alojaba (Schenker, Saito, Lee, y Hsu, 2019).

Una MV provee una abstracción de una computadora física, de hecho, el concepto de virtualización tiene múltiples enfoques como la basada en contenedores (Mohan, 2020). Dentro de la virtualización el hipervisor es una pieza de software que permite la administración de recurso y está conformado de dos partes:

El Virtual Machine Monitor (VMM) que emula las instrucciones privilegiadas que el núcleo del sistema operativo (Kernel) puede brindar.

El modelo del dispositivo, que permite la interacción con los puertos de entrada y salida.

De la arquitectura basada en contenedores, nos enfocaremos en Docker que es un proyecto de código abierto utilizado para construir, transportar y correr aplicaciones mediante su línea de comandos soportado por un Docker engine (entorno de implementación), en general es una de las maneras que la comunidad de desarrolladores ha utilizado, para contenerizar y tener un mayor control sobre la distribución de sus desarrollos. Solucionando así, el gran problema por el que pasaban los ingenieros de desarrollo, quienes son los encargados de publicar en ambientes productivos dichas aplicaciones (Nickoloff y Kuenzli, 2019).

Para abordar mejor el tema debemos tomar algunas definiciones descritas en Bashari, John, y Ahmadi (2017), en donde se describe qué es un Docker client y un Docker server: podemos hacer una analogía a los sistemas de peticiones, en este caso el servidor recibe una petición desde el cliente y este a su vez otorga una respuesta basada en estados (RESTful, protocolo de intercambio de información), cabe destacar que el servidor y el cliente pueden estar dentro del mismo sistema (Atlidaki, V., Godefroid, P., y Polishchuk, M., 2020).

DESARROLLO

OBJETIVO GENERAL Y OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Este trabajo de investigación implementó una arquitectura de servicios Web seguros basada en el uso de contenedores, herramientas de virtualización y la configuración de un entorno confiable de contenedores (Dockers). Para lograr este objetivo se realizaron las siguientes actividades:

- Se investigó el estado del arte de los sistemas basados en contenedores.
- Se realizó un análisis de las herramientas utilizadas para la seguridad en contenedores.
- Se diseñó e implementó un firewall perimetral para la creación de una red segura.
- Se implementó la arquitectura de servicios Web basada en Dockers.
- Se realizaron actividades para definir las interfaces de acceso WAN (Internet), LAN (red local) y DMZ.
- Se diseñó un plan de pruebas utilizando una metodología de hackeo ético (análisis de vulnerabilidades) (Sabih, Z., 2018).

OBJETO DE ESTUDIO

En este trabajo se describen un conjunto de buenas prácticas para tener un sistema de servicios Web seguros, basados en la construcción de una red confiable y en la implementación de una infraestructura de servicios basados en Dockers, que garanticen su funcionamiento en Internet. Este tipo de soluciones se ha convertido en una necesidad en las empresas de México. En la década de 2010, con el objetivo de combinar metodologías ágiles con herramientas de desarrollo rápido, surge el DevOps que integra las áreas de desarrollo y operaciones (Dev, Ops; por sus siglas en inglés), ayudando a acelerar el desarrollo y la entrega de software, mejorando la calidad y la colaboración entre equipos (enfoque de desarrollo ágil), promueve una cultura de trabajo que automatiza los procesos y la colaboración en un equipo de desarrollo. En Almeida, Simões, y Lopes (2022) se demuestra que las metodologías ágiles y el DevOps no son incompatibles y brindan beneficios para las organizaciones cuando son bien aplicadas. Mientras las metodologías ágiles brindan rapidez y flexibilidad, DevOps optimiza los sistemas. Estas nuevas metodologías utilizan, en combinación, las plataformas de microservicios que puede proporcionar Docker, para el trabajo colaborativo y con diferentes versiones de aplicaciones y/o servicios.

METODOLOGÍA

En la actualidad la adopción de tecnologías emergentes por parte de las empresas es parte fundamental de su sustentabilidad para seguir teniendo acceso a mercados globales multidisciplinares, lo cual a su vez obliga a la innovación como se menciona en Tabaku, Duçi, Kapçiu, Kosova, y Lazaj (2025) que nos hacen reflexionar en cómo la tecnología es pilar para funciones de las empresas. El término Fintech (ofertar servicios a un precio competitivo y satisfacer a clientes exigentes) es el resultado de combinar tecnologías a los modelos financieros tradicionales, que ha derivado en la adopción de tecnologías como blockchain, inteligencia artificial y análisis de datos, entre otras (Hamdan, Hamdan, Anasweh, y Binsaddig, 2025). Las cuales ayudan a obtener mejores resultados, dando una ventaja estratégica a las organizaciones. Para implementar buenas prácticas de seguridad y garantizar los Dockers, se utilizó un enfoque experimental y demostrativo para evidenciar que se puede agregar niveles de protección a un Docker, ubicándolo en una red desmilitarizada (DMZ), consumiendo los servicios desde una red WAN y LAN, asegurándolos desde un firewall. Se implementó la arquitectura segura en base a estándares, siguiendo las fases mostradas en la Figura 1.

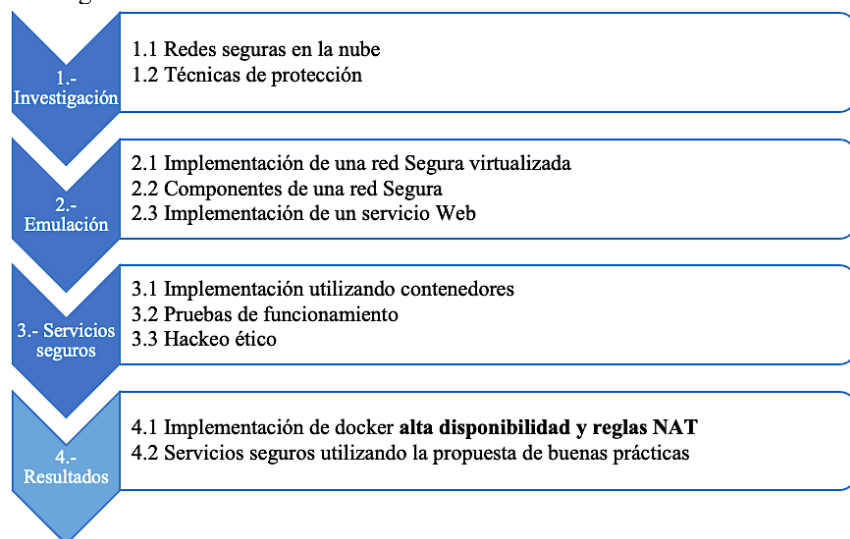


Figura 1. Fases de la Metodología.

FASES DEL DESARROLLO

Fase 1. Investigación. Se revisó el estado del arte, en cuanto a la ciberseguridad de los microservicios, los servicios Web en la nube, así como sus técnicas de protección.

Fase 2. Emulación. Se establecen los elementos para construir un laboratorio virtualizado que permite recrear un entorno de producción orientado a servicios; creando una red virtual con aplicaciones basadas en contenedores y bajo un ambiente Web.

Fase 3. Servicios seguros. Se despliegan servicios Web contenerizados sobre MVs, verificando su funcionamiento y llevando a cabo pruebas de penetración (hacking ético), buscando verificar su funcionamiento y seguridad.

Fase 4. Resultados. Se efectuaron diferentes pruebas para identificar áreas de mejora para los contenedores, así como las aplicaciones Web. Se propone una lista de buenas prácticas que permitan desplegar servicios seguros. Así como esquemas para la alta disponibilidad (redundancia en servicios).

En la siguiente sección se describen las actividades prácticas para las fases definidas.

DESARROLLO DE LA INFRAESTRUCTURA

Se implementó una arquitectura de redes segmentadas en WAN, LAN y DMZ para evidenciar la efectividad de la seguridad de los microservicios, al implementar contenedores protegidos por un firewall (Arista-Untangle) (Anwar, R. W., Abdullah, T., y Pastore, F., 2021), véase la imagen de la Figura 2.

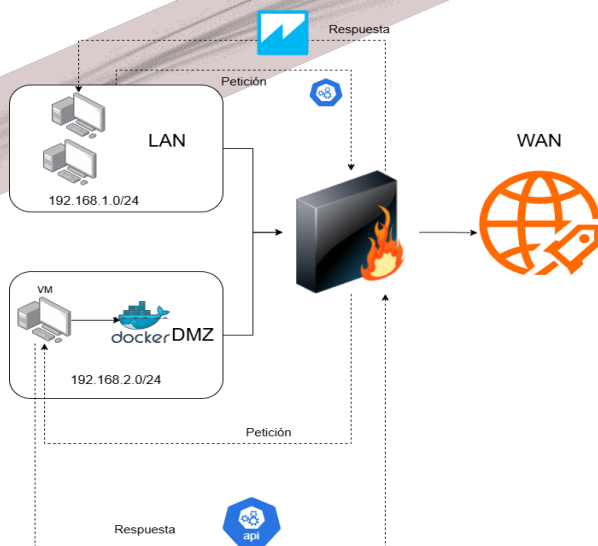


Figura 2. Arquitectura de la red, para servicios Web en Docker.

Posteriormente se desarrolló la implementación y configuración de las VMs en la LAN, ver Tabla 1.

Tabla 1. Componentes de red LAN*.

Nombre	Sistema Operativo	Versión Sistema Operativo	Memoria RAM	Almacenamiento
MintLAN	LinuxMint	linuxmint-22.1-xfce-64bit	2048 MB	25 GB
MintLAN2	LinuxMint	linuxmint-22.1-xfce-64bit	2048 MB	25 GB

* Configuración de las MVs en plataforma de Virtual Box (Virtualbox, 2024), (Đorđević, B., y Timčenko, V., 2021).

La configuración de las MVs en Virtual Box se puede observar en la Figura 3.

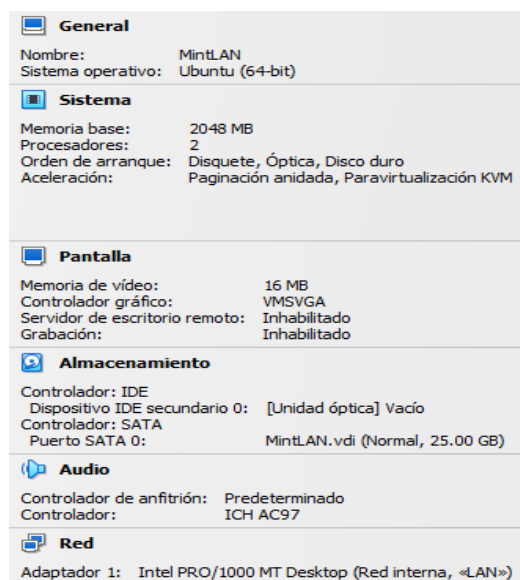


Figura 3. Configuración general de las MVs.

A continuación, se implementan las VMs en la red DMZ, encargadas de almacenar los contenedores y servicios que ejecutan las aplicaciones Web. Se pueden observar las características en la Tabla 2.

Tabla 1. Componentes de MVs la red DMZ.

Nombre	Sistema Operativo	Versión Sistema Operativo	Memoria RAM	Almacenamiento
DockerEngine1	Ubuntu servidor	ubuntu-24.04.2-live-server-amd64	6070 MB	100 GB
kali-linux-2025.1a-virtualbox-amd64	Kali Linux	Kali Linux 2025	2048 MB	80 GB

La implementación de la MV del firewall perimetral se describe en la Tabla 3:

Tabla 2. Componentes del firewall (Arista-Untangle)

Nombre	Sistema Operativo	Versión Sistema operativo	Memoria RAM	Almacenamiento
AristaFWNG	Arista Firewall	17.3.1	6206 MB	50 GB

Se puede observar la definición de las redes WAN, LAN y DMZ como interfaces de red en la Figura 4.

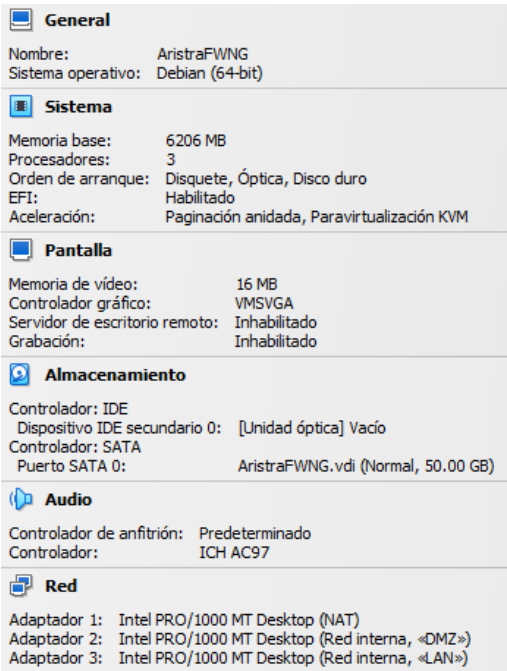


Figura 4. Configuración de la MV para el firewall con 3 interfaces de red.

Posteriormente se implementó la VM para un servidor de almacenamiento en red (NAS, por sus siglas en inglés), que se utilizó para configurar un almacenamiento con redundancia en base al protocolo iSCSI (almacenamiento en red, por sus siglas en inglés), Tabla 4.

Tabla 3. Características del TrueNas (Truenas.com, 2025).

Nombre	Sistema Operativo	Versión Sistema Operativo	Memoria RAM	Almacenamiento
TN	TrueNAS-SCALE	25.04.0	6193 MB	Dispositivo IDE primario 0: TN.vdi (Normal, 150.00 GB). Dispositivo IDE primario 1: TN_1.vdi (Normal, 30.00 GB). Dispositivo IDE secundario 0: [Unidad óptica] TrueNAS-13.0-U6.7.iso (1000.59 MB). Dispositivo IDE secundario 1: TN_2.vdi (Normal, 30.00 GB)

En la Figura 5, se muestra la configuración de la VM asignada para el almacenamiento en alta disponibilidad, con varios discos (sistema RAID 3).

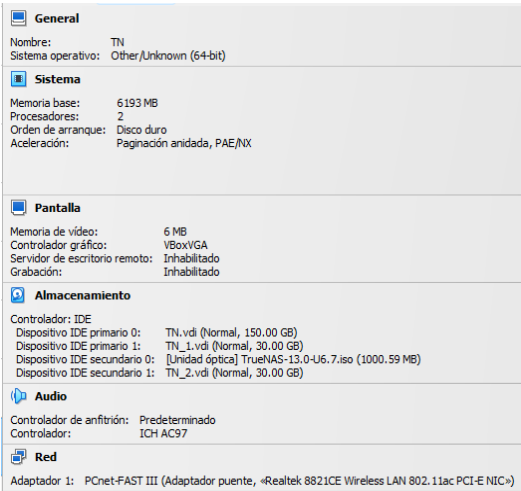


Figura 5. Características de la VM TrueNAS.

A continuación, se crea la segmentación de la red (VLANs), como se muestra en la Figura 6.

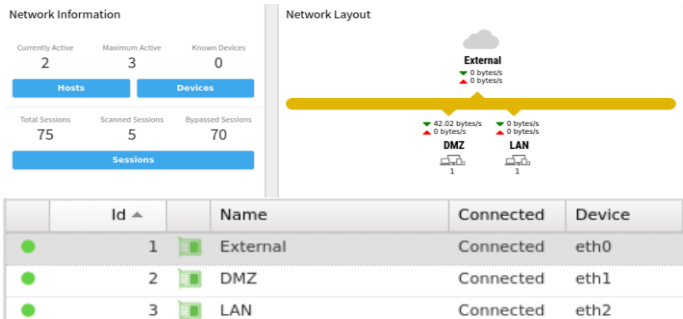


Figura 6. Segmentación de red utilizada para el firewall perimetral.

Se realizaron las configuraciones de seguridad para la infraestructura de Dockers, que se describen a continuación:

- Firewall: Instalado como barrera perimetral.
- NAT y Reglas de Acceso: El NAT se utilizó para acceso a Internet (LAN/DMZ). Las reglas de acceso del Firewall, para tráfico sólo el necesario.
- Web Filter (DMZ): Bloqueo de navegación a ciertos sitios o páginas, excepto a dominios necesarios para Docker y pruebas.
- Contenedor Docker (Wordpress): Se utilizó el puerto 8080, expuesto controladamente al servicio público, redirección HTTP a HTTPS, certificados SSL necesario para el acceso cifrado, y respaldos programados para el NAS.

La Figura 7 muestra la configuración de las reglas NAT y Web Filter para la red.

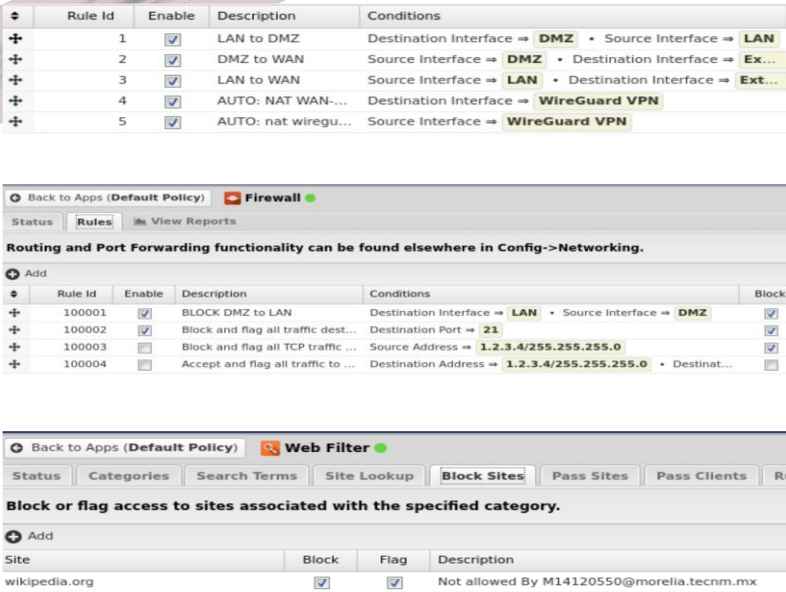


Figura 7. Configuraciones de seguridad para los Dockers.

Finalmente, se realizan las pruebas de hackeo ético como se muestra en la siguiente sección de resultados y discusión.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Mediante la creación de un laboratorio en la plataforma de Virtual Box, se probó la comunicación entre los nodos y las redes LAN y DMZ, con las pruebas siguientes (logrando una respuesta favorable en la comunicación):

- ping entre MVs con dirección IP: 192.168.2.56 y 192.168.2.76 (ver Figura 2 anterior) en la DMZ
- ping entre la IP DMZ: 192.168.1.182 y IP LAN: 192.168.2.56, fue posible la comunicación desde un cliente LAN a un servidor DMZ
- Se observó el funcionamiento del Docker (en DMZ) desde la red LAN, mediante una petición Web (puerto 80 y 443).

Se realizó la implementación de la arquitectura de servicios Web para mostrar su seguridad. Se ejecutó el comando:
`#docker run`

para ejecutar el servicio Web de wordpress (servicio de contenido Web, CMS), a través de un contenedor en un MV con sistema operativo Ubuntu Server en la red DMZ, ver Figura 8.

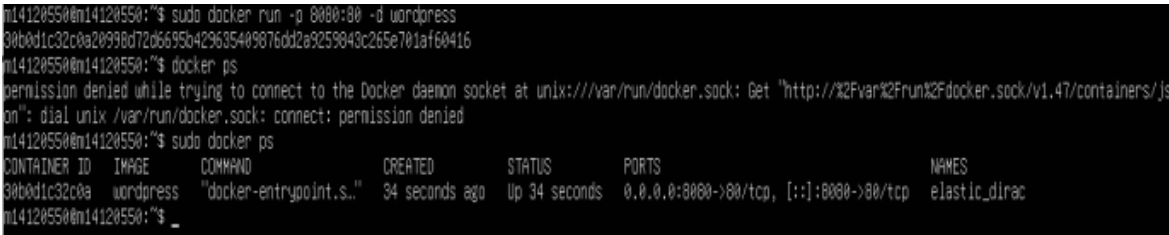


Figura 8. Servicio wordpress en contenedor.

Fue necesario configurar el servicio en el puerto 8080 de la red DMZ, para que fuera accesible por los clientes a través de su IP 192.168.1.182:8080 desde la red LAN, como podemos ver en la Figura 9.

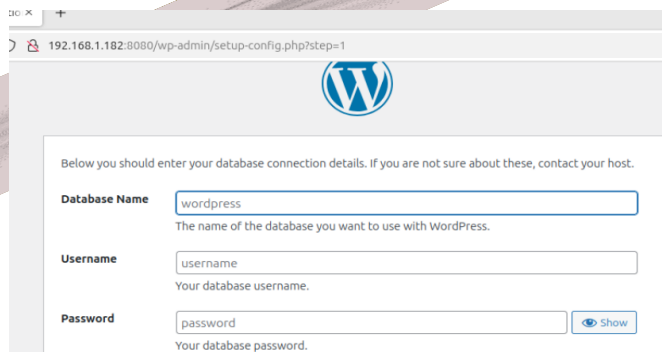


Figura 9. Acceso al servicio Web en la DMZ desde la LAN.

La implementación del firewall perimetral permitió separar las redes LAN y DMZ. Para comprobar la seguridad se realizaron pruebas de Pentesting (penetración) con la herramienta nmap desde un cliente Kali-linux. En la Figura 10, se observa el resultado del comando #nmap 192.168.1.0/24

```
(kali@kali)-[~]
$ nmap 192.168.1.0/24
Starting Nmap 7.95 ( https://nmap.org ) at 2025-05-03 20:10 EDT
Nmap scan report for 192.168.1.1
Host is up (0.0012s latency).
Not shown: 996 filtered tcp ports (no-response)
PORT      STATE SERVICE
53/tcp    open  domain
80/tcp    open  http
179/tcp   closed bgp
443/tcp   open  https
MAC Address: 08:00:27:AB:26:32 (PCS Systemtechnik/Oracle VirtualBox virtual N
IC)

Nmap scan report for 192.168.1.182
Host is up (0.00071s latency).
Not shown: 998 closed tcp ports (reset)
PORT      STATE SERVICE
22/tcp    open  ssh
8080/tcp  open  http-proxy
MAC Address: 08:00:27:EA:B4:19 (PCS Systemtechnik/Oracle VirtualBox virtual N
IC)

Nmap scan report for 192.168.1.174
Host is up (0.0000020s latency).
All 1000 scanned ports on 192.168.1.174 are in ignored states.
Not shown: 1000 closed tcp ports (reset)

Nmap done: 256 IP addresses (3 hosts up) scanned in 33.19 seconds
```

Figura 10. Prueba de nmap desde un cliente Kali Linux.

En la Figura 11, se observan los puertos y servicios funcionando en cada host.

```
(kali@kali)-[~]
$ nmap 192.168.1.0/24
Starting Nmap 7.95 ( https://nmap.org ) at 2025-05-03 20:10 EDT
Nmap scan report for 192.168.1.1
Host is up (0.0012s latency).
Not shown: 996 filtered tcp ports (no-response)
PORT      STATE SERVICE
53/tcp    open  domain
80/tcp    open  http
179/tcp   closed bgp
443/tcp   open  https
MAC Address: 08:00:27:AB:26:32 (PCS Systemtechnik/Oracle VirtualBox virtual N
IC)

Nmap scan report for 192.168.1.182
Host is up (0.00071s latency).
Not shown: 998 closed tcp ports (reset)
PORT      STATE SERVICE
22/tcp    open  ssh
8080/tcp  open  http-proxy
MAC Address: 08:00:27:EA:B4:19 (PCS Systemtechnik/Oracle VirtualBox virtual N
IC)

Nmap scan report for 192.168.1.174
Host is up (0.0000020s latency).
All 1000 scanned ports on 192.168.1.174 are in ignored states.
Not shown: 1000 closed tcp ports (reset)

Nmap done: 256 IP addresses (3 hosts up) scanned in 33.19 seconds
```

Figura 11. Puertos abiertos en el servidor de Dockers.

Posteriormente se realizó el escaneo de vulnerabilidades para la DMZ, como se observa en la Figura 12.

```

(kali@kali)-[~]
└─$ nmap -script vuln 192.168.1.182
Starting Nmap 7.95 ( https://nmap.org ) at 2025-05-03 20:24 EDT
Nmap scan report for 192.168.1.182
Host is up (0.0022s latency).
Not shown: 998 closed tcp ports (reset)
PORT      STATE SERVICE
22/tcp    open  ssh
8080/tcp   open  http-proxy
|_http-majordomo2-dir-traversal: ERROR: Script execution failed (use -d to debug)
|_http-vuln-cve2010-0738:
|_ /jmx-console/: Authentication was not required
|_ http-enum:
|_ /readme.html: Wordpress version: 2
|_ /wp-includes/images/rss.png: Wordpress version 2.2 found.
|_ /wp-includes/js/jquery/suggest.js: Wordpress version 2.5 found.
|_ /wp-includes/images/blank.gif: Wordpress version 2.6 found.
|_ /wp-includes/js/comment-reply.js: Wordpress version 2.7 found.
|_ /readme.html: Interesting, a readme.
MAC Address: 08:00:27:EA:B4:19 (PCS Systemtechnik/Oracle VirtualBox virtual NIC)

```

Figura 12. Vulnerabilidades detectadas con el script `-vuln`.

Se puede observar que el escaneo presenta el nombre y versión del software que proporciona el servicio Web, que en este caso es el de Wordpress con posible versión 2.2/2.5/2.6/2.7, así como la MAC Address de la tarjeta de red. No se observaron vulnerabilidades para explotar, ya que el servicio es seguro, por las reglas del firewall como lo describen (Potdar, A., G, N., Kengond, S., y Mulla, M. M., 2020).

CONCLUSIÓN

La implementación de buenas prácticas para garantizar la seguridad es crucial en la infraestructura de servicios basados en tecnologías Web y contenedores, ya que con esto se ayuda a la protección de accesos no autorizados, de tráfico malicioso y filtrado de datos. Al seguir estándares de seguridad como la norma del NIST e ISO 27001 (Standardization, I. O., 2022), se logra una mejor gestión sobre el tráfico en la red, incluyendo una respuesta a contingencias y fallos, así mismo se logra reducir el riesgo a amenazas. Aunado a lo anterior, es importante implementar políticas de seguridad en las empresas ligadas a los procesos o servicios que ofrece, permitiendo detectar ataques o intenciones de acceso a los sistemas. También es importante el monitoreo del consumo de tráfico por usuario y logins activos. El uso de redes VPN para acceso de clientes, con certificados digitales, con una revocación o alta desde el firewall, ayuda a controlar los accesos. Esto es comúnmente llamado AAA (Autenticación, Autorización y Contabilidad) (Compastíe, M., Badonnel, R., Festor, O., y He, R., 2020). La confidencialidad, integridad y disponibilidad de los datos (conocida como Triada CIA) se convierte en otra buena práctica.

Las buenas prácticas que proponemos, como resultado de esta investigación y que se probaron en el laboratorio, se describen a continuación (Tabla 5):

Tabla 5. Buenas prácticas para implementar servicios Web seguros, contenerizados.

Buena práctica	Descripción	Requerimientos
1.- Componentes de una red Segura	Antes de implementar la red de servicios basados en contenedores, es importante diseñar y construirla, con base en los requerimientos de la empresa (necesidades para la continuidad del negocio), se necesita establecer un diagrama de los componentes de la red.	- Objetivos de los servicios a implementar basados en contenedores - Diagrama de red; establecer los elementos de la red WAN, LAN y DMZ - Requerimientos de servicios y servidores necesarios. - Tipos de usuarios y esquemas de validación segura AAA y CIA.
2.- Implementación de un firewall perimetral	Esta herramienta demostró su efectividad en la protección de los sistemas ubicados dentro de las redes WAN, LAN y DMZ. La selección del software/hardware del firewall resulta ser una práctica muy importante. Se requiere tener definidas las políticas de seguridad para implementarse como reglas.	- Conocer el tráfico de la red que se desea proteger en Mbps (throughput). - Conocer el número de servicios o equipo que funcionará en la DMZ. - Elaborar comparativas para elegir el mejor firewall con costo beneficio ad-hoc.
3.- Crear un laboratorio virtualizado, para pruebas de tráfico	Si bien demanda una inversión en tiempo y esfuerzo para la configuración, resulta ser muy importante. Su utilidad es que ayuda en la implementación de políticas de seguridad y sirve para establecer entornos de prueba controlados y replicables.	- Sistema de virtualización para montar servicios. - Reglas para implementar en el firewall. - Servicios que se desean proteger. - Esquemas de AAA y CIA definidos para garantizar un acceso confiable.
4.- Implementación de la arquitectura de servicios Web	El desarrollo con DevOps sigue siendo un área crítica que requiere un sistema de protección y monitoreo. A pesar de la extensa exploración en este campo, persisten vulnerabilidades que pueden ser explotadas por hackers. Se enfatiza la importancia de tomarlas en cuenta en la etapa de implementación, instando a las empresas y responsables a priorizar medidas preventivas.	- Establecer los requerimientos de hardware y software para montar los servicios Web. - Realizar el monitoreo y análisis de vulnerabilidades en forma continua. - Establecer planes de contingencia si fallas en los servicios. - Establecer requerimientos de seguridad para los DevOps.
5.- Creación de servicios seguros	La configuración de reglas en el firewall demostró ser un mecanismo eficaz para controlar las vulnerabilidades y establecer servicios seguros. Una configuración adecuada, adaptada a las necesidades específicas de las empresas, permite el control y la prevención de actividades maliciosas, resaltando la versatilidad y la importancia de una gestión de reglas bien definidas.	- Crear esquemas de protección de firewall en los servidores. - Establecer un esquema de actualizaciones continuas. - Establecer esquemas de análisis y monitoreo del comportamiento de los servicios en red. - Establecer un plan de mejora continua en los servicios.
6.- Pruebas de seguridad utilizando el enfoque de hackeo ético	Se propone aplicar la metodología del hackeo ético para identificar las debilidades de la infraestructura. Mediante pruebas de penetración, se logra obtener los puntos vulnerables. Es importante enfatizar en la necesidad de realizar estas pruebas con ética y con periodicidad.	- Se requiere un plan de pruebas. - Se requiere de una herramienta especializada para llevar a cabo las pruebas de hackeo ético. - Direcciones de red y servicios que se desean analizar. - Pruebas a los contenedores con servicios prioritarios.
7. Implementación de esquemas de respaldo y alta disponibilidad	El establecimiento de esquemas de respaldo y servicios de alta disponibilidad, requiere establecer esquemas de redundancia en servidores y contenedores. La alta disponibilidad se establece a nivel servidor y posteriormente a nivel servicio (contenedor).	- Almacenamiento en red para respaldos (NAS). - Establecimiento de copias de servicios para la alta disponibilidad. - Establecer un calendario de respaldos y recuperación, en caso de fallos de un servicio.

Finalmente señalamos que los resultados obtenidos de una plataforma segura de servicios Web (contenerizados) subrayan la importancia de una planificación cuidadosa, la selección adecuada de herramientas y un constante monitoreo de las amenazas de seguridad a los servicios de red.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a los estudiantes Syndel K. Martínez y David G. Sotomayor, de la Maestría en Sistemas Computacionales del TECNM campus Morelia, por su participación y apoyo en la realización de este proyecto. Asimismo, agradecemos al Departamento de Sistemas y Computación, por su apoyo profesional y de la infraestructura que nos permitió alcanzar los resultados mostrados. Al TECNM y a la División de Estudio de Posgrado e Investigación, por su autorización para realizar el proyecto de investigación “Desarrollo de un sistema de acceso remoto seguro para el control de arranque suave de motores de Corriente Directa para mejorar la eficiencia energética” con número: 23620.25-P y finalmente al proyecto de la DGAPA PAPIME PE103124 de la UNAM y al personal por su apoyo técnico en el análisis de datos, a la MGTI. Atzimba G. López Maldonado, al MTI. Alberto Valencia García del IIES de la UNAM y del MTI. Miguel Espejel Cruz del IRyA de la UNAM campus Morelia.

REFERENCIAS

- Almeida, F., Simões, J., y Lopes, S. (2022). Exploring the Benefits of Combining DevOps and Agile. *Future Internet*, 14-63. doi:<https://doi.org/10.3390/fi14020063>
- Anwar, R. W., Abdullah, T., & Pastore, F. (2021). Firewall Best Practices for Securing Smart Healthcare Environment: A Review. *Applied Sciences*.
- Atlidaki, V., Godefroid, P., y Polishchuk, M. (2020). Checking Security Properties of Cloud Service REST APIs. 2020 IEEE 13th International Conference on Software Testing, Validation and Verification (ICST), 1-12.
- Bashari, B. R., John, H. B., & Ahmadi, M. (2017). An Introduction to Docker and Analysis of its Performance. *International Journal of Computer Science and Network Security*, 228-235.
- Đorđević, B., y Timčenko, V. (2021). Performance comparison of native host and hyper-based virtualization VirtualBox. 20th International Symposium INFOTEH-JAHORINA.
- Hamdan, A., Hamdan, R., Anasweh, M., y Binsaddig, R. O. (2025). Guest editorial: Financial technology, business competitiveness and sustainability. *Competitiveness Review: An International Business Journal.*, 35(2), 221-228. doi:10.1108/CR-03-2025-316
- IONOS, E. e. (3 de 2023). ¿Qué es un servidor? Obtenido de <https://www.ionos.mx>: <https://www.ionos.mx/digitalguide/servidores/known-how/que-es-un-servidor-un-concepto-dos-definiciones/>
- Mohan, S. J. (2020). *Linux Containers and Virtualization: A Kernel Perspective*. Bengaluru, India: Apress.
- Nickoloff, J., y Kuenzli, S. (2019). *Docker in Action, Second Edition*. Manning Publications.
- Potdar, A., G, N., Kengond, S., & Mulla, M. M. (2020). Performance Evaluation of Docker Container and Virtual Machine. *Procedia Computer Science*, 1419–1428.
- Sabih, Z. (2018). *Learn Ethical Hacking from Scratch*. Packt Publishing.
- Schenker, G. N., Saito, H., Lee, H.-C. C., y Hsu, K.-J. C. (2019). *Getting Started with Containerization*. Packt Publishing.
- Standardization, I. O. (2022). *ISO/IEC 27001:2022 - Information security, cybersecurity and privacy protection — Information security management systems — Requirements*. ISO.
- Tabaku, E., Duçi, E., Kapçiu, R., Kosova, R., y Lazaj, A. (2025). THE EVOLUTION OF TECHNOLOGY IN ACCOUNTING AND CORPORATE FINANCE: IMPLICATIONS FOR BUSINESS ADAPTATION AND COMPETITIVENESS. *International Research Journal of Modernization in Engineering Technology and Science*, 12. doi: IRJMETs66318
- TrueNAS.com (enero 2025). TrueNAS CORE Version Documentation, Obtenido de: <https://www.truenas.com/docs/core/13.0/gettingstarted/>
- Virtualbox-oracle (diciembre 2024). Manual de Virtual Box, Obtenido de: <https://www.virtualbox.org/manual/ch01.html>

Administración del Inventario a través de modelos de cantidad económica de pedido (EOQ)

DOI: 10.60968/iaet.3594-035X.792

MII. Ulises Valdez Rodríguez ¹, Dr. Francisco Fabián Tobías Macías ², Dr. Félix Fernando de Hoyos Vázquez ³, Lic. Alfredo Cruz González ⁴, MDAF. Juan José Elguezabal Aguirre ⁵

¹Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Piedras Negras, e-mail: ingulisesvaldezrdz@hotmail.com

²Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Piedras Negras, e-mail: fabian_z_zz@hotmail.com

³Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Piedras Negras, e-mail: felixdehoyos@hotmail.com

⁴Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Piedras Negras, e-mail: alfredocruzgonzalez@hotmail.com

⁵Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Piedras Negras, e-mail: juanjose.elguezabal@gmail.com

Línea de investigación: Ingeniería Industrial

Resumen

Presentamos aquí una manera de controlar almacenes Multiproducto con un enfoque analítico, evitando generar costos por excesos de pedido, inventarios o inexistencias. La importancia de controlar con variedad de productos un almacén genera una problemática al tratar de mantener un stock de seguridad, se presenta un trabajo analizando gran parte de la literatura correspondiente a EOQ por sus siglas en inglés (Economic Order Quantity). Es importante reconocer que muchos sistemas de inventarios deben manejar muchos productos de manera simultánea, en ocasiones incluso cientos o miles de productos. Todavía más, el inventario de cada uno puede estar disperso geográficamente, es común que sea posible aplicar el modelo adecuado de un producto por separado a cada producto. No obstante, las compañías practican el método de control ABC, particularizándolos en importantes, de tratamiento intermedio y menos importante. El almacén en cualquier empresa, es una parte fundamental de la logística. Las empresas y centros comerciales cada vez tienen almacenes con más variedad de productos, es por ello, que se genera una problemática al tratar de mantener un stock de seguridad para cada producto, originándose costos por alto almacenaje y por inexistencias. En el desarrollo de la presente investigación se aplicarán métodos conocidos para el control de almacenes y se buscará desarrollar un método de control de inventarios multiproducto que les servirá a las distintas empresas o centros comerciales para disminuir costos por almacenaje o por inexistencias, teniendo por alcance dar a conocer un método óptimo con un enfoque de investigación de operaciones, enriquecer el área de conocimiento del tema con la finalidad de mejorar eficientemente la calidad; así como perfeccionar el control de los almacenes.

Palabras clave: EOQ, inventario, almacén, LaGrange, restricciones.

Abstract

We present here a way to control Multiproduct warehouses with an analytical approach, avoiding generating costs due to excess orders, inventories or non-existences. The importance of controlling a variety of products in a warehouse generates a problem when trying to maintain a safety stock. A work is presented analyzing a large part of the literature corresponding to EOQ (Economic Order Quantity). It is important to recognize that many inventory systems must handle many products simultaneously, sometimes even hundreds or thousands of products. Furthermore, each product's inventory may be geographically dispersed; it is often possible to apply the appropriate product model separately to each product. However, companies practice the ABC control method, dividing them into important, intermediate and less important treatment. The warehouse in any company is a fundamental part of logistics. Companies and shopping centers increasingly have warehouses with a greater variety of products, which is why a problem is generated when trying to maintain a safety stock for each product, causing costs due to high storage and non-existences. In the development of this research, known methods for warehouse control will be applied and an attempt will be made to develop a multi-product inventory control method that will serve different companies or shopping centers to reduce costs due to storage or non-existence, with the aim of giving to know an optimal method with an operations research approach, enrich the area of knowledge of the subject in order to efficiently improve quality; as well as improve warehouse control.

Keywords: EOQ, inventory, warehouse, LaGrange, constraints.

INTRODUCCIÓN

El objetivo aquí es identificar una manera de controlar almacenes multiproducto con un enfoque analítico, evitando generar costos por excesos de pedido, inventarios o inexistencias. La importancia de controlar con variedad de productos un almacén genera una problemática al tratar de mantener un stock de seguridad, se presenta un trabajo analizando gran parte de la literatura correspondiente a EOQ por sus siglas en inglés (Economic Order Quantity). Es importante reconocer que muchos sistemas de inventarios deben manejar muchos productos de manera simultánea, en ocasiones incluso cientos o miles de productos. Todavía más, el inventario de cada uno puede estar disperso geográficamente, es común que sea posible aplicar el modelo adecuado de un producto por separado a cada producto. No obstante, las compañías practican el método de control ABC, particularizándolos en importantes, de tratamiento intermedio y menos importante. (Hillier & Lieberman, 2004).

El almacén en cualquier empresa, es una parte fundamental de la logística. Las empresas y centros comerciales cada vez tienen almacenes con más variedad de productos, es por ello, que se genera una problemática al tratar de mantener un stock de seguridad para cada producto, originándose costos por alto almacenaje y por inexistencias.

En el desarrollo de la presente investigación se aplicarán métodos conocidos para el control de almacenes y se buscará desarrollar un método de control de inventarios multiproducto que les servirá a las distintas empresas o centros comerciales para disminuir costos por almacenaje o por inexistencias, donde se pretende Dar a conocer un método óptimo con un enfoque de investigación de operaciones, enriquecer el área de conocimiento del tema con la finalidad de mejorar eficientemente la calidad; así como perfeccionar el control de los almacenes.

DESARROLLO

Controlar almacenes multiproducto, evitando generar costos por excesos de pedido, inventarios excesivos o inexistencias de producto, así como, estudiar los principios básicos y los métodos existentes en la literatura para el control de almacenes multiproducto, implementando un método en el área de control de almacenes multiproducto que nos sirva como una herramienta eficiente y eficaz, para poder controlar y aplicar correctamente el método y que nos permita optimizar costos y tener siempre un Stock ideal en el inventario.

Se propone un método alternativo para el cálculo EOQ multi-elemento en presencia de restricciones de espacio. El método, basado en los multiplicadores de Lagrange, se compone de un procedimiento iterativo que analiza dinámicamente, a través de la simulación, el efecto de las tasas de consumo y tiempos de entrega, para determinar las acciones reales de valores en un período de tiempo fijo. (Lanone, Miranda, & Riemma, 2012)

El modelo de cantidad de pedido fija trata de determinar el punto específico, R (reorden), en que se hará un pedido, así como el tamaño de éste, Q (cantidad). El punto de pedido, R, siempre es un número específico de unidades. Se hace un pedido de tamaño Q cuando el inventario disponible (actualmente en existencia o en pedido) llega al punto R. La posición del inventario se define como la cantidad disponible más la pedida menos los pedidos acumulados.

El modelo básico conocido como Cantidad Económica de Pedido (CEP) intenta equilibrar los dos costos fundamentales asociados con el inventario: el costo de pedido y el costo de mantenimiento de inventario. El costo de pedido casi siempre se presenta en forma de costo de procesamiento si el material es fabricado, pero también puede referirse al costo de realizar una orden de compra si el material en cuestión se adquiere de un proveedor externo. El costo de mantener inventario es una combinación de todos los costos enumerados arriba, incluyendo el costo de capital, el cual suele constituir el elemento más grande del total. El costo de mantener inventario casi siempre se expresa como un porcentaje anual sobre el costo real del artículo. (Chapman, 2006).

OBJETIVO GENERAL Y OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Controlar almacenes multiproducto, evitando generar costos por excesos de pedido, inventarios excesivos o inexistencias de producto.

- Estudiar los principios básicos y los métodos existentes en la literatura para el control de almacenes multiproducto.
- Implementar un método en el área de control de almacenes multiproducto que nos sirva como una herramienta eficiente y eficaz.
- Controlar y aplicar correctamente el método y que nos permita optimizar costos y tener siempre un Stock ideal en el inventario.

OBJETO DE ESTUDIO

Un sistema de inventario proporciona la estructura de organización y las políticas operativas para mantener y controlar los bienes en existencia. El sistema es responsable de pedir y recibir bienes: determinar el tiempo para colocar el pedido y seguir el rastro de lo que se ha pedido, de cuanto se ha pedido y de quien lo ha pedido. (Chase, Jacobs, & Aquilano, 2009).

METODOLOGÍA

Para el desarrollo de la investigación, se llevaron a cabo un conjunto de pasos o etapas, los cuales se describen a continuación en la figura 1.

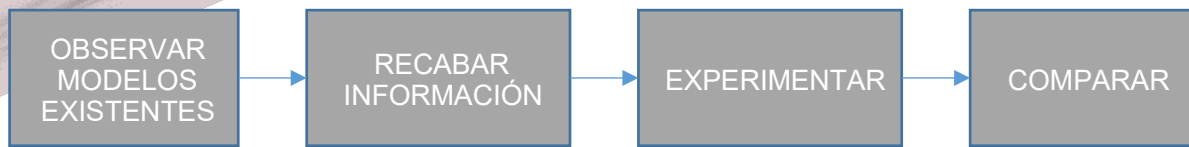


Figura 1 Método utilizado para la investigación

FASES DEL DESARROLLO

Etapla 1: Se observaron los modelos más pertinentes para la elaboración de la investigación como se muestran en la tabla 1, con los cuales se ha tenido buena respuesta por parte de las empresas cuando los utilizan.

MODELO	FORMULA
MODELO Q, EOQ (Chase, Jacobs, & Aquilano, Administración de Operaciones Producción Y Cadena de Suministros, 2009)	$Q = \sqrt{\frac{2DS}{H}}$
MODELO P, EOQ (Chase, Jacobs, & Aquilano, Administración de Operaciones Producción Y Cadena de Suministros, 2009)	$Q = \bar{d}(T + L) + z\sigma_{T+L} - I$
EOQ UNA RESTRICCIÓN (Sipper & Bulfin, Planeación Y Control de la Producción., 1998)	$Q = \sqrt{\frac{2AD}{H + 2\lambda c}}$
EOQ DOS RESTRICCIÓN (Sipper & Bulfin, Planeación Y Control de la Producción., 1998)	$Q = \sqrt{\frac{2AD}{H + 2\lambda_2 f}}$

Tabla 1 Modelos para el cálculo de tamaño económico del lote

En la tabla 2 aparecen las notaciones relacionadas a las diferentes ecuaciones de EOQ de la tabla 1, las cuales vamos a utilizar.

NOTACIÓN	SIGNIFICADO	DIMENSIONES
Q	Tamaño económico del lote	unidades
D	Demanda	unidades
$S; A$	Costo de hacer el pedido	\$
H	Costo de almacenamiento y mantenimiento	\$
$\bar{d}$	Demanda promedio diaria	unidades
T	Días entre revisión	tiempo
L	Tiempo de entrega	tiempo
z	Numero de desviaciones estándar para la probabilidad	Misma unidad que la variable
σ_{T+L}	Desviación estándar de la demanda durante la revisión y entrega	tiempo
I	Nivel de inventario actual	unidades
λc	Restricción de presupuesto	\$
λf	Restricción de espacio	dimensiones

Tabla 2 Tabla de notaciones y dimensiones

Etapa 2: se hizo una recopilación de datos requeridos para el cálculo de tamaño de lote económico, contemplando los cálculos de EOQ de un solo artículo y de varios artículos con restricciones.

Se llevó a cabo el análisis implementando varios métodos de la literatura en una empresa con solo 2 de sus artículos, estos son unidades de disco en dos presentaciones interna y externa, La información recopilada se muestra en la tabla las cuales fueron su demanda anual, evaluaciones financieras, costo del proceso de órdenes, costo de mantenimiento y almacenamiento, costo por unidad, periodos de revisión, niveles de inventarios actuales, tiempos de entrega, inversión y espacio disponible.

INFORMACIÓN		
DATOS	ARTICULO 1	ARTICULO 2
DEMANDA ANUAL	250	484
EVALUACIÓN FINANCIERA	20%	20%
COSTO DE HACER EL PEDIDO	\$50	\$50
COSTO DE MANTENIMIENTO Y ALMACENAMIENTO	\$10	\$16
COSTO POR UNIDAD	\$50	\$80
PERIODOS DE REVISIÓN	30 DIAS	30 DIAS
TIEMPO DE ENTREGA	12 DIAS	12 DIAS
NIVEL DE INVENTARIO ACTUAL	15 UNIDADES	18 UNIDADES
DESVIACIÓN ESTANDAR (ESTIMADA)	5	
Z (ESTIMADA)	0.20	
RESTRICCIÓN DE INVERSIÓN	\$5000	
RESTRICCIÓN DE ESPACIO	500 UNIDADES	

Tabla 3 Datos importantes recopilados para la información

Etapa 3: Se utilizaron los modelos más comunes de la literatura para encontrar el tamaño económico del lote adecuado y el que genere menores costos de acuerdo a las necesidades de la empresa.

Los modelos para calcular el tamaño de pedido se muestran en la tabla 2 de los cuales se consideraron cuatro, el modelo general de EOQ (cantidad fija), el modelo de periodos fijos con inventarios de seguridad y el modelo de artículo múltiples con una restricción digamos presupuesto y con dos restricciones presupuesto y espacio utilizando multiplicadores de LaGrange. Se optaron por manejar este tipo de modelos por su gran utilidad a lo largo de los años en la industria.

A continuación, se muestran los cálculos realizados:

MODELO DE CANTIDAD FIJA

$$Q_1^{opt} = \sqrt{\frac{2DS}{H}} = \sqrt{\frac{2(250)(50)}{(10)}} = 50 \quad \text{UNIDADES}$$

$$Q_2^{opt} = \sqrt{\frac{2DS}{H}} = \sqrt{\frac{2(484)(50)}{(16)}} = 55 \quad \text{UNIDADES}$$

MODELO DE PERIODOS FIJOS CON INVENTARIOS DE SEGURIDAD

$$\sigma_{T+L} = \sqrt{(T+L)\sigma_d^2} = \sqrt{(30+12)5^2} = 32.40$$

$$q_1 = 1(30+12) + 0.20(32.40) - 15 = 33.48 \approx 33 \quad \text{UNIDADES}$$

$$q_2 = 1(30+12) + 0.20(32.40) - 18 = 30.48 \approx 30 \quad \text{UNIDADES}$$

MODELO CON RESTRICCIÓN DE PRESUPUESTO

Se tiene una restricción de presupuesto de \$5000 por lo tanto se calcula la inversión en inventario, tomando en cuenta los resultados obtenidos en el modelo clásico.

$$(50)(50) + (80)(55) = 6900 > 5000$$

De tal manera que se aplica de ecuación utilizando multiplicadores de LaGrange.

$$Q_1 = \sqrt{\frac{2AD}{H + 2\lambda c}} = \sqrt{\frac{2(50)(250)}{10 + 2(50)\lambda}} = \sqrt{\frac{25000}{10 + 100\lambda}} = \frac{50}{\sqrt{1 + 10\lambda}}$$

$$Q_2 = \sqrt{\frac{2AD}{H + 2\lambda c}} = \sqrt{\frac{2(50)(484)}{16 + 2(80)\lambda}} = \sqrt{\frac{48400}{16 + 160\lambda}} = \frac{55}{\sqrt{1 + 10\lambda}}$$

$$\text{Donde } X = \sqrt{1 + 10\lambda}$$

Entonces:

$$c_1 Q_1 + c_2 Q_2 = 50 \left(\frac{50}{X} \right) + 80 \left(\frac{55}{X} \right) = 5000$$

$$X = \frac{6900}{5000} = 1.38 \quad \lambda = 0.09044$$

$$Q_1 = \frac{50}{\sqrt{1 + 10(0.09044)}} = 36.23 \approx 36 \quad \text{UNIDADES}$$

$$Q_2 = \frac{55}{\sqrt{1 + 10(0.09044)}} = 39.85 \approx 40 \quad \text{UNIDADES}$$

Nuevamente calculando la inversión en el inventario con los nuevos datos de Q obtenemos que:

$$(50)(36) + (80)(40) = 5000 = 5000$$

Por lo tanto, se cumple la restricción y no hay holgura en el recurso

MODELO CON RESTRICCIÓN DE PRESUPUESTO Y ESPACIO

Espacio en almacén para dos tipos de artículos cada unidad requiere del siguiente espacio:

$$Q_1 = 10 \quad Q_2 = 8$$

Se verifica la solución de la restricción de presupuesto para ver si se satisface la restricción de espacio, con los datos obtenidos anteriormente.

$$(10)(36) + (8)(40) = 680 > 500$$

Se viola la restricción de espacio de tal manera que se aplica de ecuación utilizando multiplicadores de LaGrange.

$$Q_1 = \sqrt{\frac{2AD}{H + 2\lambda_2 f}} = \sqrt{\frac{2(50)(250)}{10 + 2(10)\lambda_2}} = \sqrt{\frac{25000}{10 + 20\lambda_2}} = \frac{50}{\sqrt{1 + 2\lambda_2}}$$

$$Q_2 = \sqrt{\frac{2AD}{H + 2\lambda_2 f}} = \sqrt{\frac{2(50)(484)}{16 + 2(8)\lambda_2}} = \sqrt{\frac{48400}{1 + \lambda_2}} = \frac{55}{\sqrt{1 + \lambda_2}} \quad \text{Donde } X = \sqrt{1 + 2\lambda_2} \text{ y } \sqrt{1 + \lambda_2}$$

Entonces:

$$f_1 Q_1 + f_2 Q_2 = 10 \left(\frac{50}{X} \right) + 8 \left(\frac{55}{X} \right) = 500$$

$$X = \frac{6900}{5000} = 1.88 \quad \lambda = 1.90$$

$$Q_1 = \frac{50}{\sqrt{1 + 2(1.90)}} = 22.82 \approx 23 \quad \text{UNIDADES}$$

$$Q_2 = \frac{55}{\sqrt{1 + (1.90)}} = 32.29 \approx 32 \quad \text{UNIDADES}$$

Ahora cumple con las dos restricciones

$$(50)(23) + (80)(32) = 3710 < 5000 \quad / \quad (10)(23) + (8)(32) = 486 < 500$$

Etap 4: En la figura 2 se muestra la comparación y análisis de lo calculado con respecto a tamaño de pedido de cada modelo, para el caso de los modelos Q con restricciones se contempla no violar las restricciones de presupuesto ni de espacio.

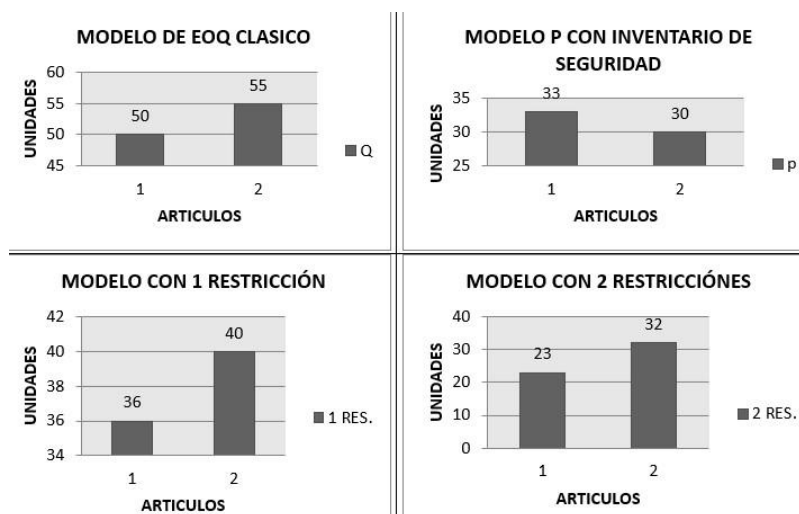


Figura 2 Comparación de diferentes modelos de EOQ.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En relación a los cálculos obtenidos del tamaño de pedido para cada diferente presentación de artículos, se comparan los costos para cada modelo, en la tabla 4 se puede apreciar que entre más grande sea el tamaño de Q más se eleva el costo, la idea es encontrar el modelo de EOQ adecuado para tener un menor costo en el inventario y en el pedido, y se pueda reflejar una disminución en el costo anual, pudiendo atender la demanda diaria, mensual, anual y a su vez las restricciones que se pudieran tener.

MODELO	EOQ	COSTO
MODELO Q	+	+
MODELO P	-	-
1 RESTRICCIÓN	+	-
2 RESTRICCIÓNES	-	-

Tabla 4 Comparativa de EOQ VS Costos.

Se concluye que de los cuatro modelos comparados contemplando tener menores costos y manejar un tamaño de pedido adecuado como se muestra en la tabla 4, el mejor modelo seria, para esta caso de aplicación, el de dos restricciones de presupuesto y espacio, el modelo Q tradicional nos arroja más pedidos y mayores costos, el modelo P de acuerdo a sus periodos de revisión se hacen menos pedidos que el anterior y menos costos, el de la restricción de presupuesto sus pedidos siguen siendo altos debido a que si se restringe el presupuesto se hacen pedidos más seguidos, y el de dos restricciones son menos pedidos que se hacen por el espacio y por la restricción de presupuesto se acoplan los pedidos considerando siempre cumplir con la demanda.

Los modelos clásicos, para este caso de aplicación, nos generan demasiados costos por tener inventario en proceso o quedarnos con inexistencias en almacén, pudieran ser de lo más ideal trabajar con ellos por el hecho que siempre nos van a atender la demanda requerida, pero pueden generar un exceso de inventario en el almacén, ya sea para los modelos de pedidos fijos o de periodos fijos, de tal manera la hipótesis se rechaza ya que es más caro realizar ordenes de pedido de compra por separado que en forma grupal con restricciones.

CITAS DE TEXTO

Buffa, E. S. (1982). Administración Y dirección Técnica de la Producción. Mexico D.F.: Limusa.

Chapman, S. N. (2006). Planeación y Control de la Producción. México: Pearson.

Chase, R. B., Jacobs, F. R., & Aquilano, N. J. (2009). Administración de Operaciones Producción Y Cadena De Suministros. MÉXICO: McGRAW-HILL.

Heizer, J., & Render, B. (2009). Principios de Administración de Operaciones. Estado de México: Pearson.

Hillier, F. S., & Lieberman, G. J. (2004). Investigación de Operaciones. Mexico D.F.: Mc Graw-Hill Interoamericana Editores.

Lanone, R., Miranda, S., & Riemma, S. (2012). Multi-Elemento EOQ cálculo en presencia de restricciones de almacén: un análisis de simulación. Conferencia internacional de 2012 en Ingeniería Industrial Y Gestión de Operaciones, 10.

Montgomery, D. C., & Runger, G. C. (2003). Probabilidad y Estadística Aplicada a la Ingeniería. United States of America: John Wiley and sons.

Sipper, D., & Bulfin, R. L. (1998). Planeación Y Control de la Producción. Mexico D.F.: McGraw-Hill.

Taha, H. A. (2004). Investigación de Operaciones. México, D.F.: AlfaOmega Grupo Editor S.A.

Thierauf, R. J., & Grosse, R. A. (1983). Toma de Decisiones por Medio de Investigación de Operaciones. México: Limusa.

Tratamiento de aguas residuales utilizando *Colocasia esculenta* y *Xanthosoma sagittifolium*

DOI: 10.60968/iaet.3594-035X.868

Luis Enrique Comparán-Sánchez¹, Gaspar López-Ocaña², Carlos Alberto Torres-Balcázar³, Hedilberto Palma Landero⁴, and Olivia Maygualida Rodríguez Angulo⁵

¹ Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, DACBiol, e-mail: l.comparan@vertab.com.mx

² Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, DACBiol, e-mail: ocanagl77@hotmail.com

³ Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, DACBiol, e-mail: ing_carlos_torres@msn.com

⁴ Tecnológico Nacional de México Campus Villahermosa. hedilberto.pl@villahermosa.tecnm.mx

⁵ Tecnológico Nacional de México Campus Villahermosa. olvia.ra@villahermosa.tecnm.mx

Línea de investigación: Tecnología del agua.

RESUMEN

Los humedales artificiales son sistemas de ingeniería para tratar aguas residuales. En los últimos años se ha demostrado el alto potencial de los humedales artificiales para tratar aguas residuales, convirtiéndolos en una alternativa óptima ante otros sistemas convencionales. En el presente estudio se evaluaron humedales artificiales de flujo subsuperficial (HAFS) con vegetación *Colocasia esculenta* (HAFS-C) y *Xanthosoma sagittifolium* (HAFS-X), en la remoción de contaminantes básicos de aguas residuales domésticas. También se evaluó un humedal artificial control (sin plantas) (HAFS-G). El tiempo de retención hidráulico para todos los tratamientos fue de 4,2 días con un gasto de operación de 200 L/d. Se emplearon análisis estadísticos paramétricos y no paramétricos para determinar diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos evaluados. Las mayores eficiencias de remoción de contaminantes del agua residual se encontraron en el humedal artificial con *C. esculenta* (94,54% de DBO₅, 94,82% de SST, 94,82% de turbiedad y 87,36% de color); seguido del humedal artificial con *X. sagittifolium* (89,50 % de DBO₅, 90,05% de SST, 90,05% de turbiedad y 83,35% de color). El humedal artificial control (HAFS-G) alcanzó la menor eficiencia de remoción (84,81 % de DBO₅, 85,12% de SST, 85,12% de turbiedad y 75,73% de color). Con base a estos resultados, se comprobó que la vegetación aplicada tiene un alto potencial como plantas fitorremediadoras de aguas residuales.

Palabras clave: Humedales artificiales, Agua residual, *Colocasia esculenta*, *Xanthosoma sagittifolium*.

ABSTRACT

Constructed wetlands (CW) are engineering systems to treat wastewater. In recent years, the high potential of CW to treat wastewater has been demonstrated, making them an optimal alternative to other conventional systems. In the present study, a subsurface-flow constructed wetlands system (SFCW) was evaluated with vegetation *Colocasia esculenta* (SFCW-C) and *Xanthosoma sagittifolium* (SFCW-X) for the removal of basic pollutants in domestic wastewater. A control CW (unplanted) was also evaluated (SFCW-G). The hydraulic retention time for all treatments was 4.2 days with an operating flow of 200 L/d. Parametric and non-parametric statistical analyzes were used to determine statistically significant differences between the evaluated treatments. The highest removal efficiencies were found to be with *C. esculenta* (94,54% BOD₅, 94,82% TSS, 94,82% turbidity, 87,36% of color), followed by the *X. sagittifolium* (89,50% BOD₅, 90,05% TSS, 90,05% turbidity and 83,35% color). The control CW (SFCW-G) was observed to achieve the lowest removal efficiency (84,81% BOD₅, 85,12% of TSS, 85,12% of turbidity and 75,73% of color). Based on the current results, it was shown that the applied vegetation has a high potential as phytoremediation plants for wastewater.

Keywords: Constructed wetland, Wastewater, *Colocasia esculenta*, *Xanthosoma sagittifolium*.

INTRODUCCIÓN

El agua es uno de los principales recursos naturales más importante para el humano. Hoy en día, la escasez de agua está planteando algunas cuestiones importantes relacionadas con la obligación de minimizar el consumo y salvaguardar los cursos de agua natural (Amaral et al., 2016). El uso global del agua se ha multiplicado por seis en los últimos 100 años (Wada et al., 2016). La demanda mundial de agua contemporánea se ha estimado en alrededor de 4 600 km³/año y se prevé que aumente entre un 20% y un 30%, es decir, entre 5 500 y 6 000 Km³/año para el 2050 (Burek et al., 2016).

La disponibilidad de agua de buena calidad es una razón muy importante para preservar la salud humana, debido al gran número de enfermedades causadas por la contaminación de las aguas naturales que en el pasado afectaron severamente a la población (Rivera, 2015). Como en la mayor parte del mundo, los efluentes de aguas residuales generados por diversas actividades, se descargan la mayor parte del tiempo en los mares, ríos y otros cuerpos de agua sin tratamiento alguno debido a los altos costos que se requieren en el proceso de tratamiento (Gökalp et al., 2016). Se estima que el 80% del total de las aguas residuales industriales y municipales generadas, se libera al medio ambiente sin ningún tratamiento previo (WWAP, 2018).

Ante esta problemática, a lo largo de los años se han implementado diversos tipos de tecnologías para tratamiento de aguas residuales, sin embargo, estas tecnologías, como los procesos de lodos activados y los biorreactores de membrana son bastante caras y no del todo factibles para aplicación en zonas rurales (Wu et al., 2015). Desde hace décadas, el tratamiento de aguas residuales a través de tecnologías de poco consumo de energía y demandas técnicas se ha requerido en muchos países del mundo (Barco y Borin, 2017).

Los sistemas de tratamiento conocidos como no convencionales o tecnologías blandas, son una alternativa para la depuración de las aguas residuales en comunidades pequeñas o rurales, debido a su bajo costo de operación y poco requerimiento energético (Larriva y González, 2017). De estos sistemas destacan los humedales artificiales (HA), al ser una tecnología sustentable se convierten en una alternativa que no requiere energía eléctrica ni reactivos químicos (Adrados et al., 2014). Son sistemas de tratamiento que constan de tres elementos principalmente: vegetación macrófita, un medio de soporte (grava o arena) y una alta densidad poblacional microbiana, los cuales propician procesos físicos, químicos y biológicos, por los que el agua residual es tratada (Xie et al., 2018).

Además, los humedales artificiales son de bajo costo, fácil operación y mantenimiento, por lo que su nivel de eficiencia es mayor comparada con los sistemas de tratamiento convencionales (Ilyas y Masih, 2017). La remoción de los contaminantes presentes en el agua residual en los HA depende en gran medida del tipo de medio filtrante utilizado, las tasas de carga, los tiempos de retención hidráulicos, diseño del sistema, macrófitas, entre otros (Rai et al., 2013).

La literatura sobre el estudio de humedales artificiales es vasta, pero la mayoría de estos tienden a dar mayor importancia a aspectos de diseño e ingeniería de un sistema de humedales artificiales quedando fuera para las especies de plantas que se pueden implementar (Leto et al., 2013). En los últimos años se han estudiado un gran número de plantas en los humedales artificiales, entre las especies más comúnmente utilizadas se encuentran: *Typha ssp*, *Phragmites australis* (Dantas et al., 2018), *Schoenoplectus* (López et al., 2016), *Cyperus difformis* y *Dracaena sanderiana* (Saeed et al., 2014). Algunas de estas especies han sido utilizadas eficazmente en el tratamiento de lixiviados (Carreño, 2018) y aguas contaminadas con fármacos (Cervantes et al., 2017).

Díaz y Romero (2013), en la Escuela Colombiana de Ingeniería de la ciudad de Bogotá, evaluaron un humedal artificial de flujo subsuperficial horizontal escala piloto, con vegetación macrófita de tipo ornamental *Zantedeschia aethiopica*. El humedal se operó bajo condiciones de intemperie, la alimentación del sistema se realizó con un agua residual sintética de caracterización doméstica. El humedal trató un caudal promedio de 96 L/d, con un tiempo de retención hidráulica de 4 días, obteniendo eficiencias de remoción promedio para DBO₅ del 52%, para DQO del 70% y para turbiedad y SST superiores al 85%.

En otra investigación, Bedoya et al., 2014, evaluaron humedales artificiales de flujo subsuperficial plantados con *Typha latifolia* y *Cyperus papyrus*, para tratar aguas residuales generadas en la Institución Universitaria Colegio Mayor de Antioquia, Colombia. El caudal de operación fue de 15 L/h con un tiempo de retención de nueve días. Obtuvieron eficiencias de remoción para DBO₅ con *Typha latifolia* del 83,2%, 95,5% para SST, 90,9% para color y 84,5% para turbiedad; en su tratamiento con *Cyperus papyrus* obtuvieron eficiencias de remoción para DBO₅ del 82,9%, 40,3% para SST, 92,28% para color y 87,27% para turbiedad.

En Langenreichenbach, Alemania, Nivala et al., 2019, evaluaron la eficacia de tratamiento de humedales artificiales a escala piloto con flujo subsuperficial con vegetación *P. australis*. para tratar aguas residuales domésticas, después de un año de operación de los sistemas obtuvieron eficiencias de remoción del 73-83% de DBO₅, 93-95% de SST, 17-41% de NT y 0-27% de NH₄.

En Tabasco, García et al., 2019, evaluaron humedales artificiales para tratar aguas residuales sanitarias provenientes de una institución universitaria. Se utilizó como vegetación la especie *Sagittaria latifolia* y como medio de soporte grava de canto redondo (HACC) y grava de brecha sedimentaria (HABC). El caudal de influente fue de 160 L/d con tiempos de retención de 4,8 y 4,9 días. En su mejor tratamiento (HACC) alcanzaron eficiencias de remoción para SST del 96,5% y 96,78% para DBO₅; en su tratamiento HABC, obtuvieron eficiencias para SST del 95,52% y 95,02% para DBO₅.

DESARROLLO

OBJETIVO GENERAL Y OBJETIVOS ESPECÍFICOS

El objetivo de esta investigación fue evaluar humedales artificiales de flujo subsuperficial con *Colocasia esculenta* (malanga) y *Xanthosoma sagittifolium* (macal) en la remoción de DBO₅, SST, color, turbiedad, temperatura y pH. Así mismo se realizó un modelado de distribución espacial de los parámetros turbiedad y color dentro de cada humedal artificial. Con los resultados de esta investigación se busca enriquecer el conocimiento de plantas aptas de la región para utilizar en sistemas de humedales artificiales de flujo subsuperficial.

METODOLOGÍA

Características de los humedales artificiales

Para esta investigación se utilizaron 12 humedales artificiales de flujo subsuperficial escala piloto, estas unidades de tratamiento pertenecen a la División Académica de Ciencias Biológicas (DACBiología-UJAT), ubicada en la carretera Villahermosa - Cárdenas Km. 0.5 S/N Entronque a Bosques de Saloya, Tabasco, México (N 17° 59' 24.53" O 92° 58' 20.98"). Los humedales artificiales fueron diseñados y construidos por López et al., 2014, con dimensiones de 2,5 m de largo x 1,2 m de ancho y 1 m de altura, con capacidad de tratamiento de 200 L/d operando con un tiempo de retención hidráulico (TRH) de 4,2 días. El medio de soporte utilizado fue grava de río con diámetro de 3/4 de pulgada, porosidad de $48,12 \pm 4,57$, profundidad de 50 cm y ocupó un volumen de 0,78 m³, permitiendo un volumen de agua residual de 0,72 m³.

El agua residual utilizada provenía de un cárcamo receptor de aguas sanitarias de la DACBiología. La alimentación de agua residual a los humedales artificiales se realizó desde 6 tanques de control con capacidad de 200 litros, estos fueron instalados a una altura de 1,05 m sobre una placa de concreto, lo que permitió que el flujo de agua residual a los humedales artificiales se realizara continuamente por gravedad a través de tuberías de PVC de una pulgada de diámetro. El afluente de cada humedal se colocó a 0,1 m de profundidad y constó de seis tuberías interconectadas de PVC de una pulgada de diámetro para lograr una distribución homogénea. El agua tratada (efluente) se recogía a través de seis tuberías interconectadas de PVC de una pulgada de diámetro y fueron instaladas en el fondo de cada humedal.

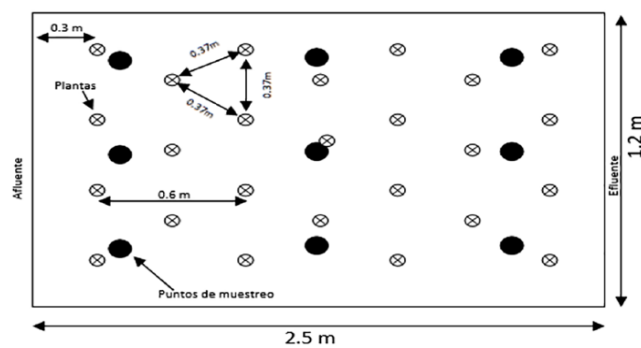
FASES DEL DESARROLLO

Siembra de vegetación en HA

Cada vegetación fue sembrada en cuatro humedales artificiales de flujo subsuperficial obteniendo la siguiente distribución: cuatro humedales artificiales con *Colocasia esculenta* (HAFS-C), cuatro humedales artificiales con *Xanthosoma sagittifolium* (HAFS-X) y cuatro humedales controles (HAFS-G). La distribución de la vegetación (Figura 1) se realizó en un arreglo de “tres bolillos”, con el cual se calculó una densidad poblacional de 25 plantas en cada humedal artificial, fueron sembradas a una profundidad de 15 cm.

Figura 1.

Esquema de siembra de plantas en humedales artificiales escala piloto.



Fuente: Autores.

Operación del sistema y muestreo

El tiempo de evaluación de los humedales artificiales fue de seis meses (mayo – octubre 2017). Los análisis para evaluar la calidad del agua residual y residual tratada se realizaron por cuatro semanas de lunes a viernes en el último mes de operación. La calidad de las aguas se evaluó en base a los parámetros: DBO₅, SST, color, turbiedad, temperatura y pH. Las muestras de agua fueron tomadas del afluente y efluente de cada humedal artificial a las 12:00 horas. Las muestras de los parámetros DBO₅ y SST se tomaron únicamente los lunes, miércoles y viernes, dentro del periodo de monitoreo establecido.

Las muestras para la modelación de la distribución espacial de los parámetros turbiedad y color se tomaron con un muestreador bailer en cada uno de los 9 puntos de muestreo internos de cada humedal artificial (Figura 1) de lunes a viernes a las 13:00 horas dentro del periodo establecido. Las muestras de grava para la determinación de biomasa microbiana adherida al medio se tomaron en la parte inicial, media y final de cada humedal artificial a una profundidad de 25 cm, después del periodo de muestreo establecido. Cada muestra tuvo un volumen de grava de 1 L.

Métodos de análisis

Para la determinación de los parámetros del agua se utilizaron 4 equipos de análisis, la turbiedad (SM 2130B) se determinó con un turbidímetro Hanna HI98703 con precisión de 0,01 NTU, el color (SM 2120B) fue medido con el equipo LaMotteMR TC-3000. La temperatura (SM 2550), los SDT (SM 2540), C.E. (SM 2510B) y pH (SM 9040 B) fueron medidos con el equipo Hanna Combo HI98129. La determinación de los parámetros DBO₅ y SST se realizó conforme a la metodología por la NMX-AA-028-SCFI-2001 y NMX-034-SCFI-2015. La determinación de la biomasa adherida al medio se realizó por métodos gravimétricos, para lo cual se adaptó el método de STV marcado por la NMX-AA-034-SCFI-2001 para una muestra de roca.

Eficiencia de remoción y modelado de distribución espacial

La eficiencia de remoción se calculó para los parámetros: DBO₅, SST, color, turbiedad, temperatura y pH, de acuerdo a la Ecuación 1 (Palta y Morales, 2013).

$$efic. rem (\%) = \frac{c_e - c_s}{c_e} \times 100 \quad (1)$$

Donde:

C_e = Concentración de entrada (afluente)

C_s = Concentración de salida (efluente)

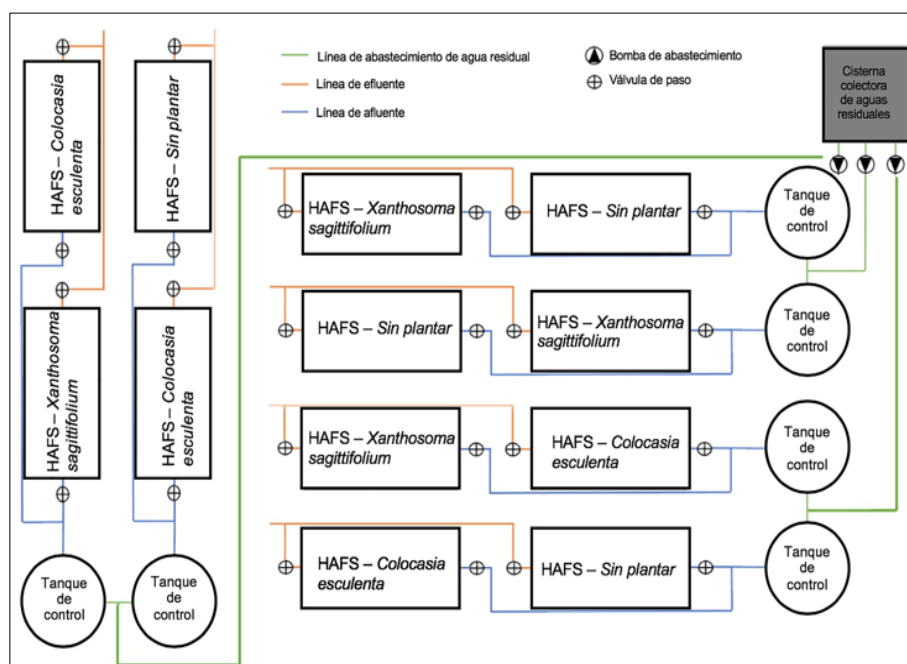
El modelado de la distribución espacial se realizó sobre los parámetros de control: turbiedad, color, pH, CE, SDT y temperatura, utilizando el programa Golden Surfer® en su versión V12, con el cual se obtuvieron mapas de isocontornos de la medida de los parámetros mencionados dentro de cada humedal artificial.

Diseño experimental y análisis estadístico

Se empleó un diseño aleatorio de un factor (tratamiento) con tres niveles (HAFS-C, HAFS-X y HAFS-G), cada tratamiento se corrió por triplicado (Figura 2) durante un año de operación. Para determinar diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos evaluados, se realizó un análisis estadístico ANOVA para datos paramétricos y un análisis de varianza de Kruskal – Wallis para datos no paramétricos, así mismo la prueba múltiple de medias de Tukey y un contraste de medianas para muestras independientes U de Mann – Witney para las variables de interés.

Figure 2

Diagrama de distribución de unidades experimentales.



Fuente: Autores.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las características del agua residual cruda (afluente) se muestran en la Tabla 1.

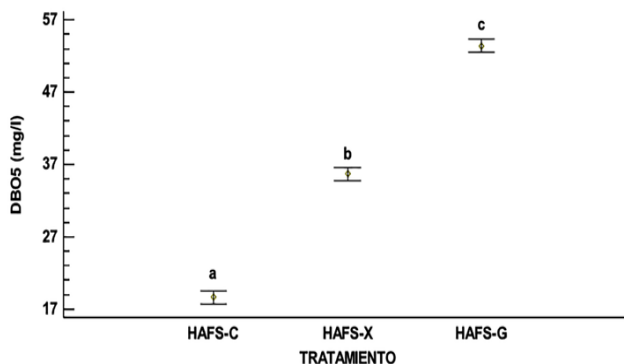
Tabla 1
Características del agua residual cruda (afluente).

Parámetro	Valor	Desviación estándar
Potencial de Hidrógeno	8,15	0,21
Temperatura (°C)	27,94	0,82
CE (μS/cm)	1 420,6	75,35
SDT (mg/L)	703	56,67
Turbiedad (UNT)	116,58	40,52
Color	1 329	343,56
SST (mg/L)	314,77	19,40
DBO ₅ (mg/L)	358,84	15,8

Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅)

Los resultados del análisis estadístico ANOVA, para la variable DBO₅, indica que existen diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$) entre los tratamientos evaluados. Los valores medios más bajos se encontraron en el tratamiento HAFS-C ($19,58 \pm 4,67$), seguido del HAFS-X ($37,69 \pm 2,96$), el valor medio más alto se encontró en el tratamiento HAFS-G ($54,50 \pm 1,72$). La prueba de contrastes múltiples de Tukey muestra diferencias estadísticamente significativas entre los diferentes tratamientos ($p < 0,05$) con un 95% de confianza (Figura 3).

Figura 3
Valores medios ($\pm$ DS) de DBO₅. Letras diferentes indican diferencias ($p < 0,05$) con un nivel de confianza del 95%.



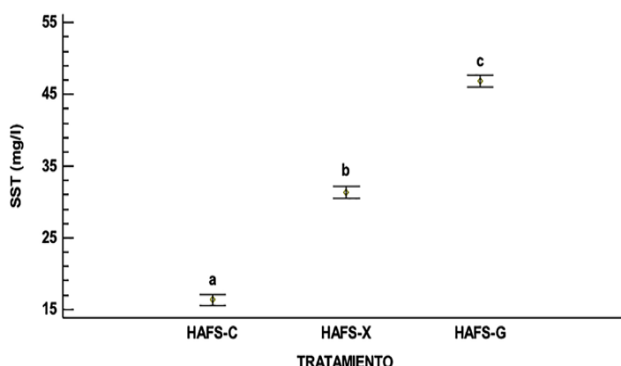
El tratamiento HAFS-C presentó la mayor eficiencia de remoción para DBO₅ con un porcentaje del 94,54%, el HAFS-X con 89,49% y el HAFS-G con 84,81%. Panrare et al. (2015) obtuvieron eficiencias de remoción de DBO₅ del 73,4% utilizando un humedal artificial de flujo subsuperficial plantado con *Canna indica* L. y tiempo de retención hidráulica de 4 días, así mismo en su humedal artificial control (sin plantar) obtuvieron eficiencias de remoción de DBO₅ del 35%. En otra investigación, Sepúlveda et al. (2017), reporta eficiencias de remoción de DBO₅ del 61,1% y 63,1% en humedales artificiales con *P. australis* y *S. californicus* respectivamente. Nivala et al. (2019) evaluaron eficiencias de remoción en humedales artificiales pilotos plantados con *P. australis*, tratando aguas residuales domésticas, obtuvieron eficiencias del 82,5% de DBO₅ en promedio.

Las eficiencias de remoción de DBO₅ alcanzadas en esta investigación son mayores en contraste con las alcanzadas por autores mencionados. Estas altas eficiencias obtenidas están influenciadas por las condiciones climáticas de Tabasco. Para el caso de Europa, el tiempo de estabilización de los humedales artificiales puede llegar a ser hasta de tres años debido a las condiciones climáticas prevalecientes (Martín et al., 2013), mientras que, para aquellas zonas situadas en el trópico, este periodo de adaptación es poco más de un año (Luna y Aburto, 2014). La concentración de DBO₅ en el tratamiento HAFS-C fue de 19,58 mg/L, la cual se encuentra por debajo del límite máximo permisible marcado por la NOM-001-SEMARNAT-1996, que establece una concentración máxima de 30 mg/L de DBO₅ en descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales para la protección de la vida acuática.

Sólidos Suspendidos Totales (SST)

Los resultados del análisis estadístico ANOVA, para la variable SST, indica que existen diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$) entre los tratamientos evaluados. Los valores medios más bajos se encontraron en el tratamiento HAFS-C ($16,30 \pm 4,10$), seguido del HAFS-X ($31,30 \pm 2,59$), el valor medio más alto se encontró en el tratamiento HAFS-G ($46,85 \pm 1,51$). La prueba de contrastes múltiples de Tukey muestra diferencias estadísticamente significativas entre los diferentes tratamientos ($p < 0,05$) con un 95% de confianza (Figura 4).

Figura 4
Valores medios ($\pm$ DS) de SST. Letras diferentes indican diferencias ($p < 0,05$) con un nivel de confianza del 95%.



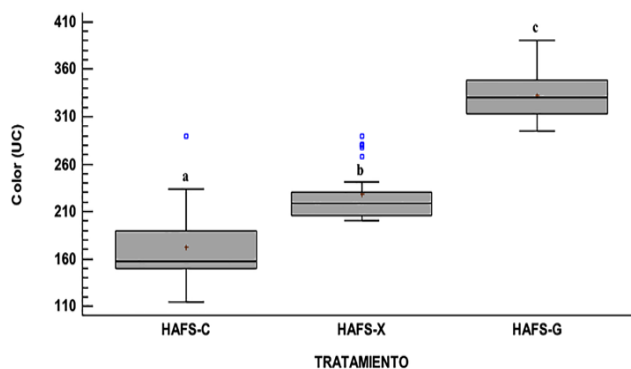
El tratamiento HAFS-C presentó la mayor eficiencia de remoción para SST con un porcentaje del 94,82%, el HAFS-X con 90,05% y el HAFS-G con 85,11%. Bedoya et al. (2014) reportan eficiencias de remoción de SST del 95,5% en un humedal artificial subsuperficial plantado con *T. latifolia* y del 40,3% con *C. papyrus*, tratando aguas residuales domésticas con un TRH de 9 días. Panrare et al. (2015) reportan eficiencias de remoción de SST del 81,5% en un humedal artificial con *Canna indica* L. y del 53,2% en un humedal artificial sin plantar. Rodríguez y Brisson, (2015) evaluaron humedales artificiales con vegetación *P. australis* nativa del Norte de América y *P. australis* de Europa para tratar aguas residuales domésticas, en ambos tratamientos alcanzaron eficiencias de remoción del 94% y 95% respectivamente. Las eficiencias alcanzadas en esta investigación son mayores en contraste con las reportadas por Bedoya et al. (2014) y Panrare et al. (2015) y muy similares a las reportadas por Rodríguez y Brisson (2015). La concentración de SST en el tratamiento HAFS-C y HAFS-X fue de 16,3 mg/L y 31,3 mg/L respectivamente, estos valores se encuentran por debajo del límite máximo permisible marcado por la NOM-001-SEMARNAT-1996, que establece una concentración máxima de 40 mg/L de SST para la protección de la vida acuática en aguas y bienes nacionales que reciban descargas de aguas residuales.

Color

El análisis de Kruskal-Wallis para la variable color, indica que existen diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.0001$) entre los tratamientos evaluados. Los valores medianos más bajos se encontraron en el tratamiento HAFS-C ($158 \pm Q_1$ inferior 150 Q_3 superior 190), seguido del HAFS-X ($219 \pm Q_1$ inferior 206 Q_3 superior 230), el valor mediano más alto se encontró en el tratamiento HAFS-G ($330 \pm Q_1$ inferior 313 Q_3 superior 349). La prueba para muestras independientes U Mann – Witney muestra diferencias estadísticas significativas ($p < 0,05$) entre las medianas de los tratamientos con un 95% de confianza (Figura 5).

Figura 5

Valores medianos ($\pm Q_1$, $\pm Q_3$) de color. Letras diferentes indican diferencias ($p < 0,05$) con un nivel de confianza del 95%.



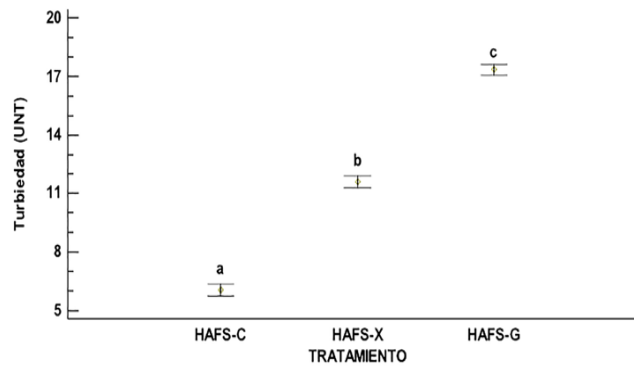
El tratamiento HAFS-C presentó la mayor eficiencia de remoción para color con un porcentaje del 88,11%, el HAFS-X con 83,52% y el HAFS-G con 75,16%. Marín et al. (2016) implementaron humedales artificiales de flujo subsuperficial escala piloto con *P. cordata* y *P. australis* para tratar aguas residuales domésticas, alcanzaron eficiencias de remoción de color del 81,5% con *P. cordata* y 73,3% con *P. australis*, manejando 7 días de TRH y 200 L/d de caudal de afluente. García et al. (2019) evaluaron humedales artificiales de flujo subsuperficial con *Sagittaria latifolia* y como medio de soporte grava de canto redondo (HACC) y grava de brecha sedimentaria (HABC). En su mejor tratamiento (HABC) obtuvieron eficiencias de remoción de color del 88,91% y del 87,32% en su tratamiento HACC. Utilizaron TRH de 4,8 y 4,9 días a un caudal de operación de 160 L/d. Las eficiencias de remoción alcanzadas en esta investigación son similares a las reportadas por Marín et al. (2016) y García et al. (2019).

Turbiedad

Los resultados del análisis estadístico ANOVA, para la variable turbiedad, indica que existen diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$) entre los tratamientos evaluados. Los valores medios más bajos se encontraron en el tratamiento HAFS-C ($6,03 \pm 1,51$), seguido del HAFS-X ($11,59 \pm 0,96$), el valor medio más alto se encontró en el tratamiento HAFS-G ($17,35 \pm 0,56$). La prueba de contrastes múltiples de Tukey muestra diferencias estadísticamente significativas entre los diferentes tratamientos ($p < 0,05$) con un 95% de confianza (Figura 6).

Figura 6

Valores medios ($\pm$ DS) de turbiedad. Letras diferentes indican diferencias ($p < 0,05$) con un nivel de confianza del 95%.



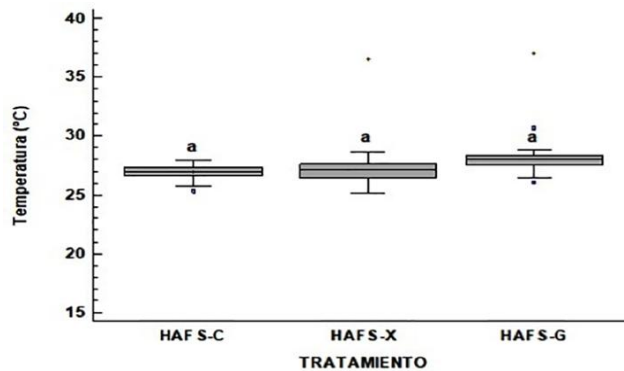
El tratamiento HAFS-C presentó la mayor eficiencia de remoción para turbiedad con un porcentaje del 94,8%, el HAFS-X con 90% y el HAFS-G con 85,1%. Casierra et al. (2016) evaluaron un sistema integrado por un humedal artificial subsuperficial seguido de un tratamiento terciario de fotólisis para tratar aguas residuales domésticas, el humedal artificial fue plantado con *C. ligularis*, empleando un caudal de operación de 42 L/d y TRH de 3 días. Obtuvieron eficiencias de remoción de turbiedad a la salida del humedal del 66,22%. López et al. (2018), reportan eficiencias de remoción de turbiedad del 87% en humedales artificiales subsuperficiales con *T. geniculata*, con mismo caudal de operación y mismo TRH. Las eficiencias de remoción alcanzadas en esta investigación son mayores a las reportadas por Casierra et al. (2016) y López et al. (2018).

Temperatura

El análisis de Kruskal-Wallis para la variable temperatura, indica que no existen diferencias estadísticamente significativas ($p > 0,05$) entre los tratamientos evaluados, con un nivel de confianza del 95% (Figura 7). Los valores medianos más bajos se encontraron en el tratamiento HAFS-C ($27 \pm Q_1$ inferior 26,8 Q_3 superior 27,5), seguido del HAFS-X ($27,3 \pm Q_1$ inferior 27 Q_3 superior 27,9), el valor mediano más alto se encontró en el tratamiento HAFS-G ($28 \pm Q_1$ inferior 27,5 Q_3 superior 28,1).

Figura 7

Valores medianos ($\pm Q_1, Q_3$) de temperatura. Letras diferentes indican diferencias ($p < 0,05$) con un nivel de confianza del 95%.



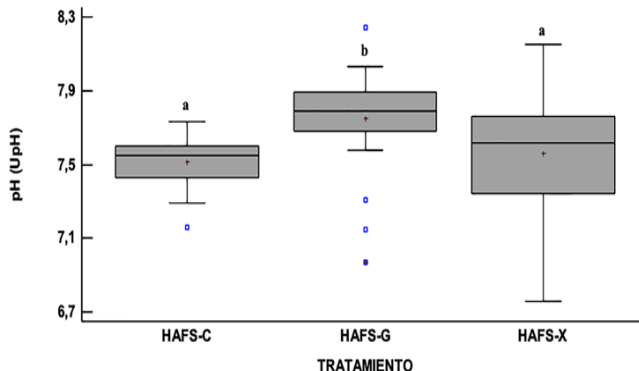
En la Figura 7, se observa que en ambos tratamientos con vegetación hay una mayor disminución de la temperatura del agua (27,9 °C a 27 °C), esto debido principalmente a que la cubierta vegetal en los humedales actúa como barrera protectora ante los rayos del sol, lo cual ayuda a regular y mantener una temperatura media más fresca. Esta reducción también es observada en los resultados de Caselles et al. (2017), quienes evaluaron humedales artificiales subsuperficiales con *C. articulatus* L. en los cuales existe una reducción en la temperatura del agua residual de 27,3 °C a 26,1 °C. Los valores de temperatura obtenidos en esta investigación se encuentran dentro del límite máximo permisible marcado por la NOM-001-SEMARNAT-2021 que establece un valor máximo de 40 °C, en descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales.

Potencial de Hidrógeno (pH)

El análisis de Kruskal-Wallis para la variable pH, indica que existen diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,0003$) entre los tratamientos evaluados. Los valores medianos más bajos se encontraron en el tratamiento HAFS-C ($7,55 \pm Q_1$ inferior 7,43 Q_3 superior 7,6) y en el HAFS-X ($7,62 \pm Q_1$ inferior 7,34 Q_3 superior 7,76), el valor mediano más alto se encontró en el tratamiento HAFS-G ($7,79 \pm Q_1$ inferior 7,68 Q_3 superior 7,89). La prueba para muestras independientes U Mann – Witney muestra que existen diferencias estadísticas significativas ($p < 0,0004$) entre las medianas de los tratamientos con un 95% de confianza (Figura 8).

Figura 8

Valores medianos ($\pm Q_1, 3$) de pH. Letras diferentes indican diferencias ($p < 0,05$) con un nivel de confianza del 95%.



La disminución del pH en los humedales artificiales se debe principalmente a la presencia de la materia orgánica procedente de la descomposición que se realiza en el sistema, la cual proporciona una acidificación natural. El sistema responde a la entrada de sustancias con pH básico tamponando el agua del humedal (Kadlec y Wallace, 2009). Laaffat et al. (2015) reportaron una disminución en el pH del agua residual tratada por sus humedales artificiales de flujo subsuperficial con vegetación *T. latifolia*, dicha disminución fue 7,92 a 7,32 unidades. Los valores de los efluentes y eficiencias de remoción alcanzadas por todos los tratamientos evaluados en esta investigación se muestran en la Tabla 2. El tratamiento con *C. esculenta* obtuvo las mayores eficiencias de remoción en todas las variables evaluadas, con eficiencias mayores al 90%; el tratamiento con *X. sagittifolium* obtuvo eficiencias cercanas al mejor tratamiento, con eficiencias entre el 85% y el 90%. El tratamiento control (HAFS-G) alcanza eficiencias también por arriba del 80%, debido a que gran parte de la degradación de la materia orgánica y asimilación de nutrientes es realizada por la biopelícula microbiana que se desarrolla sobre la superficie del medio de soporte.

Tabla 2

Valores de efluente y eficiencias de remoción obtenidas en cada tratamiento evaluado.

Parámetro	Tratamiento	Valor de efluente	% de remoción
pH	HAFS-C	7,55	13,24
	HAFS-X	7,62	6,16
	HAFS-G	7,79	4,06
Temperatura (°C)	HAFS-C	27	3,9
	HAFS-X	27,3	2,8
	HAFS-G	27,5	2,1
DBO ₅ (mg/l)	HAFS-C	19,58	94,54
	HAFS-X	37,69	89,50
	HAFS-G	54,50	84,81
SST (mg/l)	HAFS-C	16,30	94,82
	HAFS-X	31,30	90,05
	HAFS-G	46,85	85,12
Turbiedad (UNT)	HAFS-C	6,03	94,82
	HAFS-X	11,59	90,05
	HAFS-G	17,35	85,12
Color (UC)	HAFS-C	158	87,36
	HAFS-X	219	83,35
	HAFS-G	330	75,73

Distribución espacial del color y turbiedad

Los resultados de los parámetros analizadas de los diferentes puntos de muestreo internos muestran que existe una disminución progresiva hacia el efluente en todos los tratamientos evaluados. Particularmente, el HAFS-C presenta una tendencia de disminución del color aparente a las 120 unidades; el HAFS-X presenta una tendencia menos marcada a las 225 unidades y el HAFS-G (control) a las 350 unidades.

En cuanto a la turbiedad, en los gráficos de los tratamientos con vegetación se observa también una tendencia de disminución parcialmente homogénea hacia el efluente, esta tendencia se observa en el HAFS-C hacia las 6 UNT, en el HAFS-X hacia las 14 UNT y en el HAFS-G hacia las 15 UNT. López et al, (2018) modelaron la distribución espacial de la turbiedad en un humedal artificial de flujo subsuperficial plantado con *T. geniculata*, tratando agua residual sanitaria proveniente de una universidad, operando a un mismo caudal y TRH similar al de esta investigación. Sus gráficos demostraron que existía una disminución progresiva hacia el efluente, de 145 UNT a 15 UNT, similares a las de esta investigación en los tratamientos con vegetación.

Se observa que en todos los tratamientos evaluados hay diferencias espaciales de color y turbiedad en la zona inicial (eje Y: 0.2 m), esto debido a tres factores principales: 1) que existieran preferencias de flujos de agua, 2) que los tubos de distribución del afluente se taparan tiempo después de iniciar la prueba, 3) que la densidad de raíces de las plantas influenciara en la dirección de los flujos de agua. Particularmente, se observa que en el HAFS-G no existe una tendencia de disminución tan marcada como en los demás tratamientos, en cambio, se muestran lecturas dispersas en diferentes zonas del humedal y puntos muertos en los que el agua permanecía estancada (eje Y: 0.4 m, Figura 10c). Con estos modelos gráficos de distribución espacial también se pueden determinar zonas muertas o de asolvamiento en diferentes periodos de tiempos, pudiendo determinar cuándo será necesario realizar trabajos de mantenimientos: limpieza o cambio del medio de soporte.

Figura 9

Distribución espacial del color aparente del agua en los tratamientos evaluados. De izquierda a derecha: a) HAFS-C; b) HAFS-X; c) HAFS-G.

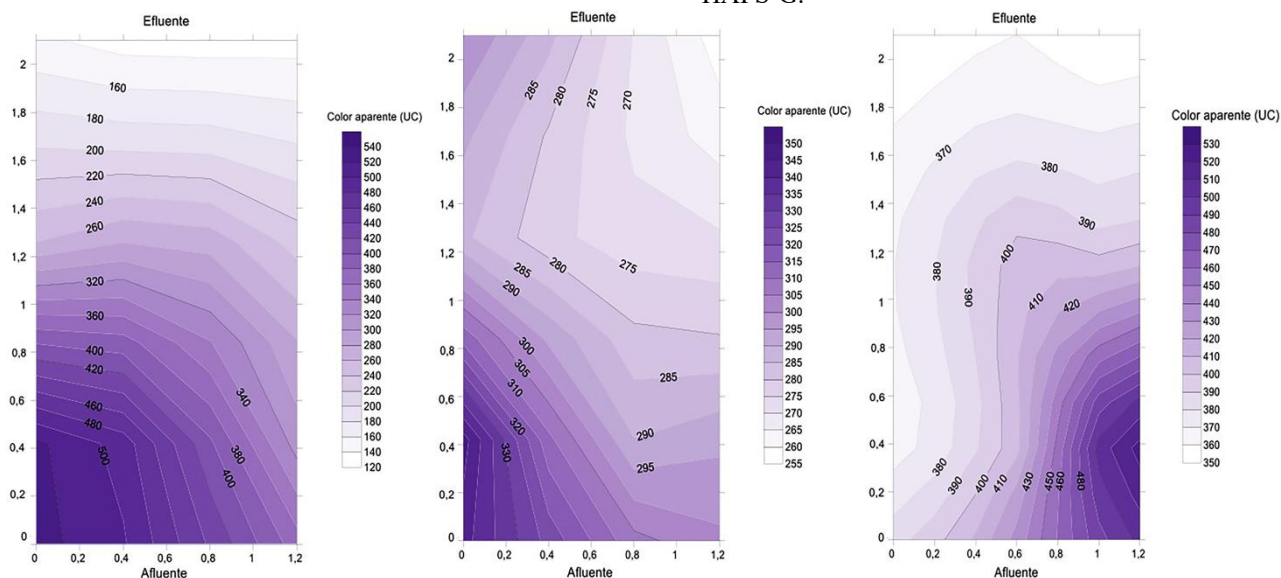
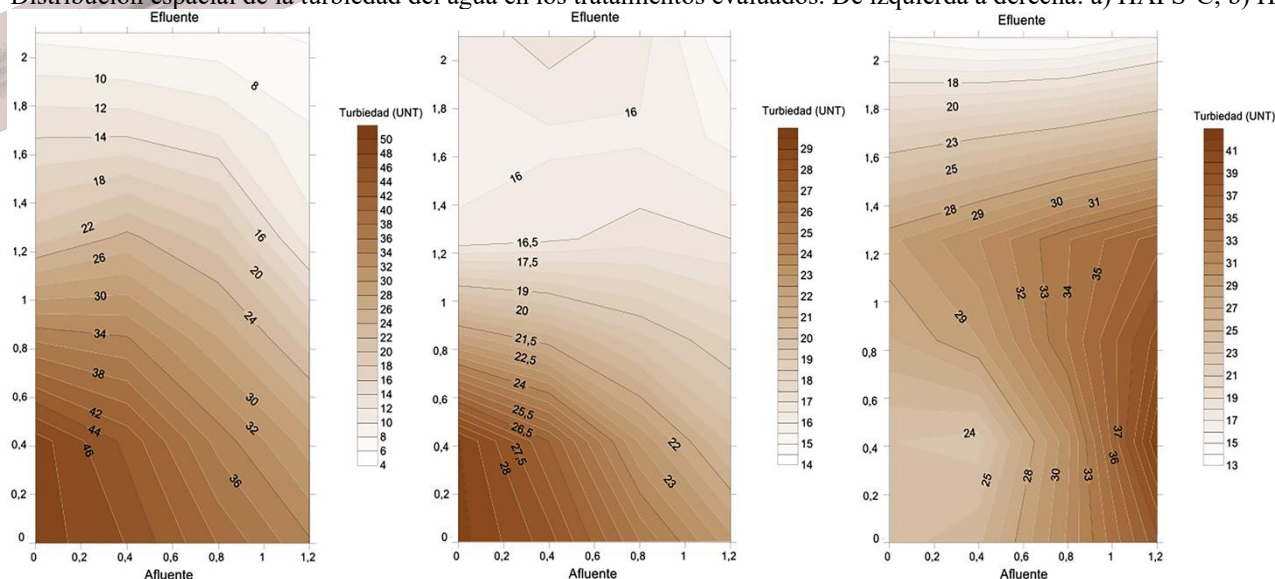


Figura 10

Distribución espacial de la turbiedad del agua en los tratamientos evaluados. De izquierda a derecha: a) HAFS-C; b) HAFS-X; c) HAFS-G.



CONCLUSIÓN

A partir de los resultados obtenidos, se encontró que el tratamiento con la vegetación *C. esculenta* fue el más eficiente, alcanzando las mayores eficiencias de remoción en todos los parámetros evaluados. Así mismo, el tratamiento con *X. sagittifolium* obtuvo eficiencias de remoción cercanas a las del tratamiento con *C. esculenta*, por lo que también se considera un buen tratamiento.

El tratamiento control muestra que el medio de soporte por ser un medio filtrante contribuye en más del 50% en la eficiencia de remoción, debido a que en él se establecen la biopelícula bacteriana encargada de parte de la degradación de los contaminantes.

Ambas especies evaluadas en esta investigación mostraron buen rendimiento para ser implementadas en humedales artificiales.

Agradecimientos

A la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, al Laboratorio de Tecnología del Agua de la División Académica de Ciencias Biológicas (DACBiol) en especial al Dr. Gaspar López Ocaña por el asesoramiento en la planeación y realización de este proyecto.

BIBLIOGRAFÍA

- Adrados, B., Sánchez, O., Arias, C.A., Becares, E., Garrido, L., Mas, J., Brix, H., & Morató, J. (2014). Microbial communities from different types of natural wastewater treatment systems: Vertical and horizontal flow constructed wetlands and biofilters. *Water Research*, 55, 304 – 312. DOI: 10.1016/j.watres.2014.02.011.
- Amaral-Silva, N., Martins, S., Paiva, C., Castro-Silva, S., & Quinta-Ferreira, R. (2016). A new winery wastewater treatment approach during vintage periods integrating ferric coagulation, Fenton reaction and activated sludge. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 4, 2207 – 2215. DOI: 10.1016/j.jece.2016.03.044.
- Barco, A., & Borin, M. (2017). Treatment performance and macrophytes growth in a restored hybridconstructed wetland for municipal wastewater treatment. *Ecological Engineering*, 107, 160 – 171. DOI: 10.1016/j.ecoleng.2017.07.004.
- Bedoya P, J. C., Ardila A, A. N., & Reyes C, J. (2014). Evaluación de un humedal artificial de flujo subsuperficial en el tratamiento de las aguas residuales generadas en la institución universitaria colegio mayor de antioquia, Colombia. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 30(3), 275-283. Recuperado de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=37031522004>.
- Burek, P., Satoh, Y., Fischer, G., Kahil, M. T., Scherzer, A., Tramberend, S., Nava, L. F., Wada, Y., Eisner, S., Flörke, M., Hanasaki, N., Magnuszewski, P., Cosgrove, B. and Wiberg, D. (2016). *Water Futures and Solution: Fast Track Initiative (Final Report)*. IIASA Working Paper. Laxenburg, Austria, International Institute for Applied Systems Analysis (IIASA). Recuperado de <http://pure.iiasa.ac.at/13008>.
- Carreño, U. (2018). Diseño y evaluación de un biosistema de tratamiento a escala piloto de aguas de curtiembres a través de la *Eichhornia crassipes*. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 18(2), pp.74-81.
- Caselles O, A., Vega, H., Camilo L, J., Casierra M, H., & Euliser M, J. (2017). Horizontal subsurface-flow constructed wetland removal efficiency using *Cyperus articulatus* L. *Ecological Engineering*, 99, 479 – 485. DOI: 10.1016/j.ecoleng.2016.11.062.
- Casierra M, H., Casalins B, J., Vargas R, X., & Caselles O, A. (2016). Desinfección de agua residual doméstica mediante un sistema de tratamiento acoplado con fines de reúso. *Tecnología y ciencias del agua*, 7(4), 97 – 11. Recuperado de <http://www.scielo.org.mx/pdf/tca/v7n4/2007-2422-tca-7-04-00097.pdf>.

- Cervantes, S. P., Londoño, Y. A., Gutiérrez, F. R., & Peñuela, G. A. (2017). Evaluación de humedales artificiales de flujo subsuperficial en la remoción de diferentes concentraciones de ibuprofeno empleando *Cyperus papyrus*. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 8(5), 105-116. DOI: 10.24850/j-tyca-2017-05-07.
- Dantas, L., Tonderski, K., & Kjaergaard, C. (2018). Phosphorus accumulation and stability in sediments of surface-flow constructed wetlands. *Geoderma*, 331, 109 – 120. DOI: 10.1016/j.geoderma.2018.06.015.
- Díaz, C. y Romero, J. (2013). Evaluación de la remoción de DBO, DQO, SST, NTK, PT y CF en un humedal de flujo subsuperficial construido con carbón mineral y cultivado con *Zantedeschia aethiopica*. *Revista Escuela Colombiana de Ingeniería*, 1(89), 29-37.
- García O, J., López O, G., & Torres B, C. (2019). Evaluación de medios de soporte en humedales artificiales con vegetación *Sagittaria latifolia* en la remoción de contaminantes básicos. *Revista Iberoamericana de las Ciencias Biológicas y Agropecuarias*, 8(15), 16 – 31. DOI: 10.23913/cibav8i15.82.
- Gökalp, Z., Karaman, S., Taş, I., & Kırnak, H. (2016). Constructed wetland technology to prevent water resources pollution. *Current Trends in Natural Sciences*, 5(9), 125 – 132. Recuperado el 26 de abril de 2019, de https://www.upit.ro/_document/10001/paper_19.pdf.
- Ilyas, H., & Masih, I. (2017). The performance of the intensified constructed wetlands for organic matter and nitrogen removal: A review. *Journal of Environmental Management*, 198, 372 – 383. DOI: 10.1016/j.jenvman.2017.04.098.
- Kadlec and Wallace (2009). *Treatment Wetlands*, 2nd Edition. CRC Press Taylor & Francis Group. Boca Raton.
- Laaffat, L., Ouazzani, N., & Mandi, L. (2015). The evaluation of potential purification of a horizontal subsurface flow constructed wetland treating grey water in semi-arid environment. *Process Safety and Environmental Protection*, 95, 86 – 92. DOI: 10.1016/j.psep.2015.02.016.
- Larriba, J., & González, O. (2017). Cinética de la remoción de DBO5 en humedales con flujo sub-superficial horizontal. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, 38(1), 17 – 30. Recuperado de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1680-03382017000100002&lng=es&tln=es.
- Leto, C., Tuttolomondo, T., La Bella, S., Leone, R., & Licatam M. (2013). Effects of plant species in a horizontal subsurface flow constructed wetland – phytoremediation of treated urban wastewater with *Cyperus alternifolius* L. and *Typha latifolia* L. in the West of Sicily (Italy). *Ecological Engineering*, 61(1), 282 – 291. DOI: 10.1016/j.ecoleng.2013.09.014.
- López, D., Sepúlveda, M., & Vidal, G. (2016). *Phragmites australis* and *Schoenoplectus californicus* in constructed wetlands: Development and nutrient uptake. *Journal of soil science and plant nutrition*, 16(3), 763 – 777. Recuperado de https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-95162016000300015&lng=es&tln=en.
- López O, G., Torres B, C. A., Bautista M, R. G., Hernández B, J. R., Gutiérrez V, J. J., De la Cruz L, E., y Ferrer S, M. I. (2014). Diseño de sistemas experimentales de humedales artificiales de flujo libre y subsuperficial. *Compilación de investigaciones científicas*. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. Recuperado de <http://www.archivos.ujat.mx/2014/divulgacion%20cientifica/SDDC2013final.pdf>.
- López O, G., Bautista M, R. G., Ramos H, S., Torres B, C. A., López V, R., & Pampillón G, L. (2018). Phytoremediation of wastewater with *thalia geniculata* in constructed wetlands: basic pollutants distribution. *Water Pollution*, 228, 53 – 63. DOI: 10.2495/WP180071.
- Luna P, V.M., & Aburto C, S. (2014). Sistema de humedales artificiales para el control de la eutrofización del lago del Bosque de San Juan de Aragón. *Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas*, 17(1), 32 – 55. Recuperado de <http://www.scielo.org.mx/pdf/tip/v17n1/v17n1a3.pdf>.
- Marín A, C., Solís S, R., López O, G., Bautista M, R. G., & Romellón C, M. (2016). Tratamiento de aguas residuales por humedales artificiales tropicales en Tabasco, México. *CIBA Revista Iberoamericana de las Ciencias Biológicas y Agropecuarias*, 5(10), 1 – 20. Recuperado el 19 de marzo de 2019, de <https://www.ciba.org.mx/index.php/CIBA/article/view/54>.
- Martín, M., Gargallo, S., Hernández C, C. & Oliver, N. (2013) Phosphorus and nitrogen removal from tertiary treated urban wastewater by a vertical flow constructed wetland. *Ecological Engineering*, 61, 34 – 42. DOI: 10.1016/j.ecoleng.2013.09.046.
- Nivala, J., Boog, J., Headley, T., Aubron, T., Wallace, S., Brix, H., Mothes, S., Affender, M., & Müller, R. (2019). Side-by-side comparison of 15 pilot-scale conventional and intensified subsurface flow wetlands for treatment of domestic wastewater. *Science of the Total Environment*, 658, 1500 – 1513. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2018.12.165.
- NOM-001-SEMARNAT-2021. *Diario Oficial de la Federación*, Ciudad de México, México, 30 de octubre de 1996. Recuperado de: https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5645374&fecha=11/03/2022#gsc.tab=0
- Palta P, G. H., & Morales V, S. (2013). Fitodepuración De Aguas Residuales Domésticas Con Poaceas: *Brachiaria Mutica*, *Pennisetum Purpureum* Y *Panicum Maximun*, En El Municipio De Popayán, Cauca. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 11(2), 57 – 65. Recuperado de <http://www.scielo.org.co/pdf/bsaa/v11n2/v11n2a07.pdf>.
- Panrare, A., Sohsalam, P., & Tondée, T. (2015). Constructed Wetland for Sewage Treatment and Thermal Transfer Reduction. *Energy Procedia*, 79, 567 – 575. DOI: 10.1016/j.egypro.2015.11.535.
- Rai, U.N., Tripathi, R.D., Singh, N.K., Upadhyay, A.K., Dwivedi, S., Shukla, M.K., Mallick, S., Singh, S.N., & Nautiyal, C.S. (2013). Constructed wetland as an ecotechnological tool for pollution treatment for conservation of Ganga river. *Bioresource Technology*, 148, 535 – 541. DOI: 10.1016/j.biortech.2013.09.005.
- Rivera, D. (2015). Humedales de flujo subsuperficial como biofiltros de aguas residuales en Colombia. *Cuaderno Activa*, 7, 99-107. Recuperado de <http://ojs.tdea.edu.co/index.php/cuadernoactiva/article/view/251>.
- Rodríguez, M., & Brisson, J. (2015). Pollutant removal efficiency of native versus exotic common reed (*Phragmites australis*) in North American treatment wetlands. *Ecological Engineering*, 74, 364 – 370. DOI: 10.1016/j.ecoleng.2014.11.005.

- Saeed, T., Al-Muyeed, A., Afrin, R., Rahman, H., & Sun, G. (2014). Pollutant removal from municipal wastewater employing baffled subsurface flow and integrated surface flow-floating treatment wetlands. *Journal of Environmental Sciences*, 26(4), 726 – 736. DOI: 10.1016/S1001-0742(13)60476-3.
- Sepúlveda M, M., López, D., & Vidal, G. (2016). Methanogenic activity in the biomass from horizontal subsurface flow constructed wetlands treating domestic wastewater. *Ecological Engineering*, 105, 66 – 77. DOI: 10.1016/j.ecoleng.2017.04.039.
- Wada, Y., Flörke, M., Hanasaki, N., Eisner, S., Fischer, G., Tramberend, S., Satoh, Y., Van Vliet, M. T. H., Yillia, P., Ringler, C., Burek, P. & Wiberg, D. (2016). Modelling global water use for the 21st century: The Water Futures and Solutions (WFaS) initiative and its approaches. *Geoscientific Model Development*, 9, 175 – 222. DOI: 10.5194/gmd-9-175-2016.
- Wu, H., Zhang, J., Ngo, H., Guo, W., Hu, Z., Liang, S., Fan, J., & Liu, H. (2015). A review on the sustainability of constructed wetlands for wastewater treatment: Design and operation. *Bioresource Technology*, 175(1), 594 – 601. DOI: 10.1016/j.biortech.2014.10.068.
- WWAP (Programa Mundial de las Naciones Unidas de Evaluación de los Recursos Hídricos) /ONU-Agua. (2018). Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2018: Soluciones basadas en la naturaleza para la gestión del agua. París, UNESCO.
- Xie, A., Chen, H., & You, S. (2018). Advance of Nitrogen Removal in Constructed Wetland. *PIO Conf. Ser.: Mater. Sci. Ing.* 301, 1. DOI: 10.1088 / 1757-899X / 301/1/0121.

Panorama actual de la tecnología usada en los museos para la apropiación del conocimiento

DOI: 10.60968/iaet.3594-035X.867

Juan Gabriel López Álvaro¹, Erika Yunuen Morales Mateos², Oscar Alberto González González³, Gilberto Murillo González⁴

¹Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, e-mail: gabrielpiand7@gmail.com

²Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, e-mail: erika.morales@ujat.mx

³Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, e-mail: oscar.gonzalez@ujat.mx

⁴Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, e-mail: gmurillo76@gmail.com

Resumen

Imaginar un museo donde no solo sea de observar exposiciones, sino que se interactúe con ellas, ya no es una idea del futuro, sino que es posible gracias a los avances de la tecnología. En este escrito se trata de investigar y analizar sobre las tecnologías que permiten la interactividad. Por ejemplo, las simulaciones inmersivas e interactivas con realidad aumentada y virtual, que permiten acceder a una información más dinámica, que no solo modernizan los espacios de exposición, sino que también mejoran la experiencia del visitante. Permitiendo que el aprendizaje sea más inmersivo, ayudando a fortalecer la comprensión de las exposiciones. En este documento se revisaron diversas publicaciones científicas referentes al tema con el objetivo de ampliar el objeto de estudio. Un resultado representativo es el caso de la Casa Universitaria Cacao y Chocolate. Este espacio desarrollado por la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (UJAT) con el apoyo de la División Académica de Ciencias y Tecnologías de la información (DACYTI), en el desarrollo de los entornos dinámicos. Demostrando la universidad el compromiso de la innovación educativa y la preservación del patrimonio cultural. Este trabajo explora la implementación de la tecnología en los museos, analizando su impacto en la experiencia del visitante.

Palabras clave: Museo, Realidad Aumentada, Realidad Virtual, Tecnología Interactiva, Tecnología Inmersiva.

Abstract

Imagining a museum where not only to observe exhibitions, but to interact with them, is no longer an idea of the future, but it is possible thanks to advances in technology. This paper is about researching and analyzing the technologies that allow interactivity. For example, immersive and interactive simulations with augmented and virtual reality, which allow access to more dynamic information, not only modernize the exhibition spaces, but also improve the visitor experience. Allowing learning to be more immersive, helping to strengthen the understanding of the exhibitions. In this paper, several scientific publications on the subject were reviewed in order to broaden the object of study. A representative result is the case of the Casa Universitaria del Cacao y Chocolate. This space developed by the Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (UJAT) with the support of the Division Academica de Ciencias y Tecnologias de la Informacion (DACYTI), in the development of dynamic environments. Demonstrating the university's commitment to educational innovation and the preservation of cultural heritage. This paper explores the implementation of technology in museums, analyzing its impact on the visitor experience.

Keywords: Museum, Augmented Reality, Virtual Reality, Interactive Technology, Immersive Technology.

INTRODUCCIÓN

La Asamblea General Extraordinaria del Consejo Internacional de Museos (ICOM), el 25 de agosto de 2022, aprobó una definición de museo. “Un museo es una institución sin ánimo de lucro, permanente y al servicio de la sociedad, que investiga colecciona, conserva interpreta y exhibe el patrimonio material e inmaterial. Abiertos al público, accesibles e inclusivos, los museos fomentan la diversidad y la sostenibilidad. Con la participación de las comunidades, los museos operan y comunican ética y profesionalmente, ofreciendo experiencias variadas para la educación, el disfrute, la reflexión y el intercambio de conocimientos” (ICOM, 2022).

Mantener la memoria histórica y el patrimonio cultural ha sido, desde siempre. Porque estos conectan con el pasado y permiten comprender el porqué de las cosas, la evolución humana y los momentos que marcaron al mundo (Procuraduría Federal del Consumidor, 2025). El patrimonio cultural abarca el conjunto de bienes materiales e inmateriales que son heredados de generación en generación, tales como los valores, creencias, tradiciones, costumbres, religiones, lenguas, entre otros que caracterizan la cultura de una región (Nueva Escuela Mexicana, 2025). Al conservar el patrimonio cultural, permite que las próximas generaciones conozcan la raíz de su historia. Sin embargo, en la actualidad, vivimos en una era en la que la tecnología juega un papel de considerable impacto. Opp (2021) jefe de operaciones digitales del Programas de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), menciona que: “la tecnología digital será el motor principal del cambio en este siglo, propiciando la reconfiguración de economías, gobiernos y la sociedad civil, e incidiendo en todos los aspectos de nuestro trabajo, a veces de manera inesperada”. El cambio también ha alcanzado a los museos, que han comenzado a adaptarse con herramientas digitales como la realidad aumentada y virtual, aplicaciones móviles, entre otras con el fin de mejorar la experiencia del visitante e innovar la comunicación con él. La participación del patrimonio con la tecnología da paso a los museos interactivos, creando una experiencia dinámica y participativa que fomenta la interactividad.

Para las culturas de Valdivia, Puruhá y Upano III en Ecuador, implementaron un museo didáctico llamado Museo Intikilla, con contenidos interactivos de realidad virtual, utilizando herramientas como Coespaces Edu, Blender y Unitag QR para el desarrollo del proyecto, aplicando una evaluación antes y después de interactuar con el museo, se tuvo un resultado significativo de un 75.80% a un 98.11% de haber conocido más sobre la cultura de la región, de acuerdo a 372 estudiantes encuestados (Radicelli y Pomboza, 2022).

En este sentido, se puede observar con los resultados obtenidos que la implementación de tecnologías inmersivas, el aprendizaje y los conocimientos son significativas, no solo hace que la vista sea dinámica, sino que ayuda a la comprensión de las exhibiciones, con esto permite al visitante participar en una experiencia más atractiva. Según Díaz (2021) menciona que la implementación de la tecnología en los museos ofrece a los visitantes la accesibilidad particularmente a quienes sufren de alguna discapacidad. En otro contexto, SPICE un proyecto desarrollado en 2020, buscando fomentar la cohesión social en los museos mediante el desarrollo de herramientas y métodos que facilitarían el acceso y con la participación ciudadana en entorno al patrimonio cultural. Llevando a cabo el desarrollo de aplicaciones piloto en diversas comunidades de Finlandia, Irlanda, España, Italia e Israel, incluyendo un Museo pop-up en realidad virtual. Dicho museo fue diseñado con el objetivo para las personas que viven física o socialmente aisladas pudieran interactuar con ello y sus contenidos (Marras et al., 2023)

DESARROLLO

OBJETIVO GENERAL Y OBJETIVOS ESPECÍFICOS

El objetivo general de esta investigación es explorar y analizar la implementación de tecnologías como la realidad aumentada y virtual en los museos, destacando el impacto en la experiencia del visitante.

Objetivos específicos

- Identificar y clasificar de los diferentes tipos de museos.
- Investigar sobre las tecnologías que son implementadas en los museos
- Analizar casos de estudio de museo que ha implementado estas tecnologías, describiendo la forma en que fueron aplicadas.
- Presentar resultado de las investigaciones en tablas comparativas para facilitar el análisis de los datos

OBJETO DE ESTUDIO

El objeto de estudio la investigación es cómo se implementan las tecnologías inmersivas e interactivas, como la realidad aumentada y virtual en los museos. Se busca dar conocer como estas tecnologías permiten vivir experiencias diferentes y fomentar un aprendizaje más interactivo en los espacios de exposición. Un ejemplo representativo de este enfoque en la innovación educativa y la preservación cultural es la Casa Universitaria Cacao y Chocolate, desarrollado por la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (UJAT) con el apoyo de la División Académica de Ciencias y Tecnologías de la Información (DACYTI) en el área tecnológica.

METODOLOGIA

Para la elaboración de este documento se llevó a cabo una investigación bibliográfica y cualitativa. Centrada en la revisión de datos de artículos científicos relacionados con los temas de museos interactivos, realidad aumentada y virtual en museos. Fueron considerados artículos de los últimos seis años en la plataforma en línea como: Google Academic una plataforma de búsqueda que permite buscar artículos, tesis, libros, etc. Y SciSpace, una plataforma de búsqueda impulsada por inteligencia artificial con varias funcionalidades, para este caso se utilizó para la búsqueda de artículos científicos. Por otro lado, con el uso de tablas comparativas se presentan los resultados de la investigación.

FASE DEL DESARROLLO

Clasificación de museos

En un primer instante se realizó una investigación en internet que permitiera comprender la diversidad de los museos, a partir de esta búsqueda se llevó a cabo una clasificación de los tipos de museos.

Según Albelo (2015) existen numerosas categorías, dentro de los más comunes resaltan los museos

- Antropológicos, museos enfocados en la diversidad cultural, que presentan piezas y contenido que sobre la biología y sociología del ser humano.
- Arqueológicos, museos enfocados en la antropología que presentan piezas obtenidas de excavaciones.
- De Arquitectura, museos cuyos contenidos se basa en la exhibición de proyectos y materiales como maquetas, planos, fotografías, etc.
- De Arte Contemporáneo, museos que exhiben obras y contenidos que abarba desde finales del siglo XIX hasta la actualidad.
- De Arte Decorativa, museos que se enfocan en las artes aplicadas, aquellas artes destinadas a producir objetos funcionales y ornamentales.
- De Buenas Artes, museos cuyas colecciones se centran mayormente en pintura y escultura.
- Ciencias Naturales, museos enfocados en la diversidad del mundo natural, que abarcan desde muestras de flora, de fauna y geología.
- Científico- Tecnológico, museos que busca difundir conocimiento científico a la sociedad mediante instrumentos de estudios como objetos y contenidos.
- Etnográfico, museos que exponen objetos y contenidos de folklore, las costumbres populares de una sociedad.
- Histórico, museos que se dedican a difundir la historia general de una ciudad o una región en particular.
- Marítimo y Naval, museos que tratan la navegación, relacionado con el mar.
- Militar, museos asociados a acontecimientos bélicos o contenidos asociados al ejército.
- Musical, museos exhiben contenidos relacionados a la música y su desarrollo histórico.

En cuanto a los museos virtuales, según Eve Museos + Innovación (2025) se pueden calificar en tres categorías de acuerdo con su enfoque y a su propósito:

- Contenido, diseñados para presentar objetos y colección de manera digital.
- Comunicación, se enfocan en la narrativa y la interacción con el público, ofreciendo recorridos virtuales guiados, con experiencias audiovisuales y entornos inmersivos.
- Colaboración, fomenta la participación, involucrando expertos, aficionados y visitantes en la contribución de los contenidos, opiniones y experiencias.

Dentro de la clasificación también se encuentra los museos infantiles, estos se definen como instituciones educativas y cultural sin fines de lucro, todos los museos infantiles independientemente de su tamaño funcionan como destinos locales (con espacios diseñados como exposiciones activas), como laboratorios educativos, recursos comunitarios y como defensores de los niños (Evo Museos + Innovación, 2021)

Algunos museos infantiles en México son lo siguiente:

- Papalote Museo del Niño, que articula un enfoque pedagógico mediante juegos, temáticas como mi cuerpo, México vivo, mi hogar y mi familia, mi ciudad, laboratorio de ideas y la implementación de un recorrido de 360° (Papalote Museo del Niño, 2023).
- Museo Sol del Niño, fundada el 21 de septiembre de 1998, con el objetivo de cultivar el interés de los niños, jóvenes y adultos hacia la cultura. Que cuenta con cinco salas; ciencia mágica, plaza del sol y el agua, casa sustentable, sala de la naturaleza, taller de arte y con realidad aumentada (Sistema de Información Cultural, 2023).
- Museo Infantil de la Constitución Mexicana, un museo interactivo con espacio de ciencia, fenómenos naturales y tecnología. Con espacios que están formados por más de sesenta exhibiciones, divididas en once temáticas (Gobierno de puebla, 2024).
- Globo, Museo de la Niñez de Guadalajara, inaugurada el 30 de abril de 2000 en las instalaciones de la Unidad Administrativa Reforma, fue remodelada en el año 2002, con el objetivo de promocionar y difundir la cultura infantil contando con ocho salas incluida con un espacio acondicionado con tecnologías virtuales, digitales y análogas (Sistema de Información Cultural, 2023).

Tecnologías usadas en los museos

En una segunda fase, se investigó sobre las tecnologías que son mayormente implementadas en los museos, entre los cuales destaca la realidad aumentada, realidad virtual, así como salas inmersivas.

Según Hayes y Downi (2025) mencionan que la realidad aumentada superpone contenido al mundo real, por ejemplo, modelos 3D, imágenes o videos, mezclando mundos digitales y virtuales. La realidad aumentada incorpora tres características: una combinación de mundos virtuales y físicos, interacciones en tiempo real e identificación 3D precisa de objetos virtuales y reales (Microsoft, s. f). Por otro lado, la realidad virtual sumerge a los usuarios en un entorno digital sustituyendo por completo el mundo físico con una visión de 360°, ya sea empleando un casco de realidad virtual, una pantalla montada en la cabeza o lentes de realidad virtual, esto (Hayes y Downi, 2025)

El tecnológico de Monterrey define realidad aumentada como una tecnología que agrega información a elementos físicos, ya sea imágenes u objetos reales captados a través de algún tipo de móvil. Y realidad virtual supone la inmersión en la simulación de un mundo en el que el usuario puede manipular los objetos e interactuar con el ambiente. (EduTrends, 2017).

Por otro lado, las salas inmersivas según Cubensisproject (2025) se tratan de espacios diseñados para sumergir completamente los usuarios en un entorno virtual, utilizando proyecciones, sistemas de sonidos, a veces elementos táctiles para crear una experiencia envolvente. Existen diferentes tipos de salas inmersivas, de los cuales estos son algunos:

- Salas con proyecciones: esta equipada con proyectores, permitiendo proyecciones en paredes, suelos y techos
- Salas con pantallas LED: salas con módulos LED configuradas en paredes, techos o suelos.
- Salas con contenidos 3D: implementación de contenidos 3D, ideales para experiencias visuales tridimensionales.
- Salas con contenidos en directo: transmiten contenido en tiempo real, ya se eventos en vivo o conferencias.
- Salas con contenidos grabados: se muestran contenidos pregrabados, optimizando la reproducción en las salas.
- Salas desatendidas: donde el usuario gestiona y produce su propio contenido, contando con control centralizado y una programación automatizada.

Museos implementando estas tecnologías

En una tercera instancia se revisaron algunos de artículos en los cuales se obtuvieron datos de museos que aplican estas tecnologías y de qué forma los implementan.

En el uso de realidad aumentada estos son algunos casos:

- Expósito y Navarrete (2023) CulturAR, una aplicación de Priego de Córdoba que facilita a los usuarios la exploración de rutas turísticas mediante el uso realidad aumentada y geolocalización. La aplicación permite la detección de superficies y marcadores para mostrar los contenidos en realidad aumentada.
- Camuendo (2021) diseño un juego serio, una aplicación móvil llamada MhnGO AR; el juego se compone de acertijos y desafíos, permitiendo la interacción con modelos 3D. Se seleccionaron diez usuarios como muestra para la realizar preguntas acerca de la aplicación mediante el Sistema de Evaluación del Usuario (SUS). Posteriormente se sometió a evaluación mediante la escala de percentiles y grados de usabilidad propuesto por Jett Sauro, el resultado fue A- que indica que la aplicación tenía fortalezas y áreas de mejoras menores.
- Caiza y Sasig (2022). Debido a la monótona e incompleta información de cuadros y piezas, se desarrollaron aplicaciones web y móvil de realidad aumentada. Según la encuesta efectuada a 131 turistas, el 80% afirmó que la información fue proporcionada de manera adecuada y amigable. El 20% indicó que no contaban con descripciones predecible de un botón o evento de la acción que se realizaba.
- Bernad (2020). Fuendetodos, una aplicación móvil desarrollada por la empresa Imascono Art S.L. Esta aplicación proporciona información sobre el municipio Fuendetodos e interacción mediante realidad aumentada, activada una vez que el visitante esté en la localidad. Todo ello para que el visitante pueda aprender a través de la visita cultural de cómo era el Museo del Grabado, incluyendo información sobre la creación de este museo y las cuatro series de grabados de Goya.
- Láinez (2021). Desarrolló e implementó una aplicación móvil con realidad aumentada para el museo Amantes de Sumpa, la cual permite el acceso a información de las piezas y los contenidos expuestos dentro del museo.

En el caso de uso de realidad virtual:

- Bejarano (2022) implementando realidad virtual para ejecutar un proyecto para una galería de artes del museo de la ciudad de Cayambe. Integrando el SDK de Google VR con Unity para la ejecución de escenas. Así como la implementación de modelos 3D para las pinturas e incorporando audios trabajados en Speech Studio de Microsoft Azure.
- López, Barbado, Moreno, Quintero (2024). El Museo de Histología Humana y Realidad Virtual se presentó como proyecto piloto en la Universidad de Sevilla, dividido en tres fases: la primera consistió en encuestas sobre el uso de la tecnología; en la otra etapa se presentaron los recursos interactivos y realidad virtual en el museo y la última fase estuvo enfocada en los resultados, los cuales fueron positivos: el 100% consideró muy interesante y la mayoría altamente estética, utilidad, claridad y organización,
- Rodríguez (2021). Se creó una aplicación de realidad virtual que permite al usuario visualizar la vestimenta de la población de San Cristóbal de la Laguna durante el siglo XVI. Simula la vestimenta y presenta a los personajes dentro de un modelo 3D del museo Cayetano Gómez Felipe, cada personaje cuenta con un panel informativo sobre su vestimenta y estatus social.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se desarrollo un análisis para identificar características relevantes de los trabajos seleccionados sobre la implementación de tecnologías en los museos. En la **Tabla 1** se presentan datos obtenidos de las publicaciones revisadas, el tipo de museo, el país al que pertenecen, así como los tipos de contenidos empleados.

Tabla 1

Panorama de proyectos implementados

Año	Autor	Museo	Objetivo	Tipo de Museo (Físico/on line)	País	Tipo de Contenido	Evaluación
2021	Juan Carlos Malca Yumi	Casa Museo de Riobamba	Implementar una aplicación con realidad aumentada aplicando la tecnología ARCore	Físico	Riobamba, Ecuador	Texto, Audios, Videos, imágenes	Tras implementar la App, se evaluó su inteligibilidad y su usabilidad mediante un análisis mediante la medida de estadística Alfa de Cronbach obteniendo un coeficiente de 0,041, considerado aceptable.
2021	Hugo francisco Gómez Villafuerte	Museo Etno-arqueológico Pastaza Mempa	Desarrollar una aplicación móvil con realidad aumentada para mejorar la experiencia del turista	Físico	Puyo, Ecuador	Imágenes, Mapas, Realidad Aumentada	Se aplico una encuesta a 113 turistas, donde al final se pregunta si la experiencia con Ra haya mejorado su experiencia obteniendo un porcentaje del 100%
2021	Eduardo Javier Láinez Vera	Museo Amantes de Sumpa	Implementar una aplicación móvil utilizando realidad aumentada como herramienta alternativa de información del contenido museográfico	Físico	La Libertad, Ecuador	Modelos 3D y 2D, Textos, Imágenes y Panoramas, Imágenes de referencia QR	Se encuestó a 50 personas y se obtuvo resultados positivos; un 80% considero agradable los contenidos, el 64% opino que la navegación era fácil, el 54% con una interacción como muy buena y un 34% buena
2021	Cristian Rodríguez Navarro	Museo de vestimentas	Desarrollar una aplicación que integre el modelo digital del museo Cayetano Gómez Felipe junto con los modelos 3D de personajes ataviados con vestimentas del siglo XVI	Virtual	España	Mundo virtual, Contenido digitales (Imágenes)	No aplica
2022	Ciro Radicelli Garcia, Margarita Pomboza Floril	Museo Intikilla	Implementar un museo didáctico que abarca la cultura de Valdivia, Puruhá y Upano III	Virtual	Colombia	Mundo Virtual, Modelos 3D Códigos QR	Se aplico un cuestionario para evaluar el conocimiento sobre las culturas, revelando que el 75.80% de los estudiantes conocen mucho de la cultura, tras interactuar con el museo virtual, el aprendizaje aumento con un 23% más de estudiantes, alcanzado un 98.11%
2022	Marlon Adrián Bejarano Chancosi	Museo arqueológico de Cayambe	Desarrollar una aplicación en realidad virtual para la exposición de obras artísticas de la casa de la cultura	Físico	Ecuador	Mundo Virtual	Se aplicaron preguntas como compuesto de pruebas de aceptación
2022	Franklin Orlando Caiza Chacha, Erika Liliana Sasig Silva	Museo de la Casa de los Marqueses de Miraflores	Desarrollar una aplicación web y móvil con realidad aumentada para mejorar la interacción de los visitantes con obras del Museo de la Casa de los Marqueses, promoviendo una experiencia museística y participativa	Físico	Latacunga, Ecuador	Cuadros y piezas (Visualización de información por medio de escaneos)	Se aplico un formulario de encuestas generales de la aplicación, como el de la información, la estructura, navegación, entre otras. Obteniendo resultados mayores del 80% dependiendo del tipo tema a tratar
			Desarrollar una aplicación móvil que ofrezca una experiencia interactiva e				Se aplico el Sistema de evaluación de Usuario (SUS) el resultado de la encuesta

Año	Autor	Museo	Objetivo	Tipo de Museo (Físico/on line)	País	Tipo de Contenido	Evaluación
2023	Timoteo Alberto Camuendo Sinchico	Museo de Historia Natural Gustavo Orces V.	inmersiva a los visitantes del MHNGOV, mediante la integración de modelos en realidad aumentada y juegos serios.	Físico	Quito, Ecuador	Imágenes (Figuras 3D), Texto, Acertijos, Contenido gamificado.	aplicada a 10 personas, obteniendo un promedio de 79. Según la escala de Jeff Sauro, este resultado corresponde a una calificación de A-, reflejando que tiene fortalezas y algunas áreas menores de mejora.
2023	Universidad Juárez Autónoma de Tabasco	Casa Universitaria del Cacao y Chocolate	Poner al servicio de la sociedad un espacio que resalte la grandeza del cacao que se cultiva y transforma en Tabasco	Físico	Villahermosa, Tabasco	Modelos 3D, Juegos, Salas Interactivas e inmersivas y QR	Se aplican un cuestionario a fin del recorrido en el museo.
2024	Jorge López Torrado, Victoria Barbado Gonzales, Ana Moreno Fernández y Anna Quintero Cabello	Museo de Histología Humana	Crear un museo interactivo que se use realidad virtual para enseñar histología humana a estudiantes de ciencias de la salud	Físico	España	Mundo Virtual	Se realizo una encuesta a los alumnos, obteniendo un 100% indicando que el museo es muy interesante y un 85% en cuanto a la utilidad del museo virtual.
2024	Laura Méndez Segundo, Miriam Pescador Rojas, David Ruajo Diaz	Museo Soumayan	Desarrollar un prototipo de una aplicación móvil que sirva como guía interactiva	Físico	México	Imagen (Con información), mapas y realidad aumentada	No aplica
2024	Mitzraim López Domínguez	Museo de Antropología de Xalapa	Crear una experiencia inmersiva basada en tecnología de realidad virtual para la difusión del patrimonio cultural tangible a través de la visualización e interacción de piezas arqueológicas	Virtual	Zacatecas	20 modelos 3D, Técnicas como fotogrametría, escultural digital, Modelo poligonal, Realidad virtual con animaciones, audios, y videos	No aplica
2024	Cesar Arnaldo Malspina Pozo	Museo Maz Uhle	Implementar una aplicación móvil de realidad aumentada	Físico	Chimbote, Perú	Modelos 3D	Se aplico una encuesta a 25 turistas donde afirma el 60% tienen la necesidad de implementar la aplicación móvil

El desarrollo de aplicaciones son los que mas destacan, con el uso de realidad aumenta y virtual como tambien la implementación de realidad aumenta en páginas web. La mayoría de estas implementaciones fueron en museos físicos, gran parte la región de Ecuador y México donde sean implementado mayormente estas tecnologías, destacando contenidos como imágenes, modelos 3D, QR, mundos virtuales y en algunos casos la incorporación de mapas. La mayoría de los trabajos fueron evaluados por los visitantes después del recorrido, a través de encuestas donde reportaron sus experiencias, apropiación de conocimiento, así como la usabilidad de las diferentes aplicaciones.

En la **Tabla 2**, se enfocó en los tipos de softwares empleadas para llevar a cabo el desarrollo de los productos y los dispositivos hardware utilizados.

Tabla 2
Softwares de desarrollo, hardware y producto

Año	Autor	Museo	Software de desarrollo	Hardware	Producto
2021	Juan Carlos Malca Yumi	Casa Museo de Riobamba	Unity, SDK para RA ARCore, Plugin Multiplataforma ARFoundatio, XR Interaction Toolkit, SketchUP (3D).	Smartphone	Aplicación móvil
2021	Hugo francisco Gómez Villafuerte	Museo Etno-arqueológico Pastaza Mempa	Unity, AR Fundation, Microsoft Visual Studio, Android JDK, Android SDK, SQLite, Firebase Realtime Database Y Storage	Smartphone	Aplicación móvil
2021	Eduardo Javier Lainez Vera	Museo Amantes de Sumpa	Android Studio, Firebase, ARCore, Blender,	Smartphone, Tablet, Laptop	Aplicación móvil
2021	Cristian Rodríguez Navarro	Museo de vestimentas	Unity, Blender, Marvelous Designer, Aset Vertex Animation Tools Dee Unity, Gafas Oculues Quest 2 Y C#	Gafas de Realidad Virtual Óculos	Mundo Virtual
2022	Ciro Radicelli Garcia, Margarita Pomboza Floril	Intikilla	Coespaces Edu, Blender, Unitag QR	Visor VR	Mundo Virtual
2022	Marlon Adrián Bejarano Chancosi	Museo arqueológico de Cayambe	SDK de Google RY y Unity	Visor VR	Mundo Virtual
2022	Franklin Orlando Caiza Chacha, Erika Liliana Sasig Silva	Museo de la Casa de los Marqueses de Miraflores	Unity, Vuforia, Visual Studio Code, Brackets, Pano2VR, Photoshop, Android Studio	Smartphone, Computadora	Página Web y Aplicación móvil
2023	Timoteo Alberto Camuendo Sinchico	Museo de Historia Natural Gustavo Orces V.	Unity, Vuforia Engine, Blender, (Bloques de Lego para crear tarjetas de Gameplay)	Smartphone	MhnGO AR (Juego Serio) Aplicación móvil
2023	Universidad Juárez Autónoma de Tabasco	Casa Universitaria del Cacao y Chocolate	Unity, Blender, Vuforia	Smartphone, Visor	Aplicación Móvil
2024	Jorge López Torrado, Victoria Barbado Gonzales, Ana Moreno Fernández y Anna Quintero Cabello	Museo de Histología Humana	Art Steps, Blender	Visor RV	Mundo Virtual
2024	Laura Méndez Segundo, Miriam Pescador Rojas, David Ruajo Diaz	Museo Soumayan	Google Asts & Culture como idea de inspiración	Smartphone	Aplicación móvil
2024	Mitzraim López Domínguez	Museo de Antropología de Xalapa	Whiter, Impres, cal, google Sheet, Photoshop, ilustrator, MetaShape (Agisoft), Blender, Sketchfab, Gravity Sketch, Unity, Unreal Engine 5, Lumen, Nanite, Meta Quest 2, Meta Quest 3, Meta Quest Pro (Para visores RV)	Visor RV, smartphone, tablets	Aplicación móvil y mundo Virtual
2024	Cesar Arnaldo Malspina Pozo	Museo Maz Uhle	Android Studio, C#, Firebase	Smartphone	Aplicación móvil

En esta investigación se encontró que las aplicaciones móviles son las que más destacan en combinación con el uso de dispositivos smartphone. La herramienta más usada para el desarrollo de modelos 3D es Blender, para Realidad Aumentada se emplearon las herramientas Unity, ARCore, Vuforia, destacando Unity; por otro lado, en la parte del Realidad Virtual se emplearon las herramientas Google RY SGK, Art Steps, Meta Human; para el desarrollo de las aplicaciones móviles destaca el entorno de desarrollo Android Studio, seguido de Visual Studio Code. Los hardware usados para las aplicaciones móviles son en su mayoría smartphone seguido de tablets; laptops se utilizan en su mayoría para las páginas web, y finalmente para la Realidad Virtual visores o gafas de realidad virtual.

CONCLUSIÓN

El trabajo realizado evidencia que las tecnologías como Realidad Aumentada y Realidad Virtual son elementos que proporcionan experiencias, inmersivas, interactiva y dinámicas, contribuyendo a una apropiación de conocimiento sobre las diferentes exposiciones que ofrecen los museos.

Adicionalmente se identificaron herramientas que se utilizaron para el desarrollo de las aplicaciones móviles que han implementado los museos, entre las herramientas se encuentra Blender, Unity, Vuforia, ARCore, Android Studio, Visual Studio Code; en cuanto a uso de hardware para estos desarrollos tecnológicos se emplean comúnmente smartphones, visores de Realidad Virtual, tablets, y laptops para la interacción con contenidos digitales, incluyendo imágenes, videos interactivos, modelos 3D y mundos virtuales.

Se pretende continuar con la investigación sobre estas tecnologías para identificar otras variables sobre el uso y desarrollo de este tipo de tecnologías y como continúan influyendo en la apropiación del conocimiento de los visitantes.

BIBLIOGRAFÍA

- Aumentada. *Revista ELECTRO*. 46. (pp. 55-59). doi: https://itchihuahua.mx/revista_electro
- Bejarano, M.; (2022). Aplicación en realidad virtual para la exposición de las obras artísticas del museo arquitectónico de la ciudad de Cayambe. *PUCE – Ibarra*. Ingeniería en tecnologías de la información doi: <https://repositorio.puce.edu.ec/handle/123456789/43067> (CITACION = T/004/B3979a/2022)
- Caiza, F.; Sasig, E.; (2022). Desarrollo de una aplicación web y móvil de realidad aumentada para el Museo de la Casa de los Marqueses de Miraflores de la ciudad de Latacunga.
- Camuendo, T.; (2024). Desarrollo de un Juego Serio con realidad aumentada para el Museo de Historia Natural Gustavo Orces V. (pp. 100). doi: <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/25356>
- Díaz, M.; (2021). Implementación de nuevas tecnologías en los museos. *Hartes*, 2(3), 4-13. doi: <https://revistas.uaq.mx/index.php/hartes/article/view/370>
- Gómez, H.; (2021). Aplicación móvil de realidad aumentada para el museo Etno-Arqueológico municipal de Pastaza Mempa. *Proyecto de Examen Complexivo de Ingeniería en Sistemas e Informática*. doi: <https://dspace.uniandes.edu.ec/handle/123456789/12793>
- Láinez, E.; (2021). Aplicación móvil de realidad aumentada para secciones de museo Amantes de Sumpa. *La libertad. IPSE, Matriz*. Facultad de Sistemas y Telecomunicaciones. 112p. doi: <https://repositorio.upse.edu.ec/handle/46000/6232>
- López, J.; Barbado, V.; Moreno, A.; Quintero, A.; (2024). Museo de Histología Humana con realidad virtual como método de innovación docente. En J. Olivia Contero, A. Quintero Cabello (Ed.), *Una mirada al futuro en la enseñanza en ciencias de la salud* (pp. 330-343). Madrid: Dykison. doi: <https://hdl.handle.net/11441/163401>
- López, M.; (2024). Experiencia inmersiva basada en realidad virtual para la difusión del patrimonio cultural del Museo de Antropología de Xalapa. *Tesis*-- M. en Tecnología informática Educativa. doi: <http://dx.doi.org/10.48779/ricaxcan-519>
- Malaspina, Cesar.; (2024). Implementación de una aplicación móvil de realidad aumentada para el museo “max Uhle” – Casma; 2024. *Carrera Profesional de Ingeniería en Sistemas*. doi: <http://hdl.handle.net/20.500.13032/39496>
- Méndez, L.; Pescador, M.; Araujo, D.; (2024). Recorrido Virtual al Museo Soumaya Mediante el uso de Realidad
- Molina, L.; Malca, J.; (2022). Aplicación móvil con realidad aumentada aplicando la tecnología ARCORE para la Casa de Museo de Riobamba. *Riobamba, Universidad Nacional de Chimborazo*. doi: <http://dspace.unach.edu.ec/handle/51000/9423>
- Radicelli, C.; Pomboza, M.; (2022). Museos digitales interactivos, una nueva forma de generar y transmitir conocimiento. *Revista DYNA*, 89 (222), 83-90. doi: <https://doi.org/10.15446/dyna.v89n222.101540>
- Rodríguez, C.; (2021). Museo de vestimentas del s. XVI en realidad virtual. *TFG. Ingeniería Informática*. doi: <http://riull.ull.es/xmlui/handle/915/25415>

REFERENCIAS

- Albelo, J. (2015). *¿Qué es un museo y cuantos tipos de mueseos existen?*. Recuperado de <https://www.cromacultura.com/tipos-de-museos/>
- Casa Universitaria Cacao y Chocolate (2023). *¡Vamos' a Cacha Cacao!*. Recuperado de <https://casa-cacao.ujat.mx/>
- Cubensisproject. (2025). *Salas inmersivas – Tecnologías para experiencia envolventes*. Recuperado de <https://www.cubensisproject.com/salas-inmersivas/>
- EduTrends. (2017). *Realidad aumentada y virtual*. Recuperado de <https://observatorio.tec.mx/wp-content/uploads/2023/03/13.EduTrendsRealidadVirtualyAumentada.pdf>
- Eve Museos + Innovación. (2021). *Que es un Museo Infantil*. Recuperado de <https://evemuseografia.com/2021/01/04/que-es-un-museo-infantil/>
- Eve Museos + Innovación (2025). *Clasificación de Museos Virtuales*. Recuperado de <https://evemuseografia.com/2025/02/04/clasificacion-de-museos-virtuales/>
- Hayes, M.; Downi, A.; (2024). *¿Qué es la realidad aumentada?*. Recuperado de <https://www.ibm.com/mx-es/think/topics/augmented-reality>
- ICOM (2022). *Definición de museo*. Recuperado de <https://icom.museum/es/recursos/normas-y-directrices/definicion-del-museo/>
- INAH (s.f). Recuperado de <https://inah.gob.mx/interactivos/recorridos-virtuales>
- Marras, A.; Diaz, L.; Stoneman, A.; Svinhufvud, L. (2023). *Tecnologías digitales para el comisariado ciudadano en los museos: dos estudios de caso del proyecto SPICE*. Recuperado de <https://icom.museum/es/news/proyecto-spice-tecnologias-digitales/>
- Microsoft. (s. f). *¿Qué es la realidad aumentada o RA?*. Recuperado de <https://www.microsoft.com/en-us/dynamics-365/topics/augmented-reality/what-is-augmented-reality>
- Nueva Escuela Mexicana (2025). *Patrimonio cultural en México*. Recuperado de <https://nuevaescuelamexicana.sep.gob.mx/contenido/coleccion/el-patrimonio-cultural-en-mexico-2/>
- Opp, R. (2021). *La tecnología digital esta transformando el desarrollo; y el PNUD tambien*. Recuperado de <https://www.undp.org/es/blog/la-tecnologia-digital-esta-transformando-el-desarrollo-y-el-pnud-tambien>
- Papalote Museo del Niño. (s. f). Recuperado de <https://www.papalote.org.mx/>
- Procuraduría Federal del Consumidor (2025). *Museos. Donde confluye arte, cultural y diversión*. Recuperado de <https://www.gob.mx/profeco/documentos/museos-donde-confluye-arte-cultura-y-diversion?state=published#:~:text=Ya%20sea%20una%20instituci%C3%B3n%20p%C3%ABlica,valor%20hist%C3%B3rico%2Dart%C3%ADstico%2C%20cient%C3%ADfico%20y>
- Puebla Gobierno del Estado. Pensar en Grande. (s. f). *Museo Infantil de la Constancia Mexicana*. Recuperado de <https://museospuebla.puebla.gob.mx/museos/item/5-museo-infantil-de-la-constancia>
- Sistema de Información Cultural. (2023). *Globo, Museo de la Niñez de Guadalajara*. Recuperado de https://sic.gob.mx/ficha.php?table=museo&table_id=1020
- Sistema de Información Cultural. (2023). *Museo Sol del Niño*. Recuperado de https://sic.cultura.gob.mx/ficha.php?table=museo&table_id=886

Diseño de Aplicación Automatizada de Hardening en Servidores Críticos

DOI: 10.60968/iaet.3594-035X.869

Jesús Eduardo Carbajal Ledezma¹, María del Consuelo Macías González²
¹ TecNM /Tecnológico de Estudios Superiores de Cuautitlán Izcalli, e-mail:

233101087@cuautitlan.tecnm.mx

² TecN /Tecnológico de Estudios Superiores de Cuautitlán Izcalli, e-mail: maria.mg@cuautitlan.tecnm.mx

Resumen

Este estudio se enfoca en la evolución tecnológica y el aumento en la complejidad de los ataques cibernéticos, resaltando la importancia de las configuraciones de seguridad en servidores críticos. A pesar de contar con herramientas como antivirus y firewalls, las deficiencias en estas configuraciones pueden dejar vulnerabilidades críticas sin protección.

El objetivo es proporcionar un enfoque detallado para mejorar la seguridad en las organizaciones, identificando configuraciones clave y ofreciendo correcciones de manera rápida y confiable. Se subraya la importancia de aplicar políticas de seguridad adecuadas, especialmente ante ataques dirigidos que podrían explotar fallos en la fortificación de los servidores.

Se sugiere el desarrollo de un software que simplifique la implementación de correcciones de seguridad, basado en las mejores prácticas regulativas como los CIS Benchmark. No obstante, se recalca que este software no constituye una solución completa por sí solo, sino que debe combinarse con otras tecnologías de seguridad para garantizar una protección completa contra ataques cibernéticos.

Además, se propone la integración de herramientas de monitoreo continuo que permitan verificar de forma automatizada el estado de las configuraciones, alertando de manera oportuna ante desviaciones o incumplimientos de las políticas establecidas. Este monitoreo constante no solo facilita la prevención de incidentes, sino que también mejora la capacidad de respuesta ante posibles compromisos de seguridad.

Al concluir, se espera que este trabajo aporte un nuevo enfoque en las correcciones de seguridad, enfatizando la importancia de mantener adecuadamente el robustecimiento de servidores, más allá de simplemente depender de las últimas tecnologías o de realizar actualizaciones regulares del sistema operativo y las aplicaciones.

Palabras clave

Ajuste, CIS Benchmarks, Corrección, Desarrollar, Diseño

Abstract

This study focuses on technological evolution and the increasing complexity of cyberattacks, highlighting the importance of security configurations on critical servers. Despite having tools such as antivirus software and firewalls, deficiencies in these configurations can leave critical vulnerabilities unprotected.

The objective is to provide a detailed approach to improving security within organizations by identifying key configurations and offering corrections in a fast and reliable manner. The importance of applying proper security policies is emphasized, especially in the face of targeted attacks that could exploit weaknesses in server hardening.

The development of software that simplifies the implementation of security corrections is suggested, based on regulatory best practices such as the CIS Benchmarks (Internet, 2024). However, it is stressed that this software alone does not constitute a complete solution; it must be combined with other security technologies to ensure full protection against cyberattacks.

In addition, the integration of continuous monitoring tools is proposed to automatically verify the status of configurations, providing timely alerts in case of deviations or policy violations. This constant monitoring not only facilitates incident prevention but also improves response capability in the event of potential security breaches.

In conclusion, this work is expected to offer a new approach to security corrections, emphasizing the importance of properly maintaining server hardening, beyond merely relying on the latest technologies or performing regular operating system and application updates.

Keywords

Adjustment, CIS Benchmarks, Correction, Develop, Design

INTRODUCCIÓN

A lo largo del tiempo la tecnología ha ido evolucionando en gran escala, así mismo los ataques cibernéticos se han vuelto cada vez más complejos y sofisticados lo que lleva a que sean más difíciles de detectar o prevenir, sin embargo, a pesar de que existen diferentes niveles de protección como antivirus, firewall y algunas otras tecnologías difícilmente se presta atención a las propias configuraciones de los servidores que abren las brechas de seguridad dejando expuestos aspectos importantes de protección.

Aunque en muchas ocasiones se llega a ser conscientes de la existencia y/o deficiencia de algunas configuraciones en servidores no se le da importancia de aplicar correctamente políticas de seguridad que brinden una mayor protección a nuestra infraestructura de servidores que pueden ser críticos para una organización.

El desconocimiento de cómo deben ser aplicadas las políticas de seguridad o configuraciones también llega a ser muy importante al enfrentarse a ataques cibernéticos dirigidos los cuales podrían aprovecharse de la falta de robustecimiento (hardening) que incluso el tiempo de aplicación correcciones es prolongado y es posible que no se le dé atención adecuada.

El objetivo de este trabajo de investigación es aportar a las organizaciones un enfoque certero de cuál es la postura de seguridad, cuáles son las configuraciones que se deberían establecer y/o mejorar y de la misma manera aplicar las correcciones necesarias de forma rápida, confiable y automática.

Este trabajo de investigación está enfocado al personal de ciberseguridad y contribuirá optimizar los tiempos de implementación de correcciones de seguridad con el uso de un software que les aporte visibilidad y una mejor manera con base a las mejores prácticas otorgadas por la regulación CIS Benchmarks.

Sin embargo, el desarrollo de este software y la corrección de configuraciones no blindará los servidores por completo, sino que trabajando en conjunto con las demás tecnologías que componen la infraestructura de seguridad de las organizaciones puedan dar un mejor nivel de prevención de ataques cibernéticos dirigidos.

Al finalizar este trabajo de investigación y desarrollo dará al mundo en general un nuevo enfoque en correcciones de seguridad en el que puedan notar que el hecho de tener las mejores tecnologías o aplicar simples actualizaciones de sistema operativo, actualizaciones de aplicaciones no es suficiente, sino que es una ardua labor que depende de nosotros mantener el robustecimiento adecuado en los servidores.

DESARROLLO

El crecimiento exponencial de las tecnologías de la información ha traído consigo un aumento en la frecuencia y sofisticación de los ataques cibernéticos. Esta realidad ha transformado la seguridad informática en una prioridad esencial para las organizaciones, especialmente en lo que respecta a la protección de servidores críticos. Si bien se cuenta con herramientas tradicionales como antivirus, firewalls y sistemas de detección de intrusos, muchas veces se subestima el impacto de configuraciones deficientes en los servidores, las cuales pueden abrir brechas que comprometen la integridad, disponibilidad y confidencialidad de los sistemas.

La falta de atención hacia la correcta configuración de estos sistemas ha sido un factor recurrente en múltiples incidentes de seguridad. La aplicación de políticas de hardening es una práctica necesaria para fortalecer los sistemas ante amenazas externas, pero su implementación manual suele ser lenta, compleja y requiere altos niveles de especialización técnica. Por tanto, existe una necesidad creciente de automatizar estos procesos sin comprometer la calidad ni la profundidad del análisis.

El presente trabajo propone el diseño e implementación de un software que facilite la evaluación automatizada de las configuraciones de seguridad, tomando como referencia los estándares internacionales de los CIS Benchmarks. Esta solución está pensada para ofrecer una manera eficiente y confiable de detectar configuraciones erróneas y sugerir correcciones que se puedan aplicar de manera automática o semiautomática.

El análisis de los datos obtenidos mediante encuestas realizadas a personal de ciberseguridad reveló una clara necesidad de herramientas automatizadas en entornos críticos. Un 80% de los encuestados señaló que una herramienta que evalúe y aplique configuraciones automáticamente es altamente valiosa, aunque sólo un 60% se siente completamente familiarizado con los estándares CIS. Esto indica una brecha de conocimiento que también debe ser abordada mediante formación continua.

En cuanto a las prácticas actuales, se evidenció que solo el 45% realiza auditorías regulares de hardening, mientras que un 35% no lo hace de forma sistemática, lo que expone a las organizaciones a riesgos evitables. Además, apenas el 40% emplea herramientas automatizadas, lo que demuestra una oportunidad para mejorar significativamente las políticas de seguridad mediante la adopción de soluciones digitales especializadas.

Entre los principales retos identificados están la falta de herramientas adecuadas (40%) y la falta de conocimientos técnicos (30%). Esto pone de relieve la necesidad de desarrollar soluciones intuitivas, accesibles y acompañadas de capacitación para los equipos técnicos.

Los resultados también mostraron que un 85% considera útil una herramienta que, tras autenticarse, permita validar y aplicar configuraciones de hardening, y un 75% prioriza que esta función se base en los lineamientos de los CIS Benchmarks. Esto confirma el interés general por reducir la intervención manual y facilitar la implementación de buenas prácticas.

Finalmente, se identificó que la frecuencia preferida para realizar evaluaciones es mensual (50%) o trimestral (40%), lo que muestra un enfoque preventivo en la gestión de la seguridad. Las principales expectativas están centradas en mejorar la seguridad global (90%), cumplir con normativas (80%) y reducir riesgos de ciberataques (80%).

El desarrollo de esta herramienta no pretende sustituir otros mecanismos de protección, sino complementarlos, ofreciendo una solución escalable que permita a las organizaciones mantenerse alineadas con los estándares más exigentes. A través de su aplicación, se espera

fomentar una cultura proactiva de seguridad, basada en evaluaciones constantes, correcciones oportunas y visibilidad continua del estado de los sistemas críticos.

OBJETIVO GENERAL

Automatización mediante el diseño de un software para verificar la corrección de las configuraciones de seguridad en servidores críticos, siguiendo la regulación establecida por CIS Benchmarks.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Definir el alcance en base a la determinación de los servidores y sistemas que serán objeto de la verificación, así como identificar qué configuraciones de seguridad serán auditadas.

Documentar CIS Benchmarks con el objetivo de indicar los lineamientos que nos interesan para el proyecto.

Vincular CIS Benchmarks con el sistema operativo específico.

Seleccionar Herramientas de Automatización, Python.

Desarrollar el Software, realizando el diseño de arquitectura del software que pueda integrar las herramientas seleccionadas para la verificación, implementar scripts y programas que utilicen las herramientas para realizar auditorías automáticas.

Realizar pruebas donde se asegure que las verificaciones y remediaciones se realizan correctamente, así como validar que las configuraciones resultantes cumplan con los CIS Benchmarks.

Implementar para la evaluación final aplicada al análisis y remediación de auditorías.

OBJETO DE ESTUDIO

El objeto de estudio de esta tesis es el proceso de automatización de la verificación y corrección de configuraciones de seguridad en servidores críticos, tomando como base los lineamientos definidos por los CIS Benchmarks. Este estudio se centra en analizar y proponer una solución tecnológica que permita mejorar la postura de seguridad en entornos organizacionales, mediante la detección oportuna de configuraciones erróneas y la aplicación eficiente de correcciones, ya sea de forma automática o semiautomática.

En la actualidad, muchas organizaciones dependen de herramientas de seguridad tradicionales como antivirus y firewalls, pero descuidan aspectos fundamentales como la correcta configuración de los servidores, lo cual genera brechas que pueden ser aprovechadas por atacantes. La falta de visibilidad, la complejidad técnica de las configuraciones y la carencia de procesos automatizados para auditar y remediar dichas deficiencias, representan desafíos importantes en la gestión de la ciberseguridad.

El estudio se enfoca en el diseño e implementación de un software que permita realizar auditorías automatizadas y aplicar correcciones en función de estándares reconocidos internacionalmente. Esta herramienta busca facilitar al personal de ciberseguridad la tarea de mantener configuraciones seguras, reducir tiempos de respuesta ante hallazgos y fomentar la adopción de buenas prácticas a través de una solución accesible y alineada con las regulaciones.

En resumen, esta investigación pone énfasis en el fortalecimiento de servidores críticos mediante el uso de herramientas automatizadas que integren los CIS Benchmarks como referencia principal para asegurar el cumplimiento normativo y la mejora continua en los procesos de hardening.

METODOLOGÍA

En el contexto del proyecto, la evolución tecnológica y el aumento en la complejidad de los ataques cibernéticos destacan la necesidad de fortalecer las configuraciones de seguridad en servidores críticos. A pesar de contar con herramientas como antivirus y firewalls, las deficiencias en estas configuraciones pueden dejar vulnerabilidades críticas sin protección. El objetivo de este proyecto es proporcionar un enfoque detallado para mejorar la seguridad en las organizaciones, identificando configuraciones clave y ofreciendo correcciones de manera rápida y confiable, a través de la metodología ágil Scrum.

Scrum es una metodología ágil que se adapta perfectamente a este proyecto, permitiendo iteraciones cortas y continuas mejoras basadas en retroalimentación constante. Durante las fases de desarrollo, se subrayará la importancia de aplicar políticas de seguridad adecuadas, especialmente ante ataques dirigidos que podrían explotar fallos en la fortificación de los servidores. La metodología Scrum facilita la organización y priorización de tareas, asegurando que cada sprint se enfoque en la implementación y validación de configuraciones de seguridad clave, así como en la aplicación de correcciones necesarias.

El desarrollo del software que simplifique la implementación de correcciones de seguridad, basado en las mejores prácticas regulativas como los CIS Benchmarks, se llevará a cabo en múltiples sprints. En cada sprint, se desarrollarán y probarán incrementos funcionales del software, permitiendo ajustes rápidos y eficientes en respuesta a la retroalimentación de los usuarios. No obstante, se recalca que este software no constituye una solución completa por sí solo, sino que debe combinarse con otras tecnologías de seguridad para garantizar una protección completa contra ataques cibernéticos.

Al concluir cada sprint, se espera que el proyecto aporte un nuevo enfoque en las correcciones de seguridad, enfatizando la importancia de mantener adecuadamente el robustecimiento de servidores. Más allá de simplemente depender de las últimas tecnologías o de realizar actualizaciones regulares del sistema operativo y las aplicaciones, Scrum permitirá una adaptación ágil y continua del software, asegurando que las configuraciones de seguridad se mantengan al día y efectivas contra las amenazas cibernéticas emergentes.

FASES DEL DESARROLLO

DESARROLLO DE SOFTWARE FRONT-END

En esta fase se construye la interfaz gráfica del usuario (GUI), que será el medio de interacción entre el usuario final y el sistema. Se prioriza la usabilidad, accesibilidad y claridad de los elementos visuales. El diseño incluye menús, formularios, botones e indicadores que permiten iniciar auditorías, visualizar resultados, aplicar configuraciones y generar reportes.

DESARROLLO DE SOFTWARE BACK-END

Esta etapa se centra en la lógica del sistema y el manejo de datos, asegurando que las funcionalidades trabajen de forma coherente con la interfaz. Se divide en las siguientes subfases:

Autenticación: Implementación de mecanismos de acceso seguro mediante credenciales para restringir el uso del sistema a personal autorizado.

Selección del sistema: Programación de módulos que permiten al usuario seleccionar el servidor o equipo específico donde se realizará la auditoría o corrección.

Gestión de scripts y servidores de base de datos: Codificación de scripts encargados de ejecutar la verificación de configuraciones. Se incluye la conexión a bases de datos donde se almacenan configuraciones, resultados, logs y usuarios.

PRUEBAS DE FUNCIONALIDAD (ITERATIVAS)

Esta fase es crítica y se realiza de forma iterativa, asegurando la calidad del sistema antes de su liberación. Incluye:

Ejecución de evaluaciones: Validación de que las auditorías se realicen correctamente en los sistemas objetivos según los parámetros definidos por CIS Benchmarks.

Corrección de errores: Identificación y ajuste de fallas detectadas durante la ejecución, ya sean de lógica, conexión, visualización o seguridad.

Análisis de correcciones: Verificación de que las correcciones aplicadas solucionan los errores sin generar nuevos problemas.

Reevaluación: Vuelta a ejecutar pruebas luego de aplicar correcciones para asegurar que el sistema cumple con los requerimientos.

Este ciclo se repite tantas veces como sea necesario hasta alcanzar estabilidad funcional.

VISUALIZACIÓN DE RESULTADOS Y GENERACIÓN DE REPORTES

Una vez el sistema realiza evaluaciones correctamente, esta fase se enfoca en mostrar los resultados al usuario de manera clara y estructurada:

Visualización de resultados de muestreo: Gráficos que muestren las configuraciones revisadas y su nivel de cumplimiento.

Generación de reportes: Producción automática de informes técnicos en formatos como PDF, que resuman los hallazgos y cumplimiento con CIS Benchmarks.

ENTREGA DEL PRODUCTO FINAL

Después de haber completado todas las fases anteriores, se realiza la liberación del software como producto funcional. Se valida que:

El sistema cumple con los requisitos funcionales y no funcionales.

Se ha documentado correctamente su uso.

Está listo para ser utilizado por los equipos de ciberseguridad de la organización.

Esta fase puede incluir una sesión de capacitación y la entrega de manuales de usuario y administrador.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

RESULTADOS

La futura implementación del software propuesto se proyecta como una herramienta clave para la automatización de la verificación y corrección de configuraciones de seguridad en servidores críticos, siguiendo los lineamientos de los CIS Benchmarks. Con base en el diseño, los objetivos y las pruebas preliminares, se anticipan los siguientes beneficios:

Automatización efectiva de auditorías de seguridad

El sistema será capaz de escanear configuraciones clave del sistema operativo, identificar desviaciones y generar reportes alineados con los estándares CIS. Se espera mantener una tasa de detección de configuraciones erróneas superior al 90% en entornos reales.

Reducción significativa en tiempos de evaluación y corrección

Se proyecta una disminución de hasta un 60% en el tiempo destinado a auditorías manuales, lo que permitirá a los equipos de ciberseguridad enfocarse en tareas estratégicas y mejorar su eficiencia operativa.

Interfaz intuitiva y visualización clara de resultados

La plataforma proporcionará a los usuarios una experiencia sencilla para interpretar hallazgos de seguridad, facilitando decisiones rápidas y fundamentadas ante desviaciones en la configuración.

Alta aceptación por parte de usuarios técnicos

Se prevé que el 85% de los profesionales en ciberseguridad valoren positivamente la automatización del proceso, y que el 75% priorice su alineación con los CIS Benchmarks, fortaleciendo su adopción institucional.

Cumplimiento normativo y trazabilidad fortalecida

Los reportes automáticos en formatos técnicos y ejecutivos permitirán mantener evidencia clara de cumplimiento regulatorio, facilitando auditorías internas y externas con mayor control y transparencia.

DISCUSIÓN

Desde una perspectiva a futuro, los resultados esperados posicionan esta solución como una herramienta integral para mejorar la postura de seguridad en organizaciones que manejan infraestructuras críticas. Su aplicación no solo representará un avance técnico, sino también un cambio en la cultura organizacional hacia la prevención proactiva y el cumplimiento estructurado de estándares de seguridad.

La automatización de las auditorías con base en los CIS Benchmarks permitirá cerrar la brecha existente entre el conocimiento normativo y su ejecución técnica. Aunque muchas organizaciones cuentan con herramientas como firewalls o antivirus, este desarrollo busca resolver una de las debilidades menos abordadas: la correcta configuración de los servidores.

Se espera que el software se convierta en un habilitador de capacidades en ciberseguridad, especialmente en organizaciones con recursos limitados, al reducir la dependencia de personal altamente especializado. No obstante, también se proyecta que esta herramienta se complemente con otras tecnologías como SIEM, gestión de vulnerabilidades y soluciones de monitoreo continuo, formando parte de una estrategia de seguridad en capas.

En términos de escalabilidad, se anticipa que el sistema podrá adaptarse a diferentes entornos, incluyendo infraestructuras híbridas y en la nube. Futuras versiones podrían integrar inteligencia artificial para sugerir correcciones basadas en patrones históricos y contexto de amenaza, así como dashboards en tiempo real con indicadores clave de riesgo.

Finalmente, el uso de la metodología Scrum permitirá que el software continúe evolucionando mediante ciclos iterativos de mejora, ajustándose a los cambios en el entorno tecnológico y a las necesidades emergentes de los usuarios. Este enfoque garantiza que la herramienta no solo sea funcional al momento de su entrega, sino que mantenga su vigencia y efectividad a lo largo del tiempo.

CONCLUSIÓN

A partir del análisis realizado, se concluye que la automatización en la verificación y corrección de configuraciones de seguridad en servidores críticos representa una necesidad urgente ante el crecimiento exponencial de los ataques cibernéticos y la sofisticación de sus métodos. La solución propuesta, basada en el diseño de un software guiado por los lineamientos de los CIS Benchmarks, tiene el potencial de convertirse en una herramienta clave para la gestión proactiva de la ciberseguridad en entornos organizacionales.

Se proyecta que su implementación no solo permitirá mejorar la eficiencia operativa al reducir los tiempos de auditoría y remediación, sino también fortalecerá la cultura de cumplimiento normativo y prevención de riesgos. Además, brindará soporte técnico a equipos con recursos limitados, minimizando la necesidad de conocimientos especializados para aplicar buenas prácticas de hardening.

La automatización de procesos críticos como la evaluación de configuraciones y la generación de reportes técnicos aumentará significativamente la visibilidad sobre el estado de los sistemas, facilitando la toma de decisiones informadas y anticipadas. A medida que evolucione, el sistema podría integrarse con soluciones como SIEM, análisis de vulnerabilidades e inteligencia artificial, posicionándose como parte esencial de una estrategia de seguridad en capas.

En un escenario futuro, esta herramienta podrá escalar hacia entornos más complejos como infraestructuras en la nube o híbridas, adaptándose a nuevos desafíos tecnológicos y operativos. El uso de metodologías ágiles como Scrum asegurará una evolución continua y orientada a las necesidades reales de los usuarios.

En definitiva, este trabajo sienta las bases para un enfoque más automatizado, eficiente y normativamente alineado en la protección de activos críticos, destacando que el fortalecimiento de servidores no debe depender únicamente de tecnologías de seguridad tradicionales, sino de procesos estructurados, visibilidad constante y adaptabilidad futura.

BIBLIOGRAFÍA

- Alban, Y. A. (2020). Diseño e implementación de una metodología de hardening para los servidores, estaciones de trabajo y directorio activo del ministerio de hacienda y crédito público. Recuperado de Google Académico: <http://repository.unipiloto.edu.co/handle/20.500.12277/8206> (p. 41)
- Anderson, R. (22 de Diciembre de 2020). Recuperado de https://www.google.com.mx/books/edition/Security_Engineering/GNIHEAAAQBAJ?hl=es-419&gbpv=0 (p. 216)
- Charles P. Pfleeger, S. L. (2003). Google Libros. Recuperado de https://google.com.mx/books/edition/Security_in_Computing/O3VB-zspJo4C?hl=es-419&gbpv=0 (p. 96)
- Dafydd Stuttard, M. P. (2011). Google Libros. Recuperado de https://www.google.com.mx/books/edition/The_Web_Application_Hacker_s_Handbook/YJKbVzeabJYC?hl=es-419&gbpv=0 (p. 121)
- Erickson, J. (Febrero de 2008). Google Libros. Recuperado de [https://www.google.com.mx/books/edition/Hacking_The_art_Of_Exploitation/6JJPdWAAQBAJ?hl=es-419&gbpv=1&dq=Erickson,+J.+\(2008\).+Hacking:+The+Art+of+Exploitation.&printsec=frontcover](https://www.google.com.mx/books/edition/Hacking_The_art_Of_Exploitation/6JJPdWAAQBAJ?hl=es-419&gbpv=1&dq=Erickson,+J.+(2008).+Hacking:+The+Art+of+Exploitation.&printsec=frontcover) (p. 52)
- Iza Sanhueza, L. J. (2020). Propuesta Metodológica para evaluar la seguridad del entorno informático de la Caja Central de cooperativas mediante procesos de Hardening. Recuperado de Google Académico: <https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/24845/1/T-ESPE-044544.pdf> (p. 24)
- Merlos, B. (2021). Bastionado de servidores. Desarrollo de herramienta de auditoría. Recuperado de Google Académico: <https://repositorio.ual.es/handle/10835/13520> (p. 65)
- Schneier, B. (2015 de Octubre de 2015). Google Libros. Recuperado de https://www.google.com.mx/books/edition/Applied_Cryptography/01vfjgEACAAJ?hl=es-419 (p. 67)
- Stallings, W. (28 de Julio de 2016). Google Libros. Recuperado de https://www.google.com.mx/books/edition/Network_Security_Essentials/HEWwDAEACAAJ?hl=es-419 (p. 267)
- Szor, P. (2005 de Febrero de 2005). Google Libros. Recuperado de https://www.google.com.mx/books/edition/The_Art_of_Computer_Virus_Research_and_D/XE-ddYF6uhYC?hl=es-419&gbpv=0 (p. 52)

Características fisicoquímicas del tallo del girasol silvestre (*Helianthus Annuus L.*)

DOI: 10.60968/iaet.3594-035X.870

Maytet Salazar Fuentes¹, Erika García Domínguez², Rigoberto Barrios Francisco³, Rosalba Ramírez Noriega⁴, José Abraham Colin Molina⁵

^{1, 2, 3, 4, 5} Tecnológico Nacional de México-Tecnológico de Estudios Superiores de San Felipe del Progreso
e-mail: erikagarcia.tessfp@gmail.com

Línea de investigación: Ciencia básica en Ingeniería Química

Resumen

En la presente investigación se evaluaron de las propiedades fisicoquímicas del tallo del girasol silvestre (*Helianthus Annuus L.*), mediante la siguiente metodología: se preparó el material mediante un tratamiento físico-mecánico que consistió en lavado, secado, reducción de tamaño y tamizado (partícula número 30 micrones). Se determinaron las variables del pH, densidad aparente y real, contenido de humedad, cenizas, materia volátil, carbón fijo y cenizas, el contenido de grasas mediante el método soxhlet. Y el químico elemental y Microscopia Electrónica de Barrido (MEB).

Los resultados del material del tallo de girasol, mostraron tener un pH básico de 7.83, densidad aparente 0.73 g/mL y la densidad real de 0.56 g/mL, humedad 8.84%, cenizas 10.05%, material volátil 11.96%, carbón fijo 69.15% y grasas 8.33%. La composición química elemental del tallo presenta carbono (39.09%), oxígeno (59.86%) y potasio (1.05%), estos resultados representan parámetros que pueden presidir al uso de las biomásas en diferentes procesos como de bioadsorción, en el diseño de columnas empacadas o procesos termoquímicos, etc., ya que influyen significativamente en el rendimiento de la conversión del proceso y la red de la cadena de suministro asociada para el manejo y transporte de materiales.

Palabras clave: tallo de girasol, biomasa, propiedades.

Abstract

In this study, the physicochemical properties of wild sunflower stems (*Helianthus annuus L.*) were evaluated using the following methodology: the material was prepared through a physical-mechanical treatment consisting of washing, drying, size reduction, and sieving (particle size 30 microns). The variables pH, apparent and true density, moisture content, ash, volatile matter, fixed carbon and ash, and fat content were determined using the Soxhlet method. Elemental chemistry and Scanning Electron Microscopy (SEM) were also used.

The results of the sunflower stem material showed a basic pH of 7.83, apparent density of 0.73 g/mL and true density of 0.56 g/mL, moisture content of 8.84%, ash content of 10.05%, volatile matter content of 11.96%, fixed carbon content of 69.15%, and fat content of 8.33%. The elemental chemical composition of the stem includes carbon (39.09%), oxygen (59.86%), and potassium (1.05%). These results represent parameters that can influence the use of biomass in various processes such as biosorption, packed column design, or thermochemical processes, as they significantly influence the conversion efficiency of the process and the associated supply chain network for material handling and transportation.

Keywords: sunflower stem, biomass, properties.

INTRODUCCIÓN

En el Estado de México hay gran variedad de plantas silvestres que son estudiadas para diferentes procesos, como es el caso de bioadsorción, elaboración de biopolímeros, u otros productos naturales. Las biomásas en general suelen ser analizadas, evaluadas y caracterizadas a través de sus propiedades físicas, químicas, térmicas, espectrofotométricas.

En una investigación Alfonso, M. F. y col., (2017) buscaron una alternativa para la fabricación de papel artesanal, con características similares al que se obtiene a partir de la celulosa extraída de la corteza de los árboles, a través del aprovechamiento de los residuos vegetales que contienen altos porcentajes de celulosa tales como pétalos de rosas, vástago de plátano y tallos de girasol, para ser aprovechados.

El análisis de documentos históricos de México y “semillas” arqueológicas recientemente descubiertas en Tabasco y Morelos, México, indican que los girasoles cultivados fueron importantes durante la época prehispánica y del virreinato en el centro de México. Cabe mencionar que los achenios prehistóricos más grandes y más antiguos son de México. Aunque hoy en día las plantas silvestres son genéticamente distantes de los cultivares comerciales contemporáneos, las evidencias indican que México es el centro de origen más antiguo (Bye R, y col., 2009).

En el Estado de México se encuentra la planta silvestre conocida como girasol o mirasol cuyo nombre científico es (*H. Annuus* L); que crece espontáneamente mediante su semilla en primavera, es una planta anual, polivalente, llega a medir hasta 4 m de altura, se desarrolla durante los meses de abril a noviembre, con usos comestibles, ornamentales, medicinales y oleaginosos; y que es muy común encontrarla en bordes de zanjas y caminos o incluso hasta en terrenos baldíos del municipio de San Felipe del Progreso y alrededores.

Por lo tanto, este proyecto tiene como objetivo evaluar las propiedades fisicoquímicas como pH, densidad real, densidad aparente, % de humedad, % de cenizas, % de carbón fijo, % de materia volátil, % de grasas, MEB, del tallo de girasol silvestre (*H. Annuus* L.) en base seca para darle un valor agregado a los residuos del tallo de girasol, o para la elaboración de polímeros naturales.

DESARROLLO

OBJETIVO GENERAL Y OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Evaluar las propiedades fisicoquímicas del tallo de girasol silvestre (*Helianthus Annuus* L) en base seca para su caracterización.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Obtener el material orgánico mediante el método físico (lavado, secado y molienda).
- Determinar las propiedades de: pH, densidad real y aparente, porcentaje de humedad, contenido de materia volátil, carbón fijo y cenizas, contenido de grasas (extracto etéreo) mediante el método de extracción Soxhlet.
- Determinación del químico elemental del tallo de girasol en base seca.

OBJETO DE ESTUDIO

En este proyecto se evaluaron las propiedades fisicoquímicas como pH, densidad real, densidad aparente, % de humedad, % de cenizas, % de carbón fijo, % de materia volátil, % de grasas, MEB, del tallo de girasol silvestre (*H. Annuus* L.) en base seca. Con este material analizado y posteriormente continuar con su caracterización, se podrá contar un material que podrá tener diferentes aplicaciones tales como en alternativas en polímeros, procesos de adsorción, como materiales térmicos entre otros.

METODOLOGÍA

Se preparo el material del tallo del girasol, para posteriormente determinar cada una de las propiedades planteadas en los objetivos. Esta investigación se llevó a cabo en el laboratorio de investigación del departamento de Ingeniería Química del Tecnológico de Estudios Superiores de San Felipe del Progreso – Tecnológico Nacional de México.

FASES DEL DESARROLLO 1:

Obtención del material

Primero se obtuvo la biomasa del tallo del girasol en San Felipe del Progreso, Estado de México, posteriormente se aplicó el método físico-mecánico que consistió en limpiar y lavar con agua destilada el material, después se llevó a cabo un secado a temperatura ambiente ($25^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$) durante 2 días, posteriormente se realizó la reducción de tamaño manualmente con ayuda de un cortador para facilitar la molienda en el molino de discos Dayton, logrando obtener el tamaño de partícula deseado utilizando tamices (marca MONT INOX) con mallas de número 30, 50 y 60 micrones.

FASES DEL DESARROLLO 2:

Determinación de las propiedades fisicoquímicas

Se le determinaron las propiedades fisicoquímicas del material del tallo del girasol como pH preparando una solución acuosa con 2 g de la muestra para la medición del pH. Para la medición de la densidad aparente se pesaron 10 g del material en una balanza analítica dentro de una probeta de 100 mL para obtener el peso en masa (g) y volumen (mL); para la densidad real por el método de la probeta se pesaron 10 g del material después se procede a dar un golpecito considerando un tiempo de 1 segundo para verificar el volumen ocupado por la muestra, se registra el volumen final.

La determinación de humedad se realizó por el método de referencia D 3173), se pesaron 3 g de la biomasa en cada una de las capsulas de porcelana (peso constante) y se introducen a la mufla alrededor de 1 hora, después se deja enfriar en el desecador y se pesa, para los cálculos se utiliza la fórmula de diferencias de peso indicada en el método. Determinación de Cenizas (método de referencia D 3174), se pesaron 3 g de muestra en cada una de las capsulas de porcelana, se pesa, se registra y se colocó en la mufla por 2 h a una temperatura de 550 ± 10 °C dejando enfriar por 10 minutos, luego se pasó a un desecador para dejar enfriar a temperatura ambiente para pesar de nuevo y registrar los datos para los cálculos, donde el contenido de cenizas en base seca. Determinación del contenido de materia volátil (Método de referencia D 3175), se pesaron 3 g del material en una capsula de porcelana, posteriormente se introdujo a mufla a 990 ± 10 °C por $7 \text{ min} \pm 5 \text{ s}$. Después se sacaron las capsulas de porcelana dejando enfriar para luego pasarlas al desecador para que alcancen temperatura ambiente para que una vez frías se procede a pesar y realizar el cálculo del material volátil. El carbón fijo se expresa como porcentaje en base seca, se suele estimar como una diferencia de pesos en porcentaje. Determinación del contenido de grasas, se utilizó la técnica de extracción soxhlet, se pesa el matraz bola vacío después se le agregaron perlas de ebullición, se pesaron 1.2 g de muestra que se colocaron en el cartucho de celulosa, se le adicionaron 250 mL de éter de petróleo en el matraz, dejando la recirculación durante 5 horas a una temperatura de 80 °C, posteriormente se procedió a realizar la destilación para separar el éter de petróleo y se introdujo el vaso de precipitado en la campana de extracción, para así pesar el matraz vacío con las perlas de ebullición y por último se realizaron los cálculos.

FASES DEL DESARROLLO 3:

Obtención de la composición química y Microscopia Electrónica de Barrido (MEB)

Al material obtenido del tallo de girasol con un tamaño de partícula malla 30 en base seca se le determinó la composición química y la MEB.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La obtención tallo de girasol fue mediante el proceso físico mecánico, se observaron las siguientes características físicas:

Composición textural: Se observó que la superficie del tallo seco tiene una textura fibrosa y rígida, con fibras alargadas y compactas. Estas propiedades le confieren al material una cierta resistencia mecánica, lo que sugiere su posible uso en la fabricación de materiales compuestos. Presento un color blanco el tallo seco es durante el proceso de secado a la temperatura ambiente de $25^\circ\text{C} (\pm 2^\circ\text{C})$ durante 3 días, de que no afectó de manera significativa la integridad estructural del material. Se obtuvo el tamaño de partícula con la malla 30, 50 y 60, quedando entre un color blanco con café, y textura suave, solo se utilizó la malla 30.

A continuación, en la tabla 1, se presentan los resultados obtenidos durante el desarrollo experimental. Los resultados de las propiedades fisicoquímicas del material del tallo de girasol, demostraron tener un pH básico de 7.83, densidad aparente y real menor de 0.73 g/ml, una humedad 8.84%, cenizas 10.05%, material volátil 11.96%, carbón fijo 69.15% y grasas 8.33%, estos datos nos representan parámetros que pueden presidir al uso de las biomásas en diferentes procesos como de bioadsorción, en el diseño de columnas empacadas o procesos termoquímicos, etc., ya que influyen significativamente en el rendimiento de la conversión del proceso y la red de la cadena de suministro asociada para el manejo y transporte de materiales.

Tabla 1

Propiedades fisicoquímicas del tallo (H. Annuus L.).

Biomasa	pH	Densidad real (g/mL)	Densidad aparente (g/mL)	Humedad (%)	Cenizas (%)	Materia volátil (%)	Carbón fijo (%)	Grasas (%)
Muestra A	7.8	0.62	0.71	8.82	9.26	11.97	69.95	8.33
Muestra B	7.9	0.55	0.76	8.92	10.26	12.87	67.95	9.17
Muestra C	7.8	0.51	0.72	8.77	10.64	11.05	69.54	7.5
Promedio	7.83	0.56	0.73	8.84	10.05	11.96	69.15	8.33
Desviación Estándar (σ)	0.06	0.06	0.03	0.08	0.71	0.91	1.06	0.84

De acuerdo con los resultados realizados al tallo del girasol en base seca de la composición química elemental (tabla 2) está compuesta principalmente por los siguientes elementos:

Carbono (C): El carbono es un elemento fundamental en la estructura de las moléculas orgánicas, como carbohidratos, proteínas y lípidos, presentes en las células vegetales. Representa una gran parte de la composición del tallo. Este elemento representa aproximadamente el 40-50% de la masa seca.

Oxígeno (O): Se encuentra en gran parte del agua (H_2O) y en los compuestos orgánicos como carbohidratos y proteínas. Constituye entre el 40-60% de la masa seca del tallo.

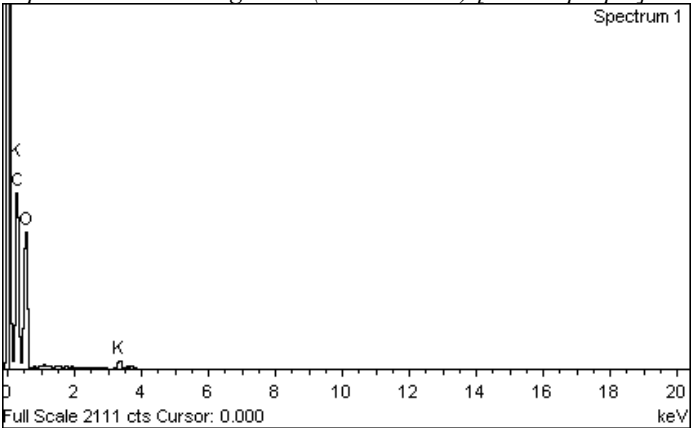
Potasio (K): Es un macronutriente que juega un papel vital en la regulación del agua y el equilibrio iónico en la planta, además de ser importante para la síntesis de proteínas. Se encuentra en concentraciones de aproximadamente el 0.5-1.5% de la masa seca del tallo.

Tabla 2
Químico elemental del tallo de girasol (H. Annuus L.).

Elemento	Peso (%)	Atómico (%)
C	39.09	46.34
O	59.86	53.28
K	1.05	0.38
Total	100.00	100.00

En términos generales, los elementos orgánicos como carbono y oxígeno constituyen la mayor parte de la biomasa del tallo, mientras que el nutriente mineral como potasio es fundamentales para el crecimiento y el funcionamiento de la planta, aunque están presentes en menores proporciones tal como se muestra en la figura 1, que representa la forma gráfica de los elementos identificados.

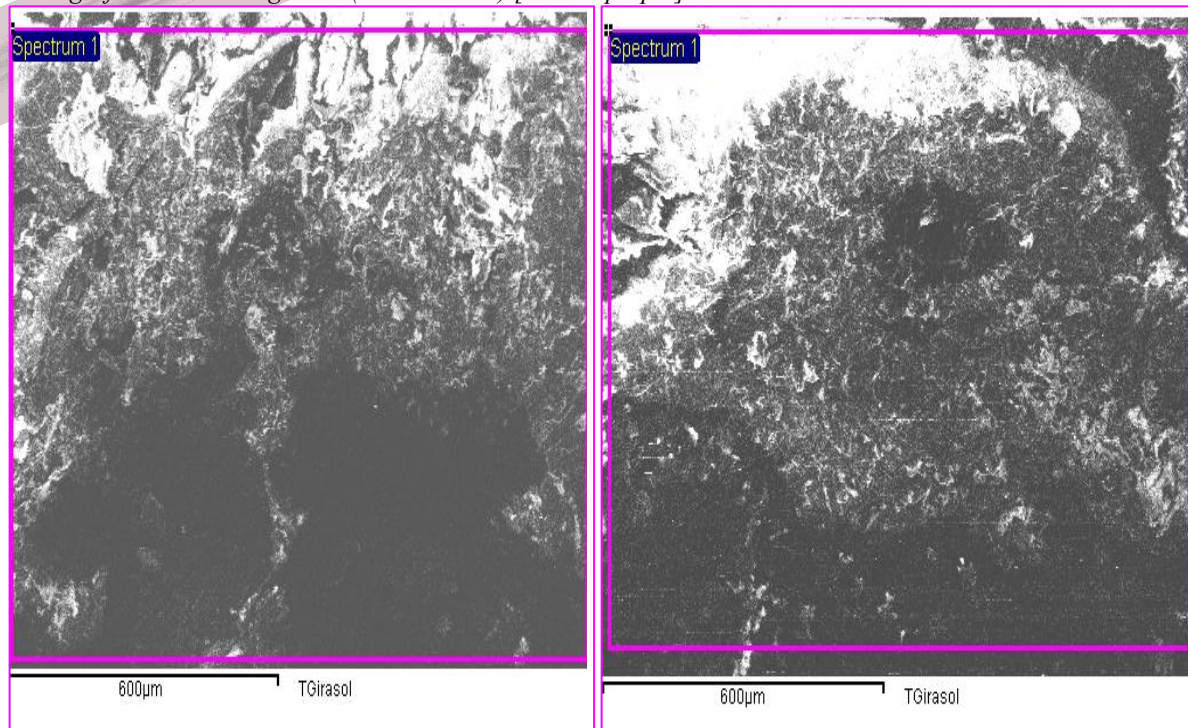
Figura 1
Espectro del tallo de girasol (H. Annuus L.) [Fuente propia]



La micrografía electrónica de barrido (MEB) del tallo del girasol revela una imagen detallada de la estructura de este tejido vegetal a una escala microscópica de igual modo se registran elementos como K, C y O, permitiendo observar características morfológicas que no son visibles a simple vista. En la figura 2, muestra las imágenes obtenidas mediante el uso del MEB, se pueden identificar diversas estructuras celulares y sus interacciones, fundamentales para entender la fisiología y funcionamiento de la planta. Se pueden observar las capas de la pared celular, que varían en grosor dependiendo del tipo de célula y su función específica dentro del tallo. En la micrografía, se aprecian formas irregulares, con paredes relativamente delgadas y grandes, también permite examinar la superficie del tallo con gran detalle,

Figura 2

Micrografía del tallo de girasol (*H. Annuus L.*) [Fuente propia]



CONCLUSIÓN

Propiedades fisicoquímicas del tallo de Girasol demostraron que es un material que posee características específicas que podrían ser relevantes para su uso en diversas aplicaciones, como es el caso del contenido de Carbono Fijo y Cenizas en el tallo de girasol presenta un contenido significativo de carbono fijo, lo cual es indicativo de su potencial como fuente de energía, especialmente en procesos de combustión.

La composición química en el tallo del girasol, puede variar en cada elemento dependiendo de las condiciones de cultivo y el estado de crecimiento de la planta. La micrografía electrónica de barrido del tallo del girasol proporciona una visión detallada y precisa de su estructura interna y externa. A través de esta técnica, se puede estudiar en profundidad la organización celular, los tejidos vegetales y sus adaptaciones morfológicas, para comprender los mecanismos biológicos que permiten para sus futuras aplicaciones. De acuerdo con Goche-Télles, J. R., y col., (2023) determinaron la calidad de la madera con base en sus propiedades físicas, y la cantidad de biomasa en una plantación de *Pinus engelmannii*, Los resultados que presentaron indican que la DB fue de 0.379 g cm⁻³, CH de 199.37%, CVT de 13.63%, PSF de 39.28% y promedio de biomasa fustal de 22.79 kg. La biomasa presentó relación con la densidad básica y el diámetro normal, esta investigación se relaciona con las variables evaluadas en el tallo del girasol. También en otra investigación por Suaña Quispe, M. E. (2017) sobre el girasol (*Helianthus annuus L.*) tuvo como objetivos determinar la concentración de cadmio en suelos contaminados provenientes del centro poblado La Rinconada Puno y determinar la capacidad de absorción de cadmio por el de la raíz, tallo y hoja del girasol, se realizó en ambiente controlado al interior del invernadero La raíz de plantas de girasol presenta una media de absorción de cadmio de 5.716%, tallo con 1.217% y hojas 0.529% de absorción; encontrando mayor absorción del cadmio, se produce a nivel radicular. En general, las propiedades fisicoquímicas y químicas del tallo de girasol demuestran que este material tiene un considerable potencial como biomaterial sustentable.

AGRADECIMIENTOS

Les agradezco a la división del Ingeniería Química por prestar sus instalaciones del laboratorio de investigación del Tecnológico de Estudios Superiores de San Felipe del Progreso -TecNM para la realización de la investigación. También al Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares (ININ) ubicado en la Marquesa carretera Toluca – México por su valioso apoyo para realizar el químico elemental y la Microscopia Electrónica de Barrido (MEB).

REFERENCIAS

-Alfonso Moreno F., Robayo, Quintana M., Ferrucho, Rodríguez L., Vargas, Oyola M. (2017). “Aprovechamiento de residuos vegetales de pétalos de rosas, tallos de girasol y vástago de plátano para la fabricación artesanal de papel”, I, vol. 11, no. 20, pp. 71–82, Feb. 2016, DOI: 10.26620/uniminuto.inventum.11.20.2016.71-82.

Recuperado 09 de junio de 2025: <https://revistas.uniminuto.edu/index.php/Inventum/article/view/1444>

-Goche Télles, José Rodolfo, Carrillo-Parra, Artemio, Razo-Zarate, Ramón, Rodríguez-Laguna, Rodrigo, & Palacios-Mendoza, Celina. (2023). Propiedades físicas y biomasa fustal de *Pinus engelmannii* proveniente de una plantación en Durango. Ecosistemas y recursos agropecuarios. Versión On-line ISSN 2007-901X versión impresa ISSN 2007-9028. Ecosistemas y recur. agropecuarios vol.10 no.1 Villahermosa ene./abr. 2023 Epub 04-Ago-2023. <https://doi.org/10.19136/era.a10n1.3004>.

Recuperado 04 de junio de 2025:

https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2007-90282023000100013&script=sci_arttext

-Linares E, Lentz DL. México: Centro de Origen de la Domesticación del Girasol. CONSEJO Rev. Especializada en Ciencias Químico - Biológicas. 2009;12 (1):5-12.

-Suaña Quispe, M. E. (2017). Capacidad del girasol (*Helianthus annuus* L.) para absorber cadmio de suelos contaminados en ambiente controlado-Puno. Universidad Nacional Del Altiplano. Tesis de Doctorado

Recuperado 06 de junio de 2015

https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/RNAP_4787561784eae8f0c760018cbc6526af

Innovación digital para la preservación del hábitat rural sostenible

DOI: 10.60968/iaet.3594-035X.871

Cristy Elizabeth Aguilar Ojeda ¹, Jorge Luis Rodríguez Ruiz², Eliud Paredes Reyes³

¹ Tecnológico Nacional de México Campus ITS del Occidente del Estado de Hidalgo/caguilar@itsoeh.edu.mx

² Tecnológico Nacional de México Campus ITS del Occidente del Estado de Hidalgo/jrodriguez@itsoeh.edu.mx

³ Tecnológico Nacional de México Campus ITS del Occidente del Estado de Hidalgo/eparedes@itsoeh.edu.mx

Línea de investigación: Sistemas, Bases de Datos y Plataformas Computacionales

Resumen

El presente artículo describe el desarrollo de una aplicación móvil multiplataforma diseñada para preservar, difundir y fortalecer los conocimientos tradicionales relacionados con la construcción con materiales naturales, la producción agroecológica y las ecotecnias en regiones rurales semiáridas, específicamente en el Valle del Mezquital. El objetivo principal fue crear una herramienta digital accesible y pertinente culturalmente, que facilite la documentación, visualización y guía de prácticas sustentables, promoviendo el aprendizaje autónomo y la participación comunitaria. La investigación utilizó la metodología del Modelo Móvil Sprint (MMS), un enfoque híbrido que combina elementos de SCRUM, Mobile-D y KANBAN, permitiendo un desarrollo ágil, iterativo y adaptable. Esta metodología facilitó la colaboración con comunidades locales, integrando saberes tradicionales y necesidades específicas, mediante ciclos breves de retroalimentación con los usuarios. Como resultado, se logró una aplicación compatible con Android e iOS, con contenidos multimedia y recursos interactivos diseñados para contextualizar los conocimientos y promover prácticas sostenibles. La evaluación inicial indica una alta usabilidad y pertinencia cultural, además de facilitar la participación activa de las comunidades en su propio proceso de aprendizaje y gestión del patrimonio socioecológico. En conclusión, la propuesta demuestra que las tecnologías móviles, cuando son contextualizadas y participativas, constituyen herramientas valiosas para la revitalización del conocimiento tradicional y el fortalecimiento de la sostenibilidad territorial, contribuyendo a una educación inclusiva y relevantes para las comunidades rurales.

Palabras clave: Bases de datos dinámicas, comunidades rurales, conservación del patrimonio, desarrollo participativo, tecnologías móviles

Abstract

This article describes the development of a cross-platform mobile application designed to preserve, disseminate, and strengthen traditional knowledge related to natural building techniques, agroecological production, and ecotechnologies in semi-arid rural regions, specifically in the Valle del Mezquital. The main objective was to create an accessible and culturally relevant digital tool that facilitates the documentation, visualization, and guidance of sustainable practices, promoting autonomous learning and community participation. The research employed the Mobile Sprint Model (MSM) methodology, a hybrid approach that combines elements of SCRUM, Mobile-D, and KANBAN, enabling agile, iterative, and adaptable development. This methodology supported collaboration with local communities by integrating traditional knowledge and specific needs through short user-feedback cycles. As a result, an Android and iOS-compatible application was developed, featuring multimedia content and interactive resources designed to contextualize knowledge and encourage sustainable practices. Initial evaluations indicate high usability and cultural relevance, as well as fostering active community engagement in their own learning and socio-ecological heritage management processes. In conclusion, the findings demonstrate that mobile technologies, when contextualized and participatory, are valuable tools for revitalizing traditional knowledge and strengthening territorial sustainability, contributing to inclusive and community-relevant education in rural settings.

Keywords: Dynamic databases, rural communities, heritage conservation, participatory development, mobile technologies.

INTRODUCCIÓN

El presente artículo documenta el desarrollo de una aplicación móvil multiplataforma diseñada para difundir, guiar y preservar los saberes tradicionales vinculados a la construcción con materiales naturales, la producción agroecológica y el uso de ecotécnicas en regiones rurales semiáridas. Esta solución tecnológica surge como respuesta a la necesidad de contar con herramientas digitales pertinentes y accesibles que no solo transmiten información, sino que acompañen procesos comunitarios de sostenibilidad desde un enfoque territorial.

La variable dependiente de esta investigación es la eficacia del entorno digital interactivo como herramienta para la preservación y difusión del patrimonio socioecológico local. Como variables independientes se identifican: (1) el uso de tecnologías móviles accesibles (React Native), (2) la incorporación de contenidos multimedia adaptados al contexto y (3) la estructura metodológica empleada (Modelo Móvil Sprint, MMS) para el desarrollo del software.

En relación con el objetivo general, el proyecto se articula en torno a la creación de una aplicación que responda tanto a criterios técnicos como pedagógicos y culturales, con base en los siguientes factores: la sistematización de saberes locales, la arquitectura tecnológica centrada en la experiencia del usuario rural, y la validación participativa con actores comunitarios. Los objetivos específicos abordan tres dimensiones clave: la organización del conocimiento técnico y contextual (sistematización), la implementación tecnológica del producto (desarrollo), y la evaluación funcional de la solución creada (validación).

A través de este desarrollo, se busca no solo documentar un proceso técnico, sino también reflexionar sobre el papel que juegan las tecnologías móviles en la revitalización del conocimiento tradicional y la transformación educativa desde los márgenes territoriales.

DESARROLLO

OBJETIVO GENERAL Y OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Diseñar una aplicación móvil multiplataforma interactiva, que permita difundir, guiar y preservar el conocimiento relacionado con la construcción con materiales naturales, la producción agroecológica y las ecotécnicas tradicionales, mediante el uso de tecnologías digitales accesibles y adaptadas al contexto rural semiárido.

Objetivos Específicos

Sistematizar la información técnica y contextual sobre las técnicas constructivas, prácticas agroalimentarias y ecotécnicas tradicionales, mediante el análisis y documentación de experiencias locales para su incorporación en una base de datos dinámica.

Desarrollar una aplicación móvil utilizando React Native, que permita la integración de contenidos multimedia, recursos interactivos y guías prácticas dirigidas a la construcción y producción sustentable en zonas rurales.

Evaluar la funcionalidad, accesibilidad y usabilidad de la aplicación en dispositivos Android e iOS, con base en pruebas técnicas y retroalimentación de usuarios, para optimizar su rendimiento y asegurar su pertinencia cultural y tecnológica.

OBJETO DE ESTUDIO

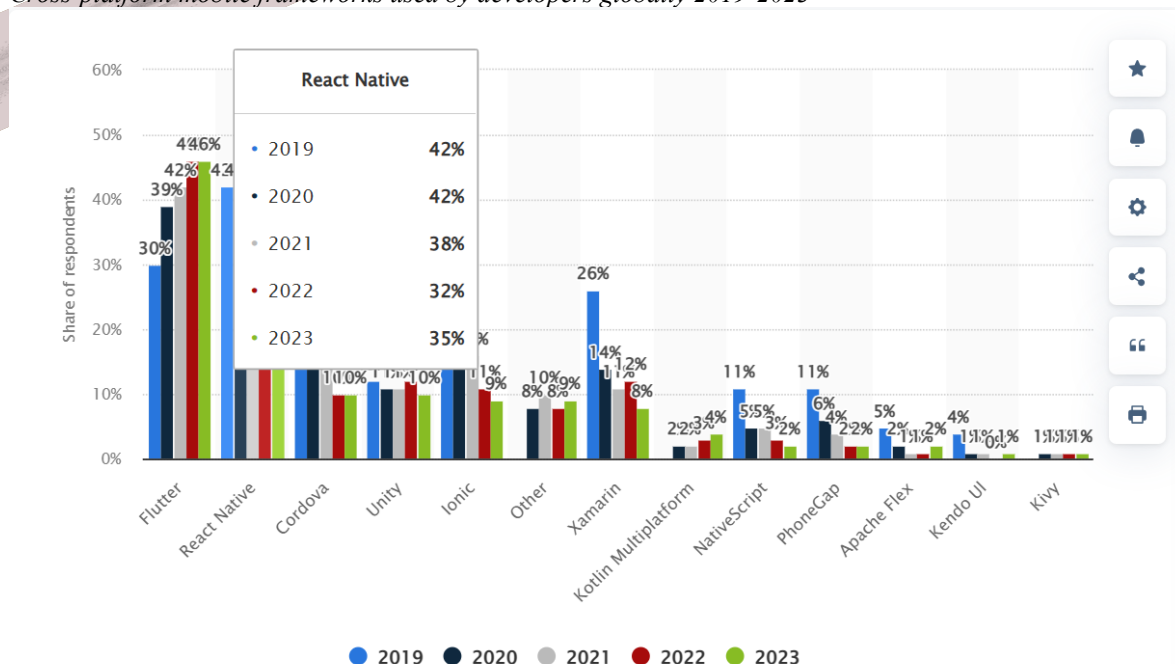
El objeto de estudio de este artículo es el desarrollo de una aplicación móvil multiplataforma orientada a la preservación y difusión del conocimiento tradicional sobre construcción con materiales naturales, producción agroecológica y uso de ecotécnicas en regiones rurales semiáridas. En particular, se analiza la creación de un entorno digital interactivo que permita documentar, visualizar y guiar prácticas sustentables, apoyado en herramientas tecnológicas accesibles para diversas comunidades.

Este enfoque se alinea con los principios promovidos por la UNESCO, que destacan la importancia de que el aprendizaje digital esté centrado en la equidad, la inclusión y la pertinencia contextual. La implementación de tecnologías móviles en este proyecto no solo busca mejorar el acceso a la información, sino también reconocer, valorar y fortalecer los saberes locales mediante herramientas que respeten la diversidad cultural y promuevan la participación activa de las comunidades rurales en su propio proceso de aprendizaje (UNESCO, 2024). Además, el desarrollo de esta aplicación responde a la necesidad de generar soluciones digitales sostenibles que no reemplacen el conocimiento existente, sino que lo complementen y amplifiquen, contribuyendo a una transformación educativa centrada en el derecho al aprendizaje a lo largo de la vida y el acceso libre al conocimiento.

Este trabajo se centra en la aplicación de React Native como framework de desarrollo, destacando sus ventajas frente a otros entornos como Flutter, en particular en lo que respecta a la reutilización de componentes web, la facilidad de mantenimiento y una compatibilidad multiplataforma eficiente. A lo largo de los últimos años, el desarrollo de aplicaciones multiplataforma se ha consolidado como una solución atractiva para proyectos con recursos limitados o necesidades de escalabilidad. De hecho, se estima que casi el 50 % de todas las aplicaciones móviles desarrolladas en 2023 utilizaron frameworks multiplataforma, lo que refleja una tendencia clara hacia entornos de desarrollo más flexibles y sostenibles (Droids on Roids, 2023).

Figura 1

Cross-platform mobile frameworks used by developers globally 2019-2023



Fuente: Droids on Roids. (2023). Flutter vs React Native: Which framework to choose in 2023? <https://www.thedroidsonroids.com/blog/flutter-vs-react-native-comparison>

Como se observa en la Figura 1, la elección de React Native en este proyecto responde a su capacidad para acelerar el desarrollo, permitir el uso de una base de código unificada y facilitar su integración con tecnologías web ya existentes, elementos clave para proyectos que priorizan la accesibilidad y la adaptabilidad tecnológica. En este caso particular, la aplicación móvil no solo busca difundir saberes tradicionales mediante contenidos multimedia e interactivos, sino también servir como una guía práctica para la construcción de hábitats rurales sostenibles, con un enfoque adaptado a las particularidades del entorno, los recursos locales y las prácticas comunitarias (FAO, 2023). Al momento de seleccionar un framework para el desarrollo de aplicaciones móviles multiplataforma, es fundamental considerar tanto las características técnicas como las necesidades específicas del proyecto y del equipo de desarrollo. En este sentido, React Native se presenta como una opción estratégica para la creación de una aplicación orientada a la preservación de saberes tradicionales y el acompañamiento en procesos de construcción de hábitats rurales sostenibles.

React Native, desarrollado por Meta y lanzado en 2015, permite crear aplicaciones nativas para Android e iOS a partir de una única base de código utilizando JavaScript, uno de los lenguajes más populares y ampliamente utilizados por los desarrolladores. Esta elección representa una ventaja significativa frente a Flutter, que aunque también es de código abierto y altamente potente, utiliza el lenguaje Dart, menos extendido fuera del ecosistema de Google y con menor aplicabilidad en otros contextos de desarrollo.

Uno de los factores clave para optar por React Native es su compatibilidad con componentes web ya existentes, lo cual acelera el desarrollo y reduce la carga de trabajo, especialmente útil en proyectos como este, donde se requiere reutilizar contenidos y estructuras provenientes de un sitio web. Esta capacidad favorece la interoperabilidad del sistema y permite que el equipo pueda concentrarse en la funcionalidad y experiencia del usuario. Aunque Flutter destaca por ofrecer widgets personalizables y una experiencia visual consistente en múltiples plataformas, React Native sobresale por permitir el uso de componentes nativos del sistema operativo, lo que garantiza que la aplicación respete la estética y el comportamiento esperados por los usuarios de cada plataforma. Esta característica resulta especialmente útil para asegurar una experiencia de usuario fluida y accesible en comunidades que pueden estar más familiarizadas con entornos móviles convencionales.

En términos de tiempo de desarrollo y mantenimiento, React Native permite iterar rápidamente gracias a su función de recarga en caliente, y aunque su sistema de actualizaciones puede ser más complejo que el de Flutter, la amplia comunidad de desarrolladores y la madurez del ecosistema facilitan la resolución de problemas y el acceso a soluciones preexistentes. Esto es esencial en proyectos comunitarios donde los recursos técnicos pueden ser limitados, pero se requiere una aplicación funcional, estable y escalable. Por último, el uso de JavaScript y React, tecnologías ampliamente conocidas por los desarrolladores, facilita la integración de nuevos colaboradores al proyecto y reduce la curva de aprendizaje, lo cual es coherente con la visión de sostenibilidad y apertura del entorno digital que se está construyendo.

En síntesis, como se puede observar en la Tabla 1; aunque ambos frameworks ofrecen capacidades potentes para el desarrollo multiplataforma, React Native se ajusta mejor a las necesidades de este proyecto por su versatilidad, facilidad de integración con tecnologías web existentes, amplia comunidad y compatibilidad con los entornos tecnológicos más comunes en iniciativas de desarrollo comunitario y educación digital.

Tabla 1
Flutter vs React Native: Tabla Comparativa

Tecnología	Flutter	React Native
¿Qué es?	Un marco de interfaz de usuario de código abierto para el desarrollo multiplataforma desde una única base de código	Un marco para el desarrollo multiplataforma utilizando React
Comunicado oficial	Diciembre de 2018, Google I/O	Marzo de 2015, Conferencia F8
Creado por	Google	Meta
Libre y de código abierto	Sí	Sí
Lenguaje de programación	Dart	JavaScript
Popularidad	170.000 estrellas en GitHub (abril de 2025)	121.000 estrellas en GitHub (abril de 2025)
Función de recarga en caliente	Sí	Sí
Dificultad	Flutter es intuitivo y fácil de entender. Para la mayoría de los principiantes, es más sencillo que React Native, especialmente porque permite usar diversas soluciones de gestión de estados, desde las más sencillas hasta las más sofisticadas, según la escala y la complejidad del proyecto.	React Native puede ser un poco más difícil de aprender, pero una vez que lo aprendes, conoces React, y viceversa. Puedes usarlo en muchos casos. Dart (el lenguaje de Flutter) normalmente solo se usa con Flutter.
Plataformas	• Android • iOS • Windows • macOS • Linux • Google Fuchsia • Web • Dispositivos integrados • Otras plataformas compatibles no oficialmente (por ejemplo, Tizen para Samsung Smart TV, LG webOS, Apple TV, etc.)	• Android e iOS (compatibles con los creadores de React Native) • Windows (todos los dispositivos compatibles con Windows 10, como PC y tabletas Xbox; compatibles con Microsoft) • MacOS (compatible con Microsoft) • Plataforma web y plataformas de TV - Android e iOS (compatibles con la comunidad)
Desarrollo de interfaz de usuario	Flutter utiliza sus propios widgets altamente personalizables que permiten a los desarrolladores ajustar sus propiedades y estilos para lograr la apariencia y el comportamiento deseados en todas las plataformas. También incluye un conjunto de widgets preconfigurados basados en los diseños Material (Android) y Cupertino (iOS), lo que conserva la estética de las aplicaciones nativas. El motor de renderizado personalizado de Flutter garantiza que la interfaz de usuario sea siempre consistente y tenga un buen rendimiento en todas las plataformas.	React Native utiliza widgets de interfaz de usuario nativos, lo que permite a los desarrolladores mantener el estilo predeterminado de la plataforma o adaptarlo a la interfaz de usuario deseada. Generalmente, hay más margen de mejora y la aplicación será más elegante.
Tiempo de desarrollo	Flutter destaca en la creación de aplicaciones con un diseño uniforme en todas las plataformas, aunque puede presentar retrasos si	JavaScript permite a los desarrolladores usar cualquier IDE o editor de texto. Si los diseños de iOS y Android difieren,

Tecnología	Flutter	React Native
	los diseños varían entre Android e iOS. React Native podría tener una ventaja en este aspecto.	React Native puede ofrecer un desarrollo más rápido que Flutter.
Tiempo de comercialización	Rápido con su biblioteca de componentes de interfaz de usuario prediseñados e ideal para MVP.	Rápido, pero potencialmente más lento que Flutter debido a optimizaciones específicas de la plataforma.
Mantenimiento	Actualice fácilmente a la nueva versión gracias a las herramientas automatizadas integradas.	Actualizar versiones puede ser un desafío y requerir un esfuerzo adicional.
Documentación	La documentación de Flutter es clara y completa, gracias a su preparación organizada y meticulosa.	La documentación de React Native, si bien no es tan destacada como la de Flutter, a menudo es considerada más fácil de usar por los desarrolladores, ya que abarca las mejores prácticas y preguntas frecuentes.
Versión más reciente	3.29.2	0,78
¿Cuándo elegir qué?	• Valora los tiempos de desarrollo rápidos. • Necesita una interfaz de usuario o animaciones altamente personalizadas. • El rendimiento es fundamental. • Su equipo está familiarizado con Dart.	• Tu equipo se siente cómodo con JavaScript y React. • Necesitas una interfaz de usuario nativa en ambas plataformas. • Valoras una comunidad grande y un ecosistema maduro. • Los gráficos 3D son importantes.

Fuente: López, D., & Sánchez, A. (2022). *Comparativa entre frameworks de desarrollo móvil: React Native vs Flutter*. *Journal de Ingeniería de Software*, 10(3), 20-35.

Además, el estudio incluye una descripción detallada del proceso de desarrollo desde la perspectiva técnica y metodológica, utilizando el Modelo Móvil Sprint (MMS), una metodología híbrida que combina principios de Mobile-D, KANBAN y especialmente SCRUM, con el objetivo de agilizar el desarrollo, garantizar revisiones constantes y, sobre todo, adaptarse a las necesidades propias del contexto rural y del patrimonio inmaterial (Pérez et al., 2021). Esta metodología no solo facilita la iteración continua y la integración de funcionalidades clave, sino que permite una mayor flexibilidad para responder a los requerimientos culturales, tecnológicos y educativos de las comunidades involucradas.

Parafraseando a Pérez et al. (2021), los dispositivos móviles pueden convertirse en herramientas significativas para construir saberes en colectivo, fomentar el aprendizaje social y propiciar el intercambio de conocimientos locales. Sin embargo, existe una brecha importante entre la dotación tecnológica —como lo ha impulsado el Gobierno colombiano con dispositivos móviles en instituciones públicas— y la calidad o pertinencia de las aplicaciones instaladas. Muchas carecen de temáticas ajustadas al contexto, no consideran el nivel educativo de los usuarios, presentan limitaciones de diseño UX/UI y no promueven un verdadero mejoramiento del proceso de enseñanza-aprendizaje.

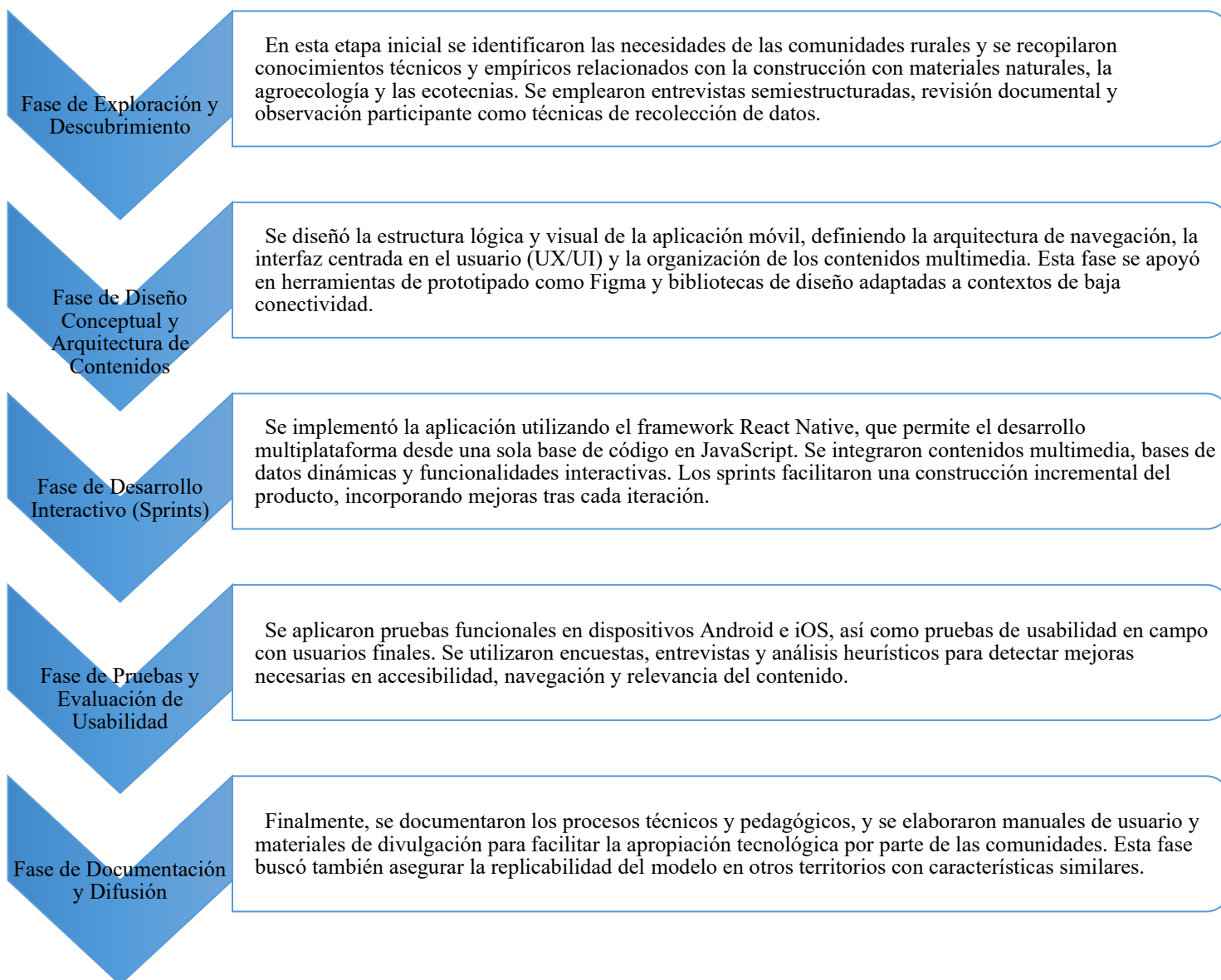
En contraste con esta problemática, el presente trabajo apuesta por una solución contextualizada al diseñar una aplicación móvil educativa centrada en la preservación del conocimiento tradicional y el fortalecimiento del aprendizaje autónomo en zonas rurales semiáridas. Tomando como base el modelo descrito por Pérez et al. (2021), este proyecto adapta sus principios al incluir estrategias metodológicas y didácticas orientadas al acompañamiento técnico de comunidades que históricamente han tenido limitado acceso a tecnología educativa pertinente. Así mismo, la aplicación no requiere que los usuarios sean expertos en programación ni en entornos digitales complejos, ya que su desarrollo ha sido pensado desde una usabilidad accesible y adaptada a diversos niveles de alfabetización digital. Esta característica resulta fundamental para garantizar la apropiación tecnológica y la sostenibilidad del entorno digital propuesto.

En este sentido, se refuerza la idea de que un modelo metodológico bien estructurado —como MMS— no solo mejora el proceso técnico de desarrollo, sino que puede convertirse en un puente entre la tecnología y el conocimiento local, al permitir la creación de herramientas móviles educativas pertinentes, inclusivas y culturalmente significativas. A través de este objeto de estudio, se pretende aportar una reflexión sobre el papel de las tecnologías móviles en la valorización del patrimonio constructivo y agroalimentario, así como en la generación de herramientas digitales que promuevan el aprendizaje autónomo, el acceso abierto al conocimiento y la sostenibilidad en comunidades rurales (Cáceres & Gómez, 2019).

METODOLOGÍA

El desarrollo tecnológico propuesto en esta investigación se enmarca dentro de una metodología de tipo aplicada, con enfoque mixto y un diseño exploratorio-descriptivo. Se empleó el Modelo Móvil Sprint (MMS) como estrategia metodológica central, una metodología híbrida especialmente diseñada para el desarrollo de aplicaciones móviles que integra características de SCRUM, Mobile-D y KANBAN. Esta combinación permite una planificación ágil, iterativa y adaptable, especialmente útil para proyectos en los que la validación constante con usuarios y el ajuste contextual son esenciales (Pérez et al., 2021).

El enfoque metodológico permitió combinar la recolección y análisis cualitativo de saberes tradicionales con la implementación técnica de una solución digital. La naturaleza híbrida del MMS posibilita trabajar en ciclos breves denominados sprints, que promueven la mejora continua mediante retroalimentación directa de los usuarios en cada fase del desarrollo. Además, su estructura flexible se ajusta a las particularidades del contexto rural semiárido, favoreciendo la co-creación de soluciones pertinentes desde lo técnico y lo cultural (López & Sánchez, 2022). La metodología se organizó en cinco fases principales:



Esta metodología no solo permitió estructurar técnicamente el proceso de desarrollo, sino también incorporar la perspectiva educativa y comunitaria en cada etapa del proyecto. Tal como lo señala la UNESCO (2023), la transformación digital de la educación requiere enfoques contextualizados, inclusivos y participativos que integren tanto tecnología como conocimiento local. La adopción de una metodología como MMS fortalece estos principios al fomentar un aprendizaje móvil adaptado a las realidades del territorio.

FASES DEL DESARROLLO

(Describe cada una de las fases de la metodología y su resultado de preferencia coloque evidencias para fundamentar la investigación (capturas de pantalla y fotografías)

Fase de Exploración y Descubrimiento: El Product Owner crea una lista priorizada de las funcionalidades, características y mejoras que se desean en el producto. Esta lista se llama "Product Backlog" y actúa como la fuente principal de requerimientos. En esta parte de la metodología el equipo de trabajo comenzó a crear las historias de usuario basándose en los requerimientos funcionales, donde a partir de estas se comienzan a crear las tareas por realizar, creando un cronograma de actividades y fechas tentativas a entregar las tareas a realizar.

Figura 2

Cronograma de actividades



Fuente: Elaboración propia

Fase de Diseño Conceptual y Arquitectura de Contenidos: Al comienzo de cada sprint (iteración), el equipo se reúne en una reunión de planificación de sprint. Durante esta reunión, seleccionan un conjunto de elementos del Product Backlog que se comprometen a completar durante el sprint. Durante el desarrollo de la segunda fase de la metodología, el equipo de trabajo asignó y seleccionó las tareas que se deben de cumplir durante el primer sprint(entrega). En esta etapa de la metodología el equipo de trabajo revisó las historias de usuario de acuerdo a su prioridad, y una vez identificadas se procedieron a realizar, como parte de los entregables del Sprint

Figura 3

Historia de Usuario (Ejemplo)

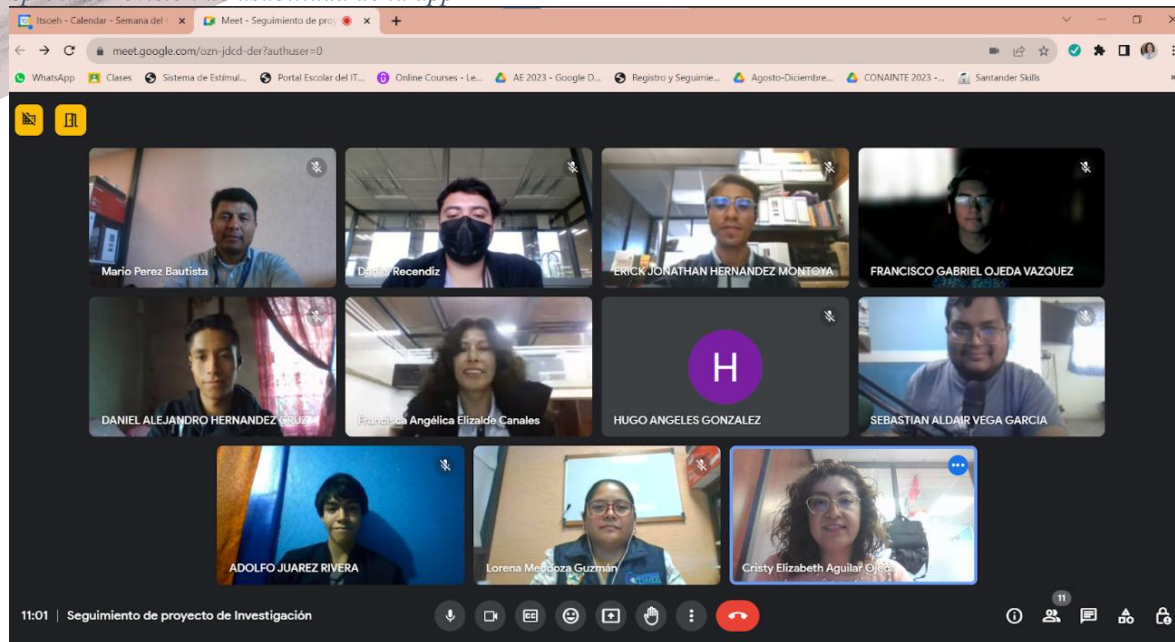
Historias De Usuario		Prioridad	Fecha de terminación
ID	01	Alta	
Título	HU01-Inicio	WireFrame	
Como	Usuario	3:15	21%
Deseo	Interactuar con el menú		
Para	Acceder a los distintos módulos		
Criterio 1	DADO que el usuario ingrese por primera vez en la aplicación, CUANDO Acceda a la misma ENTONCES se mostrará información a grandes rasgos sobre el contenido de la aplicación, y 5 botones en la parte inferior, con los que podrá navegar hacia, Inicio, Patrimonio, Hábitat, Calendario y Configuración.		
Criterio 2	DADO que el usuario quiera navegar por las diferentes secciones de la aplicación, CUANDO haga clic en el botón de Inicio con ícono de casa, ENTONCES será redirigido a la pantalla principal.		
Criterio 3	DADO que el usuario quiera navegar por las diferentes secciones de la aplicación, CUANDO haga clic en el botón de Patrimonio con ícono de persona, ENTONCES será redirigido a una nueva pantalla en donde podrá visualizar la información relacionada con el Patrimonio natural, cultural e inmaterial.		



Fase de Desarrollo Interactivo (Sprints): Un sprint es un período de tiempo fijo y corto (generalmente de 2 a 4 semanas) en el que el equipo trabaja en las tareas seleccionadas durante la planificación del sprint. Durante el sprint, el equipo se enfoca en lograr los objetivos acordados en la fase del sprint planning, acordando un tiempo de entrega por lo cual se realizó un cronograma para entregar determinadas tareas y tener un avance del proyecto.

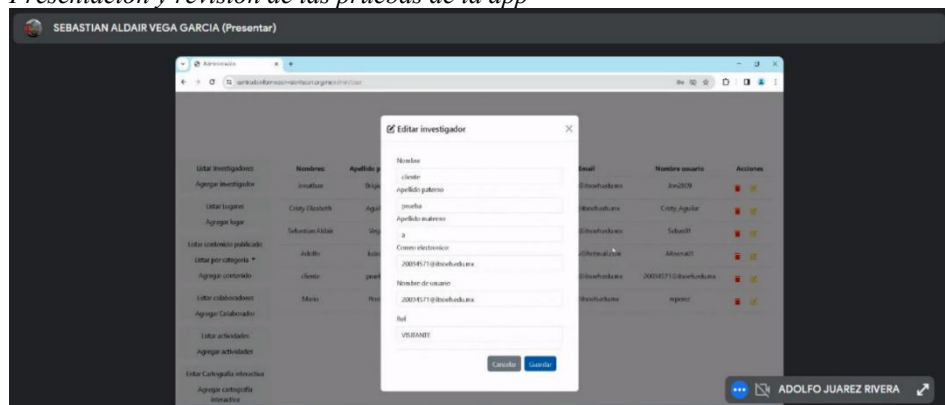
Fase de Pruebas y Evaluación de Usabilidad: Cada día durante el sprint, el equipo se reúne en una breve reunión diaria para compartir lo que hicieron el día anterior, lo que planean hacer ese día y si hay algún obstáculo que los está bloqueando. En esta etapa de la metodología el equipo de trabajo se reunía cada viernes para verificar los avances del proyecto.

Figura 4
Sprint de revisión de usabilidad de la app



Fase de Documentación y Difusión: Al finalizar el sprint, se lleva a cabo una reunión de revisión de sprint en la que el equipo presenta el incremento completado al Product Owner y a los stakeholders. Esto permite obtener retroalimentación y ajustar el Product Backlog según sea necesario, para el trabajo de esta etapa de la metodología se realizaban reuniones de trabajo con los líderes del proyecto para que nos dieran su punto de vista en cuanto a mejoras, cambios o tareas aprobadas. Para cubrir esta parte de la metodología el equipo realizaba una reunión al final de cada Sprint para revisar lo trabajado durante ese periodo de tiempo y de esta manera analizar las tareas que se completaron con éxito.

Figura 5
Presentación y revisión de las pruebas de la app



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Como resultado de la investigación aplicada y el proceso iterativo de desarrollo basado en la metodología Modelo Móvil Sprint (MMS), se diseñó y construyó una aplicación móvil multiplataforma orientada a la preservación, difusión y acompañamiento práctico de saberes relacionados con la construcción con materiales naturales, la producción agroecológica y las ecotecnias tradicionales en regiones semiáridas, específicamente en el Valle del Mezquital.

La aplicación fue desarrollada utilizando React Native, lo cual permitió garantizar su compatibilidad con dispositivos Android e iOS, asegurando accesibilidad para una mayor diversidad de usuarios en comunidades rurales. Se incorporaron funcionalidades clave que responden directamente al objetivo general del proyecto, destacando las siguientes:

Como se puede observar en la Figura 6 el inicio de sesión y registro de usuarios se diseñó para permitir una experiencia personalizada y fomentar la participación de nuevos integrantes de las comunidades.

Figura 6 Inicio de sesión y registro de usuarios:

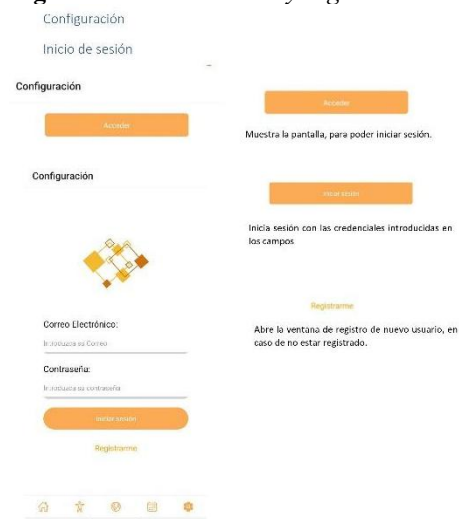


Figura SEQ Figura * ARABIC 7 Menú Inicio



La presentación inicial que se muestra en la Figura 7 y 8, de la aplicación móvil muestra información organizada en categorías principales que integran contenidos como flora, fauna, gastronomía tradicional, costumbres y prácticas comunitarias. Esta sección incluye funciones como filtros por texto, acceso a mapas mediante Google Maps y visualización de documentos externos con información histórica. Además, está dividida en subcategorías como contenidos, cartografía, actividades y red, proporciona acceso a publicaciones técnicas, registros geográficos, eventos comunitarios y redes de colaboración entre instituciones y personas aliadas al proyecto.

Figura 8 Menú principal

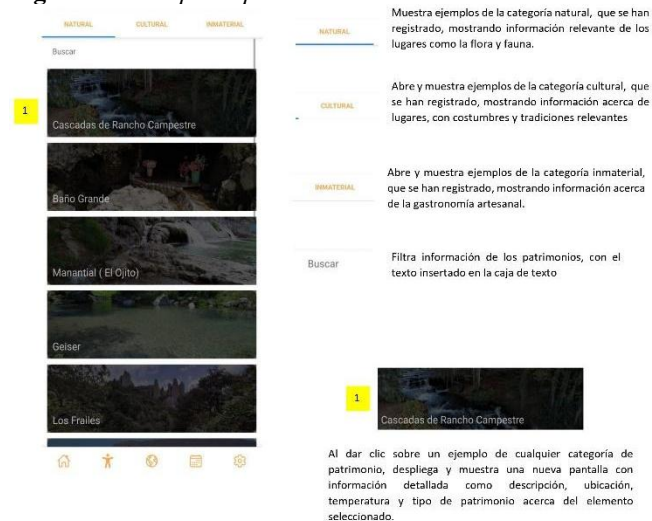
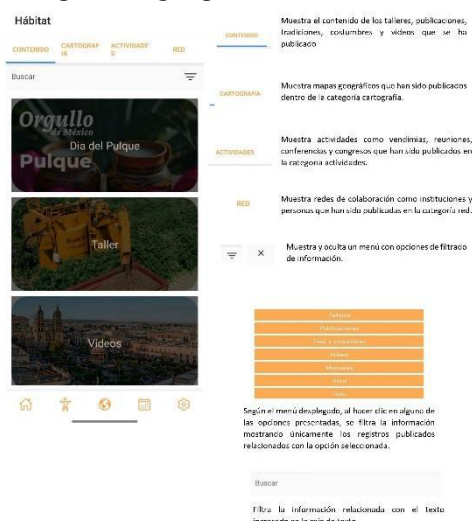


Figura SEQ Figura * ARABIC 9 Menú Hábitat



Además, en el menú principal de acceso de la aplicación móvil permite visualizar videos relacionados con talleres y prácticas sustentables documentadas en el campo, fortaleciendo el componente educativo y demostrativo de la aplicación.

Así mismo, en la Figura 9 se muestra la funcionalidad de eventos relevantes como ferias, vendimias, reuniones comunitarias y actividades de formación, facilitando la organización y difusión de actividades locales. Lo que permite un sistema de filtrado y navegación amigable adaptado a distintos niveles de alfabetización digital, con menús intuitivos, opciones desplegadas y diseño visual claro. Durante las pruebas funcionales, la aplicación demostró un buen desempeño en dispositivos Android, y se encuentra en proceso de validación para dispositivos iOS. Las evaluaciones iniciales con usuarios reales (107) señalaron que la estructura del menú y la categorización de contenidos resultan claras, útiles y pertinentes, especialmente para jóvenes y promotores comunitarios interesados en preservar y aplicar conocimientos tradicionales.

Además, se logró integrar una base de datos dinámica, que permite que los contenidos sean actualizados, ampliados o modificados según las contribuciones de los usuarios o equipos técnicos responsables del proyecto, asegurando así la escalabilidad y sostenibilidad tecnológica del entorno digital. Este resultado no solo representa un producto funcional, sino también una herramienta didáctica y de gestión del conocimiento, alineada con principios de educación inclusiva y apropiación tecnológica, tal como lo recomienda la UNESCO (2023), al fomentar el aprendizaje contextualizado, colaborativo y centrado en las comunidades.

Discusión

El desarrollo de esta aplicación móvil representa una contribución significativa a los esfuerzos por vincular la tecnología digital con la preservación de los saberes tradicionales y el fortalecimiento de la sostenibilidad territorial. En el contexto de comunidades rurales semiáridas, donde el acceso a tecnologías educativas pertinentes ha sido históricamente limitado, esta iniciativa se inscribe en una línea de acción que articula la innovación tecnológica con la justicia epistemológica. El conocimiento tradicional tiene un valor pedagógico intrínseco, ya que parte de la experiencia comunitaria, y solo puede potenciarse si las herramientas tecnológicas no lo reemplazan, sino que lo mediatizan, visibilicen y resignifiquen. En este sentido, la aplicación desarrollada no pretende imponer saberes externos, sino servir como plataforma de encuentro y memoria viva para prácticas ya existentes que han sido sistemáticamente invisibilizadas en los sistemas educativos formales. Por otro lado, Cabero-Almenara y Llorente (2023) destacan que la efectividad de las tecnologías en contextos educativos rurales depende en gran medida de su pertinencia cultural, su accesibilidad y su capacidad para facilitar aprendizajes significativos. La aplicación diseñada responde a estas premisas al presentar contenidos adaptados al contexto del Valle del Mezquital, con una navegación intuitiva, recursos visuales relevantes y una organización temática que refleja la lógica del territorio y no la del mercado digital.

Además, la experiencia confirma que la necesidad de desarrollar tecnologías que operen desde una “racionalidad otra”, donde las comunidades no sean solo usuarias, sino productoras de conocimiento y acción digital, en clave de autonomía. La incorporación de una base de datos editable, la posibilidad de actualizar contenidos localmente y la visibilidad de las redes comunitarias responden a esta propuesta de una tecnología apropiada, situada y liberadora. Desde esta perspectiva, el desarrollo tecnológico aquí expuesto va más allá de la simple digitalización de contenidos; se propone como un instrumento para la revitalización de identidades territoriales, la gestión local del conocimiento y el fortalecimiento de procesos de educación no formal vinculados a la tierra, los saberes y la vida digna. La aplicación, al estructurarse en torno a la producción agroecológica, la construcción natural y las ecotecnias, constituye un modelo replicable en otras regiones con condiciones similares, siempre que se mantenga el enfoque participativo y contextual. Finalmente, esta experiencia también dialoga con las recomendaciones de la UNESCO (2023) sobre el aprendizaje digital transformador, al colocar a las comunidades como protagonistas de su propio proceso formativo y tecnológico, garantizando que el entorno digital no sea un fin en sí mismo, sino un medio para preservar la cultura, facilitar el acceso equitativo al conocimiento y promover la sostenibilidad comunitaria.

CONCLUSIÓN

La presente investigación ha evidenciado que el desarrollo de una aplicación móvil multiplataforma orientada a la preservación y difusión del conocimiento tradicional en comunidades rurales semiáridas constituye una estrategia pertinente y enriquecedora para fortalecer la sostenibilidad territorial y cultural. A través de un proceso metodológico basado en el Modelo Móvil Sprint (MMS), se logró diseñar, desarrollar y evaluar una herramienta tecnológica que responde a las necesidades específicas de estas comunidades, promoviendo un uso inclusivo, contextualizado y participativo de las tecnologías digitales.

Una de las principales aportaciones de este trabajo radica en la caracterización del papel de las tecnologías móviles no solo como instrumentos de transmisión de contenidos, sino como mediadoras de procesos de revitalización cultural y de gestión del conocimiento local. La decisión de utilizar React Native como base para el desarrollo de la aplicación favoreció su compatibilidad multiplataforma, garantizando mayor accesibilidad para los usuarios en dispositivos Android y iOS, en un contexto donde la conectividad y el acceso a tecnologías de última generación suelen ser limitados. Sin embargo, más allá de sus aspectos técnicos, la innovación central consistió en integrar contenidos multimedia y recursos interactivos que respondieran a las particularidades culturales y pedagógicas del entorno rural, facilitando así aprendizajes significativos y pertinencia contextual.

El proceso de sistematización de conocimientos empíricos y técnicos recolectados desde las comunidades fue fundamental para definir las estructuras de información que la aplicación debía albergar. La metodología empleada promovió la participación activa de los actores locales,

quienes aportaron su saber, experiencias y prácticas tradicionales, en un proceso que fortaleció no solo el contenido técnico sino también la identidad cultural de los territorios involucrados. La incorporación de un enfoque participativo y de validación constante permitió ajustarse a las realidades concretas de las comunidades, consolidando una herramienta que no busca reemplazar el patrimonio cultural, sino potenciarlo y ponerlo en valor en el entorno digital.

Otro punto relevante es la estrategia de diseño centrada en la experiencia del usuario, priorizando la simplicidad, la intuición y la accesibilidad. La organización temática y la estructura de navegación reflejaron la lógica del territorio y los saberes tradicionales, en contraposición con los modelos de mercado digital que a menudo priorizan la ganancia en detrimento de la pertinencia cultural. Esto supone un avance importante en la conceptualización de tecnologías educativas adaptadas a contextos rurales, donde la baja alfabetización digital y el acceso limitado a la conectividad representan retos significativos.

En cuanto a la evaluación del producto, los resultados demostraron que la aplicación cumple con los requisitos de funcionalidad, usabilidad y accesibilidad, validando su pertinencia cultural y tecnológica. Las pruebas en campo y las valoraciones de los usuarios permitieron detectar áreas de mejora y ajustar la interfaz y las funcionalidades, garantizando así una apropiación efectiva por parte de las comunidades. Este proceso de evaluación continua reafirma la importancia de un enfoque metodológico flexible y participativo, que favorezca la extensión y sostenibilidad de las intervenciones tecnológicas en contextos territoriales específicos.

Este trabajo también aporta a la discusión acerca de la relación entre tecnología y justicia epistemológica, destacando que las herramientas digitales deben promover la visibilización y valorización del conocimiento tradicional, sin imponer saberes externos ni desplazar las prácticas culturales existentes. La aplicación desarrollada es un ejemplo de cómo la innovación tecnológica puede tener un impacto socioeducativo positivo, respetando la dignidad y las identidades culturales de las comunidades, fortaleciendo su autonomía y empoderamiento. Desde una perspectiva más amplia, el proyecto permite reflexionar sobre las potencialidades de los modelos metodológicos como el MMS para la creación de soluciones tecnológicas que sean realmente pertinentes y sostenibles en territorios rurales y marginados. La estructuración de procesos iterativos y la participación comunitaria generan productos más ajustados a las necesidades reales, fomentando la apropiación, la cooperación y la continuidad de las acciones tecnológicas en el tiempo.

Asimismo, la investigación aporta elementos valiosos para futuras líneas de trabajo relacionadas con la expansión y replicabilidad del modelo. La experiencia en el Valle del Mezquital demuestra que, siempre que se mantengan los principios de contextualización, participación y respeto cultural, puede extenderse a otras regiones con condiciones similares, promoviendo así un impacto más amplio en la conservación de saberes tradicionales y en la promoción del desarrollo sostenible. El uso de plataformas digitales accesibles y la incorporación de contenidos multimedia también abren caminos innovadores para la incorporación de otros saberes, prácticas agroecológicas o ecotécnicas en diferentes contextos rurales, contribuyendo a la conservación del patrimonio inmaterial y tangible. Esta investigación reafirma que las tecnologías digitales, cuando son diseñadas desde un enfoque participativo, contextualizado y culturalmente sensible, tienen un enorme potencial para contribuir a la revitalización de los conocimientos tradicionales y al fortalecimiento de las comunidades rurales. La integración de elementos pedagógicos, tecnológicos y culturales en la creación de herramientas educativas digitales permite no solo facilitar el acceso al conocimiento, sino también promover la autonomía, el sentido de pertenencia y el respeto por las prácticas ancestrales. La apuesta por modelos metodológicos como el MMS, en este sentido, constituye una vía efectiva para vincular innovación y tradición, logrando soluciones que trascienden el ámbito técnico para convertirse en verdaderos agentes de transformación social y cultural.

Finalmente, este trabajo invita a continuar explorando y perfeccionando los enfoques participativos y adaptados a contextos vulnerables, promoviendo colaboraciones interdisciplinarias y multidimensionales. La incorporación de tecnologías digitales en territorios rurales debe entenderse como un proceso de construcción conjunta y sostenible, que enriquezca las identidades locales y fortalezca la gestión autóctona del conocimiento. La labor desarrollada en este estudio sienta, por tanto, un camino prometedor hacia nuevas investigaciones, experiencias y prácticas que continúen reivindicando la relevancia social, cultural y ambiental de los territorios rurales y sus saberes ancestrales.

BIBLIOGRAFÍA

- Cabero-Almenara, J., & Llorente, M. C. (2023). *Tecnologías de la información y la comunicación y atención a la diversidad: la brecha digital*. Comunicar, 21(41), 147–155. <https://www.upo.es/revistas/index.php/IJERI/article/view/2665>
- Droids on Roids. (2023). *Flutter vs React Native: Which framework to choose in 2023?* <https://www.thedroidsonroids.com/blog/flutter-vs-react-native-comparison>
- FAO. (2023). *Construcción sostenible con materiales locales*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. <https://www.fao.org/documents>
- Kaplún, M. (2002). *Una pedagogía de la comunicación*. Ediciones de la Torre.
- López, M., & Sánchez, R. (2022). *Desarrollo de aplicaciones móviles multiplataforma: análisis comparativo de frameworks híbridos*. Revista Iberoamericana de Tecnología Educativa, 18(1), 45–62. https://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/60497/Documento_completo_.pdf-PDFA.pdf?sequence=3&isAllowed=y
- Pérez, J., Ramírez, C., & Mendoza, V. (2021). “MMS”, *Metodología para el Diseño y Desarrollo de Aplicaciones Móviles*. Revista Ingeniería y Tecnología, 3 ciencias. <https://3ciencias.com/wp-content/uploads/2021/06/MMS-FINAL.pdf>
- Sanjinés, J. (2010). El proyecto histórico de lo común: Hacia una tecnología situada. *Revista OSAL*, 26, 97–110.
- UNESCO. (2023). *Lo que necesitas saber sobre el aprendizaje digital y la transformación de la educación*. Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura. <https://www.unesco.org/en/digital-education/need-know?hub=84636>

Empoderando a Educadores: Superando la Brecha Tecnológica en el Aula

DOI: 10.60968/iaet.3594-035X.873

Angel Eric Téllez González¹, Laura Rodríguez Maya²

¹TecNM/ Tecnológico de Estudios Superiores de Cuautitlán Izcalli / e-mail: aetellez.2000@gmail.com

²TecNM/ Tecnológico de Estudios Superiores de Cuautitlán Izcalli / e-mail: laura.rm@cuautitlan.tecnm.mx

Línea de investigación: Investigación Educativa

Resumen

Este artículo de investigación tiene como propósito analizar los procesos y estrategias para la aplicación de herramientas tecnológicas innovadoras en la asignatura de Tecnología, dirigida a estudiantes de nivel secundaria. El estudio explora cómo, mediante el uso de las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC), es posible optimizar el proceso de enseñanza-aprendizaje, adaptándolo a las necesidades individuales del alumnado y promoviendo un entorno educativo más dinámico, inclusivo e interactivo.

A raíz de la pandemia de COVID-19, se evidenciaron profundas desigualdades en el acceso a recursos digitales, lo que afectó significativamente la continuidad y calidad de la educación secundaria en México. En respuesta a esta problemática, la presente investigación propone el desarrollo e implementación de una herramienta tecnológica específica, diseñada para facilitar el aprendizaje, fomentar la permanencia escolar y fortalecer el razonamiento lógico y el pensamiento científico a través de entornos virtuales dentro del aula.

El objetivo principal es mejorar la calidad educativa mediante una solución concreta y contextualizada, que potencie las habilidades digitales de estudiantes y docentes, promueva metodologías de enseñanza innovadoras con recursos multimedia y plataformas interactivas, y favorezca la accesibilidad y personalización del aprendizaje mediante tecnologías adaptativas.

Pese a desafíos como la limitada infraestructura tecnológica y la falta de capacitación docente, se destaca la importancia de adoptar un enfoque integral y estratégico en la educación tecnológica. Los hallazgos de esta investigación demuestran que la implementación adecuada de una sola herramienta digital puede generar un impacto positivo en el rendimiento académico, la motivación estudiantil y la equidad educativa, contribuyendo así a una formación más pertinente y de calidad.

Palabras clave: Competencias digitales, Educación secundaria, Herramienta tecnológica, Inclusión educativa, TIC (Tecnologías de la Información y la Comunicación)

Abstract

This research article aims to analyze the processes and strategies for applying innovative technological tools in the subject of Technology, specifically for secondary school students. The study explores how the use of Information and Communication Technologies (ICT) can enhance the teaching-learning process by adapting to students' individual needs and fostering a more dynamic, inclusive, and interactive educational environment.

The COVID-19 pandemic exposed deep inequalities in access to digital resources, significantly affecting the continuity and quality of secondary education in Mexico. In response to this issue, this research proposes the development and implementation of a specific technological tool designed to facilitate learning, encourage school retention, and strengthen logical reasoning and scientific thinking through virtual classroom environments.

The main objective is to improve educational quality through a concrete and contextualized solution that enhances the digital skills of both students and teachers, promotes innovative teaching methodologies using multimedia resources and interactive platforms, and supports accessible and personalized learning through adaptive technologies.

Despite challenges such as limited technological infrastructure and insufficient teacher training, the study highlights the importance of adopting a comprehensive and strategic approach to technology education. The findings demonstrate that the effective implementation of a single digital tool can have a positive impact on academic performance, student motivation, and educational equity, contributing to a more relevant and high-quality learning experience.

Keywords: Digital competencies, Educational equity, ICT (Information and Communication Technologies), Secondary education, Technological tool

INTRODUCCIÓN

La transformación digital en el ámbito educativo ha cobrado una relevancia sin precedentes, especialmente a raíz de los desafíos que dejó la pandemia de COVID-19. En este contexto, la necesidad de integrar herramientas tecnológicas en el aula se ha vuelto no solo urgente, sino esencial para garantizar una educación de calidad, equitativa y adaptada a las nuevas realidades del siglo XXI. La asignatura de Tecnología, por su naturaleza práctica y formativa, representa un espacio ideal para impulsar esta integración.

Este trabajo de investigación se centra en el diseño, desarrollo e implementación de una herramienta tecnológica creada específicamente para estudiantes de segundo grado de secundaria, con el propósito de fortalecer el proceso de enseñanza-aprendizaje en la materia de Tecnología. La aplicación fue concebida a partir de las necesidades observadas en el aula, con el objetivo de fomentar el razonamiento lógico, promover el pensamiento científico y facilitar el aprendizaje mediante entornos virtuales interactivos.

La propuesta busca responder a los retos actuales de la educación secundaria en México, donde persisten brechas significativas en el acceso y uso de recursos digitales. A través de esta herramienta, se pretende no solo mejorar la comprensión de los contenidos curriculares, sino también desarrollar competencias digitales en los estudiantes, impulsar metodologías pedagógicas innovadoras y contribuir a una experiencia educativa más dinámica, inclusiva y personalizada.

En suma, este proyecto representa una apuesta por la innovación educativa desde una perspectiva práctica y contextualizada, que coloca al estudiante en el centro del proceso formativo y al docente como facilitador del cambio pedagógico mediante el uso estratégico de la tecnología.

HIPÓTESIS

La implementación de una herramienta tecnológica innovadora en la asignatura de Tecnología a nivel secundaria transformará significativamente el proceso de enseñanza-aprendizaje, permitiendo a los estudiantes adquirir y comprender información de manera más eficiente. Esta herramienta fomentará el uso responsable y productivo de dispositivos electrónicos, facilitando la realización de actividades escolares y promoviendo un entorno de aprendizaje más activo, colaborativo e interactivo.

La integración de las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC) no solo centrará la atención de los estudiantes en los contenidos curriculares, sino que también fortalecerá la cooperación entre compañeros y docentes, incentivando el pensamiento crítico y la capacidad de generar conclusiones aplicables a su vida cotidiana, así como a su contexto económico, social y cultural.

Se plantea que el uso pedagógico de las TIC, acompañado de una formación continua del profesorado, contribuirá a mejorar el rendimiento académico, desarrollar competencias digitales y reducir la brecha tecnológica. Asimismo, se espera que la evaluación de esta herramienta tecnológica evidencie un aumento en la motivación y participación estudiantil, confirmando su eficacia como instrumento para preparar a los estudiantes ante los desafíos del siglo XXI y consolidar una educación más equitativa, inclusiva y de calidad.

DESARROLLO

La implementación de una herramienta tecnológica en la asignatura de Tecnología representa un cambio significativo en el modelo educativo tradicional de la escuela secundaria. Este proyecto, aplicado con estudiantes de segundo grado, busca integrar de manera efectiva las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC) para transformar el proceso de enseñanza-aprendizaje, haciéndolo más dinámico, participativo y adaptado a las necesidades individuales de cada alumno.

El uso de herramientas interactivas y recursos digitales actualizados ha demostrado aumentar el compromiso y la motivación de los estudiantes, quienes se sienten más involucrados al utilizar dispositivos electrónicos como parte de su formación académica. Esta innovación no solo facilita la comprensión de los contenidos, sino que también promueve el trabajo colaborativo, la creatividad, la comunicación efectiva y el desarrollo de competencias digitales esenciales para su futuro académico y profesional. Además, el proyecto permite personalizar el aprendizaje, adaptando los contenidos y métodos a los ritmos y estilos de cada estudiante. Esto favorece una mejor comprensión de los temas y una mayor retención del conocimiento, al tiempo que fortalece habilidades clave como el pensamiento crítico y la resolución de problemas en contextos reales, sociales y culturales.

Se prevé que la implementación de esta herramienta tecnológica genere resultados positivos, como una mayor participación en clase, un entorno de aprendizaje más interactivo y el acceso a plataformas en línea que enriquecen la experiencia educativa. En conjunto, estos elementos contribuyen a preparar a los estudiantes para los desafíos del siglo XXI, reduciendo la brecha digital y promoviendo una educación más equitativa y de calidad.

OBJETIVO GENERAL Y OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Diseñar e implementar una herramienta tecnológica en la educación secundaria para mejorar la calidad del aprendizaje y la enseñanza de los estudiantes y así promover un cambio significativo en el modelo educativo actual.

- I. Fortalecer las habilidades digitales de estudiantes y docentes para el uso efectivo de la herramienta tecnológica en el proceso de enseñanza-aprendizaje, promoviendo una cultura digital en el entorno escolar.
- II. Implementar métodos de enseñanza innovadores que integren recursos multimedia, plataformas interactivas y tecnologías adaptativas, con el fin de promover un aprendizaje dinámico, personalizado y accesible para todos los estudiantes.
- III. Fomentar la colaboración, comunicación y la motivación estudiantil mediante el uso de redes sociales educativas, asociada a la herramienta de trabajo en línea y la evaluación continua del impacto de las TIC en el rendimiento académico.

OBJETO DE ESTUDIO

El objeto principal de estudio de esta investigación es el proceso de enseñanza-aprendizaje en la asignatura de Tecnología en el nivel de educación secundaria, específicamente con estudiantes de segundo grado. Este sistema educativo constituye el núcleo donde se desarrolla la intervención pedagógica mediante la implementación de una herramienta tecnológica innovadora.

La importancia de centrar la investigación en este sistema radica en su papel fundamental en la formación académica, digital y social de los adolescentes. La educación secundaria representa una etapa clave en el desarrollo de competencias que serán determinantes para el futuro académico y profesional de los estudiantes. En este contexto, la asignatura de Tecnología ofrece un espacio idóneo para integrar las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC), ya que permite el desarrollo de habilidades prácticas, pensamiento crítico y competencias digitales.

Dirigir la investigación a este sistema permite identificar de manera precisa los beneficios, desafíos y oportunidades que surgen al incorporar herramientas tecnológicas en el aula. Además, contribuye a generar propuestas pedagógicas que respondan a las necesidades actuales del entorno educativo, promoviendo una enseñanza más inclusiva, personalizada y alineada con los retos del siglo XXI.

METODOLOGÍA

En el proyecto se empleará un desarrollo tecnológico XP (Extreme Programming), una de las metodologías ágiles más reconocidas en el ámbito del desarrollo de software. Esta será seleccionada por su capacidad de adaptarse a entornos educativos dinámicos y por su enfoque en la mejora continua, la colaboración y la entrega de soluciones de alta calidad. En el modelo XP se permitirá adaptar de forma ágil la herramienta tecnológica a las necesidades cambiantes de los estudiantes y docentes de segundo grado de secundaria. Asimismo, fomentará una colaboración constante entre el desarrollador y los educadores, asegurando que la solución tecnológica sea funcional, accesible y pedagógicamente efectiva.

Las fases generales que se seguirán en el desarrollo del proyecto serán:

- I. Planificación: Se identificarán las necesidades educativas específicas del grupo escolar y se definirán los objetivos funcionales de la herramienta tecnológica.
- II. Diseño simple: Se elaborará un diseño inicial centrado en la facilidad de uso, la accesibilidad y la alineación con los contenidos curriculares de la asignatura de Tecnología.
- III. Desarrollo incremental: La herramienta se construirá en iteraciones cortas, permitiendo incorporar mejoras continuas basadas en la retroalimentación de los usuarios.
- IV. Pruebas continuas: Se realizarán pruebas frecuentes para asegurar la funcionalidad, estabilidad y usabilidad de la herramienta, corrigiendo errores y optimizando su desempeño.
- V. Refactorización: Se mejorará el código y la estructura de la herramienta sin alterar su funcionalidad, garantizando su calidad técnica y sostenibilidad.
- VI. Retroalimentación y validación: Se aplicarán instrumentos de evaluación (como encuestas y observaciones) para validar la herramienta con estudiantes y docentes, permitiendo ajustes en tiempo real.

Se permitirá mantener un enfoque centrado en el usuario, garantizando que la herramienta tecnológica desarrollada responda a las necesidades reales del contexto educativo y contribuya de manera significativa a la mejora del proceso de enseñanza-aprendizaje.

FASES DEL DESARROLLO

La metodología XP aplicada en esta investigación se desarrollará en las siguientes fases, cada una con un propósito específico y resultados esperados

1. Planificación

Durante la fase de planificación, se aplicó un cuestionario diagnóstico a una muestra representativa de 115 estudiantes de segundo grado de una escuela secundaria, lo que equivale al 30% de la población estudiantil. El propósito de esta encuesta fue identificar el nivel de acceso, uso y percepción que los alumnos tienen respecto a las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC) en su entorno educativo. El cuestionario constó de 15 preguntas de opción múltiple, enfocadas en aspectos como la frecuencia de uso de herramientas digitales, la motivación en el aula, el acceso a Internet, la colaboración entre compañeros y el impacto de las TIC en su rendimiento académico. Esta información será fundamental para orientar el diseño y desarrollo de la herramienta tecnológica, asegurando que responda a las necesidades reales del contexto escolar y contribuya a mejorar el proceso de enseñanza-aprendizaje.

2. Diseño Simple

En esta fase se elaborará un diseño inicial de la interfaz de usuario y la estructura básica de la herramienta tecnológica, priorizando la usabilidad, la accesibilidad y la alineación con los contenidos curriculares de la asignatura de Tecnología para segundo grado de secundaria. El diseño buscará ser intuitivo y visualmente atractivo para los estudiantes, incorporando elementos gráficos amigables, navegación sencilla y una organización clara de los módulos de aprendizaje. Se contemplarán secciones como actividades interactivas, recursos multimedia, evaluaciones, foros de colaboración y seguimiento del progreso académico. Este diseño preliminar servirá como base para el desarrollo incremental de la herramienta, permitiendo ajustes conforme se reciba retroalimentación de los usuarios.

Figura 1

Interfaz Principal



3. Desarrollo Incremental

La herramienta tecnológica será desarrollada mediante un enfoque incremental, lo que permitirá construir el sistema en pequeñas versiones funcionales que se irán mejorando progresivamente. Cada iteración incluirá nuevas funciones, ajustes en la interfaz o mejoras en el rendimiento, basadas en la retroalimentación directa de los usuarios: estudiantes y docentes. Este enfoque ágil facilitará la detección temprana de errores, la incorporación de sugerencias y la adaptación continua a las necesidades reales del entorno educativo. Además, permitirá validar cada componente antes de avanzar a la siguiente etapa, asegurando que la herramienta evolucione de forma coherente, eficiente y centrada en el usuario.

Figura 2
Menú Principal



4. Pruebas Continuas

Durante esta fase se llevarán a cabo pruebas funcionales y de usabilidad con la participación de estudiantes y docentes. Estas pruebas permitirán verificar que cada componente de la herramienta tecnológica funcione correctamente y que la experiencia de usuario sea intuitiva y satisfactoria. Se aplicarán sesiones de prueba en el aula, donde se observará el uso real de la herramienta, se identificarán errores técnicos, dificultades de navegación o aspectos que requieran mejora. Todos los hallazgos serán documentados de forma sistemática, y las correcciones se implementarán de manera inmediata en las siguientes iteraciones del desarrollo. Este proceso garantizará una mejora continua del sistema, asegurando su calidad, estabilidad y pertinencia pedagógica.

5. Refactorización

En esta fase se llevará a cabo la refactorización del código y de la estructura interna de la herramienta tecnológica, con el objetivo de optimizar su rendimiento y facilitar futuras actualizaciones. Este proceso consistirá en reorganizar y limpiar el código fuente sin alterar su funcionalidad, mejorando así su legibilidad, eficiencia y mantenibilidad. La refactorización permitirá reducir la complejidad del sistema, eliminar redundancias y preparar la herramienta para una posible escalabilidad. Esta etapa es fundamental para asegurar que el desarrollo continúe siendo sostenible a largo plazo, especialmente en un entorno educativo donde las necesidades pueden evolucionar constantemente.

Figura 3
Código Pantalla de Inicio

```
index.html X
C:\Users\> EAS Consulting > Downloads > APP > index.html > index.html
1 <html lang="es">
2 <head>
3   <meta charset="UTF-8">
4   <title>Tecnología 2.0 - Aprende y Crea</title>
5   <meta name="viewport" content="width=device-width, initial-scale=1.0">
6
7   <!-- Import Google Fonts -->
8   <link href="https://fonts.googleapis.com/css2?family=Baloo+2:wght@700&family=Open+Sans:wght@400;700&display=swap" rel="stylesheet">
9   <!-- Import Feather Icons for friendly icons -->
10  <script src="https://cdn.jsdelivr.net/npm/feather-icons/dist/feather.min.js"></script>
11
12  <link rel="stylesheet" href="style.css">
13 </head>
14 <body>
15   <!-- Pantalla de inicio -->
16   <div class="splash-screen" id="splashScreen">
17     <div class="splash-content">
18       <h1 class="app-title">Tecnología 2.0 <span class="accent"> Aprende y Crea</span></h1>
19       
20       <p class="subTitle">Explora, experimenta y aprende Tecnología con herramientas digitales.</p>
21       <div class="quick-access">
22         <button class="quick-btn" onclick="goTo('actividades')" aria-label="Ir a Mis Actividades">
23           <i data-feather="edit"></i>
24           <span>Mis Actividades</span>
25         </button>
26         <button class="quick-btn" onclick="goTo('recursos')" aria-label="Ir a Recursos Multimedia">
27           <i data-feather="film"></i>
28           <span>Recursos</span>
29         </button>
30         <button class="quick-btn" onclick="goTo('evaluaciones')" aria-label="Ir a Evaluaciones">
31           <i data-feather="check-circle"></i>
32           <span>Evaluaciones</span>
33         </button>
34       </div>
35       <button class="login-btn" onclick="showLogin()" aria-label="Iniciar sesión">
36         <i data-feather="log-in"></i> Iniciar sesión
37       </button>
38     </div>
39   </div>
```

Figura 4
Código Menú Principal

```

41 <!-- Contenido principal de la app -->
42 <div class="app-container" id="mainApp" style="display:none">
43 <!-- Menú lateral principal -->
44 <nav class="main-menu" id="mainMenu">
45 <div class="menu-header">
46 
47 <div class="user-name" id="userNameDisplay">Estudiante Invitado</div>
48 </div>
49 <ul>
50 <li class="menu-item" data-section="actividades" onclick="showSection('actividades')" tabindex="0">
51 <i data-feather="edit-3"/></i> <span>Mis actividades</span>
52 </li>
53 <li class="menu-item" data-section="recursos" onclick="showSection('recursos')" tabindex="0">
54 <i data-feather="film"/></i> <span>Recursos multimedia</span>
55 </li>
56 <li class="menu-item" data-section="evaluaciones" onclick="showSection('evaluaciones')" tabindex="0">
57 <i data-feather="check-circle"/></i> <span>Evaluaciones</span>
58 </li>
59 <li class="menu-item" data-section="foro" onclick="showSection('foro')" tabindex="0">
60 <i data-feather="message-circle"/></i> <span>Foro de colaboración</span>
61 </li>
62 <li class="menu-item" data-section="progreso" onclick="showSection('progreso')" tabindex="0">
63 <i data-feather="bar-chart-2"/></i> <span>MI progreso</span>
64 </li>
65 </ul>
66 <button class="logout-btn" onclick="logout()" aria-label="Cerrar sesión">
67 <i data-feather="log-out"/></i>
68 </button>
69 </nav>

```

Figura 5
Código Panel Principal

```

71 <!-- Panel Principal -->
72 <main class="main-panel">
73 <!-- Panel de usuario -->
74 <section class="user-panel" id="userPanel">
75 <div class="profile-info">
76 
77 <div>
78 <h2 id="userNamePanel">Estudiante Invitado</h2>
79 <div class="badges">
80 <div class="badge" title="Primer logro"><i data-feather="star"/></i> <span>Inicio</span></div>
81 <div class="badge" title="Logro por participaci&#243;n"><i data-feather="award"/></i> <span>Participativo</span></div>
82 </div>
83 </div>
84 </div>
85 <div class="stats">
86 <div class="stat">
87 <span class="stat-number" id="actividadesCount">2</span>
88 <span class="stat-label">Actividades completadas</span>
89 <div class="progress-bar-container" role="progressbar" aria-valuenow="40" aria-valuemin="0" aria-valuemax="100">
90 <div class="progress-bar accent-bg" style="width: 40%;></div>
91 </div>
92 </div>
93 <div class="stat">
94 <span class="stat-number">1</span>
95 <span class="stat-label">Evaluaciones</span>
96 <div class="progress-bar-container" role="progressbar" aria-valuenow="20" aria-valuemin="0" aria-valuemax="100">
97 <div class="progress-bar orange-bg" style="width: 20%;></div>
98 </div>
99 </div>
100 <div class="stat">
101 <span class="stat-number">0</span>
102 <span class="stat-label">Respuestas en el foro</span>
103 </div>
104 </div>
105 <div class="notif" id="notifArea">
106 <i data-feather="bell"/></i> <span>Tienes 2 nuevas actividades por realizar</span>
107 </div>
108 </section>

```

6. Retroalimentación y Validación

En esta fase se aplicarán encuestas estructuradas y rúbricas de evaluación dirigidas a estudiantes y docentes, con el propósito de medir el nivel de satisfacción, utilidad y efectividad de la herramienta tecnológica implementada. Estos instrumentos permitirán recopilar datos cualitativos y cuantitativos sobre la experiencia de uso, el impacto en el aprendizaje y la percepción general del recurso. La retroalimentación obtenida será analizada para validar el cumplimiento de los objetivos del proyecto y para identificar áreas de mejora. Esta etapa es clave para confirmar el impacto educativo de la herramienta, así como su viabilidad para ser replicada o escalada en otros contextos escolares.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

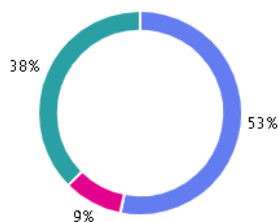
Tras la implementación de la herramienta tecnológica en el aula de segundo grado de secundaria, se obtuvieron resultados significativos que evidencian su impacto positivo en el proceso de enseñanza-aprendizaje. A través de encuestas aplicadas a 115 estudiantes, se identificó un alto nivel de aceptación y motivación hacia el uso de tecnologías educativas. Más del 80% de los alumnos indicaron sentirse “más motivados” o “mucho más motivados” al utilizar herramientas digitales en clase, mientras que un 9% consideró se encontraban igual o menos motivado.

Figura 6
Resultado Encuesta

6. ¿Te sientes más motivado cuando utilizas tecnologías educativas en clase?

[Más detalles](#)

● Sí, mucho más motivado	17
● No, igual de motivado	3
● Sí, algo más motivado	12
● No, menos motivado	0



Asimismo, se observó un incremento en la participación durante las sesiones, especialmente en actividades interactivas y colaborativas. Los estudiantes mostraron mayor disposición para trabajar en equipo y utilizar plataformas digitales para comunicarse con sus compañeros y docentes. La herramienta también permitió personalizar el aprendizaje, adaptándose al ritmo y estilo de cada alumno, lo cual fue valorado positivamente por la mayoría.

Desde la perspectiva docente, se destacó la facilidad de uso de la herramienta y su utilidad para diversificar las estrategias didácticas. Las pruebas continuas permitieron detectar y corregir errores técnicos menores, lo que contribuyó a mejorar la experiencia de usuario. La refactorización del código optimizó el rendimiento de la aplicación, haciéndola más estable y eficiente.

En general, los resultados obtenidos validan la hipótesis planteada: la integración de TIC en la asignatura de Tecnología mejora el rendimiento académico, fortalece las competencias digitales y promueve un entorno de aprendizaje más dinámico, inclusivo y participativo. Estos hallazgos coinciden con estudios previos que destacan el potencial transformador de las tecnologías en contextos educativos.

CONCLUSIÓN

Este trabajo ha demostrado que la incorporación de una herramienta tecnológica, diseñada específicamente para el contexto educativo de la asignatura de Tecnología a nivel secundaria, puede generar un impacto significativo en el proceso de enseñanza-aprendizaje. A través del diseño, desarrollo e implementación de una aplicación educativa adaptada a las necesidades del alumnado de segundo grado, se logró fomentar la participación activa, aumentar la motivación y fortalecer las competencias digitales de manera efectiva.

Los resultados evidencian que incluso la aplicación de una sola solución tecnológica, cuando está bien contextualizada y pedagógicamente fundamentada, puede transformar positivamente el entorno educativo. La herramienta desarrollada permitió dinamizar las clases, personalizar el aprendizaje y promover la inclusión, al tiempo que fortaleció la interacción entre docentes y estudiantes.

Este estudio pone de relieve la importancia de adoptar enfoques pedagógicos innovadores, incluso a pequeña escala, para responder a los desafíos del siglo XXI. La metodología ágil empleada facilitó una mejora continua del recurso, centrada en las necesidades reales de los usuarios. Como proyección futura, se propone ampliar el uso de esta herramienta a otras asignaturas y niveles educativos, así como continuar evaluando su impacto a largo plazo. Además, se recomienda impulsar la formación docente en el uso pedagógico de las TIC, para asegurar una implementación efectiva, sostenible y con verdadero sentido educativo.

BIBLIOGRAFÍA

- Acuña, L. (2016). Calidad de la educación básica en el uso de las tecnologías para la educación. *Revista Electrónica Formación y Calidad Educativa*. (párr. 12)
- Cabrol, M., & Severin, E. (2010). TICs en educación: una innovación disruptiva. *Aportes*, (2). Recuperado de <https://publications.iadb.org/es/publicacion/14676/tics-en-educacion-una-innovacion-disruptiva> (párr. 7)
- Cacurri, V. (2013). Educación con TICs. Buenos Aires: Fox Andina. (p. 45)
- Domingo Coscollola, M., & Fuentes Agustó, M. (2010). Innovación educativa: experimentar con las TIC y reflexionar sobre su uso. Sevilla: *Revista de Medios y Educación*. (párr. 9)
- Fernández Delgado, A., Gutiérrez Rivas, P., & Tabasso, E. (2016). Humanizar la utilización de las TIC en educación. Dykinson. Recuperado de <https://elibro.net/es/lc/bibliotes-ci/titulos/58256> (p. 63)
- Lopez, A. (2009). Estilos de aprendizaje. Relación con. *Revista Estilos de Aprendizaje*. (p. 28)
- Martin, M. (2017). Aportaciones pedagógicas de las TIC a los estilos de aprendizaje. *Estilos de Enseñanza y Estilos de Aprendizaje*. (p. 34)
- Raposo-Rivas, M., & Gallego-Arrufat, M. (2016). Formación para la educación con tecnologías. Difusora Larousse – Ediciones Pirámide. Recuperado de <https://elibro.net/es/lc/bibliotes-ci/titulos/115596> (párr. 15)
- Santiago Delgado, M. F. (2018). Análisis de la implantación de las TIC en la educación. *Revista de Estilos de Aprendizaje*. (p. 51)
- Torres, A. (2010). ¿La infraestructura educativa en las instituciones de educación superior públicas mexicanas cumple con las nuevas demandas del siglo XXI? Guadalajara: Apertura. (p. 22)
- Zorrilla, M. (2004). La educación secundaria en México: al filo de su reforma. Madrid: *Revista Iberoamericana sobre Calidad, Eficacia y Cambio en Educación*. (p. 17)

Diseño e integración de un sistema de conmutación automática en un sistema fotovoltaico híbrido para uso doméstico

DOI: 10.60968/iaet.3594-035X.875

Rafael de Jesús González Chávez¹, Jesús Aguayo Alquicira¹, Víctor Hugo Olivares Peregrino¹,
Oscar Sánchez Vargas¹, Dryden Gilberto Estrada Tellez ¹.

¹Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico, e-mail: m23ce158@cenidet.tecnm.mx, jesus.aa@cenidet.tecnm.mx,
victor.op@cenidet.tecnm.mx, d20ce023@cenidet.tecnm.mx, d21ce033@cenidet.tecnm.mx.

Resumen

El presente trabajo tiene como objetivo diseñar, implementar y evaluar un interruptor bidireccional automatizado para un sistema fotovoltaico híbrido residencial, con el fin de reducir la inversión inicial y mantener el consumo eléctrico dentro del rango de la tarifa básica establecida por la Comisión Federal de Electricidad (CFE). La metodología empleada corresponde a un enfoque de desarrollo tecnológico, dividido en cinco fases: análisis del estado del arte, selección de la topología del interruptor, simulación del sistema, construcción del prototipo y validación experimental.

A partir del estudio de distintas configuraciones, se seleccionó una topología basada en IGBT con puente rectificador, por su simplicidad de control y bajo costo. Se realizaron simulaciones en Proteus para validar la conmutación automática entre fuentes según la demanda de carga y la disponibilidad de energía solar. Posteriormente, se diseñó e implementó un prototipo físico con microcontrolador, sensores de corriente y una pantalla OLED para la visualización del estado del sistema.

Los resultados experimentales demostraron que el sistema es capaz de conmutar de manera automática y confiable entre la red eléctrica y el sistema fotovoltaico, priorizando el uso de la energía solar. Además, se logró una reducción significativa en los costos de implementación respecto a sistemas comerciales con inversores híbridos.

En conclusión, la propuesta representa una solución viable, accesible y eficiente para la gestión energética en viviendas tradicionales, contribuyendo al aprovechamiento de fuentes renovables y al desarrollo de tecnologías sostenibles.

INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas, el aumento de la demanda energética y la preocupación medioambiental asociada a la generación de electricidad han impulsado la búsqueda de fuentes de energía renovables (Garrido et al., 2020). Entre ellas, la energía solar se ha consolidado como una de las alternativas más prometedoras por su abundancia y sostenibilidad. Al aprovechar la radiación solar, esta fuente de energía reduce la dependencia de los combustibles fósiles y minimiza las emisiones de gases de efecto invernadero (Ibarra Sarlat, 2018).

Entre las tecnologías solares disponibles, los sistemas fotovoltaicos destacan por su capacidad para convertir la energía solar en electricidad mediante el uso de células de silicio. Estos sistemas pueden ser implementados a gran escala en centrales eléctricas y aplicaciones residenciales, proporcionando una solución eficiente para el autoconsumo de energía. En México, debido a su privilegiada ubicación geográfica, el potencial de aprovechamiento de la energía solar es significativo, con una irradiación promedio de 5.5 kWh/m² por día a nivel nacional y valores superiores a 6.0 kWh/m² en regiones como el estado de Morelos (Almusaied et al., 2018).

Un sistema fotovoltaico residencial típico consta de los siguientes elementos principales (Abella, 2005):

- a) Paneles solares: Dispositivos encargados de captar la radiación solar y convertirla en energía eléctrica en corriente continua (CC).
- b) Regulador de carga: Controla la energía enviada a las baterías (en el caso de sistemas con almacenamiento) y protege el sistema de sobrecargas o descargas profundas.
- c) Inversor: Convierte la corriente continua generada por los paneles en corriente alterna (CA), energía utilizada en los hogares.
- d) Baterías (opcionales): Almacenan energía durante los periodos sin luz solar, como la noche o los días nublados.
- e) Sistema de interconexión: Los sistemas conectados a la red permiten el intercambio de energía entre la fotovoltaica y la red eléctrica.

A pesar de sus ventajas, la adopción de estos sistemas en los hogares se enfrenta a múltiples retos. Entre los principales obstáculos están los elevados costes iniciales, la falta de incentivos económicos claros y el desconocimiento de la rentabilidad a largo plazo (Beltrán & Mexicalxóchitl, 2024). Además, la integración de estos sistemas con la red eléctrica convencional requiere soluciones que mejoren su funcionamiento, evitando excedentes de energía no aprovechados y garantizando una operación eficiente y segura para los usuarios.

Para hacer frente a este reto, esta investigación propone un sistema de gestión de energía mediante la implementación de un interruptor automático. Este dispositivo selecciona eficientemente el flujo de energía dentro del sistema, priorizando el consumo de la electricidad generada por los paneles solares y reduciendo la dependencia de la red. Su integración dentro del sistema fotovoltaico se sitúa entre el inversor y la carga eléctrica doméstica, funcionando como un mecanismo de control para el aprovechamiento de la energía solar.

Este enfoque busca maximizar el aprovechamiento de la energía solar disponible, mantener a los usuarios dentro del rango de consumo de la tarifa doméstica básica de la Comisión Federal de Electricidad (CFE) reduciendo los costos de facturación eléctrica. En el caso de estudio, una vivienda tipo tradicional ubicada en Cuernavaca, Morelos aplica la tarifa 1B, que corresponde a zonas con temperaturas medias mensuales entre 28 y 30 °C en verano.

Esta tarifa considera tres rangos de consumo: básico, intermedio y excedente, con precios escalonados según el consumo. El objetivo del sistema propuesto es que el consumo mensual de la vivienda permanezca dentro de la tarifa básica, para aprovechar el subsidio y evitar cargos por consumo excedente ((CFE), 2025b). El costo de los consumos son los siguientes ((CFE), 2025a):

Temporada de verano:

- Consumo básico: \$0.667 MXN / kWh (hasta 125 kWh/mes)
- Consumo intermedio: \$0.769 MXN / kWh (de 126 a 225 kWh/mes)
- Consumo excedente: \$2.655 MXN / kWh (más de 225 kWh/mes)

Temporada fuera de verano:

- Consumo básico: \$0.747 MXN / kWh (hasta 75 kWh/mes)
- Consumo intermedio: \$0.909 MXN / kWh (de 76 a 175 kWh/mes)
- Consumo excedente: \$2.655 MXN / kWh (más de 175 kWh/mes)

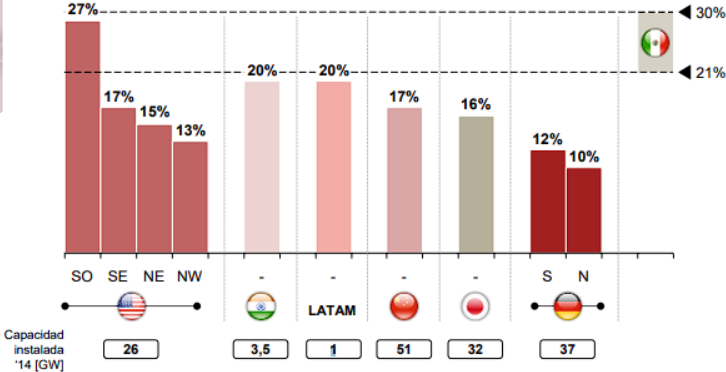
Para lograr esto, se diseña un sistema híbrido que combina la generación solar con la conexión a la red eléctrica, pero sin intercambio bidireccional de energía con la CFE. Además, se desarrolla un esquema de simulación y selección de componentes que garantice la viabilidad técnica y económica del sistema, con base en el perfil de consumo mensual observado en la vivienda.

Este trabajo pretende contribuir al desarrollo de soluciones tecnológicas accesibles que incentiven la adopción de energía solar en el sector residencial, promoviendo un modelo energético más sustentable y eficiente.

Problemática:

Los elementos más costosos para la implementación del sistema fotovoltaico son los siguientes tres elementos: inversor, regulador de carga y baterías, siendo el paquete de baterías el que ocupa el primer lugar en el costo de inversión, de igual forma un inversor híbrido sofisticado, capaz de realizar la conmutación de forma automática tiene un alto costo en el mercado, siendo esto una de las principales causas para que la implementación de los sistemas fotovoltaicos no sean rentables para gran parte de la población en México (Efraín Villanueva, 2019).

Figura 1
Factores de planta observados en México para energía solar FV.



Nota. Tomado de (Juárez-Luna & Urdiales, 2022)

En la Figura 1 se muestran los niveles de irradiancia de México, los cuales van del 21% al 30%. Siendo superiores a países como China o la India donde cuentan con grandes programas de desarrollo solar FV, México pertenece a la sección de LATAM donde únicamente se ha instalado 1 GW, sumándolo con otros países a pesar de su gran potencial de irradiancia, los cuales se corroboran con la Tabla 1 (Juárez-Luna & Urdiales, 2022).

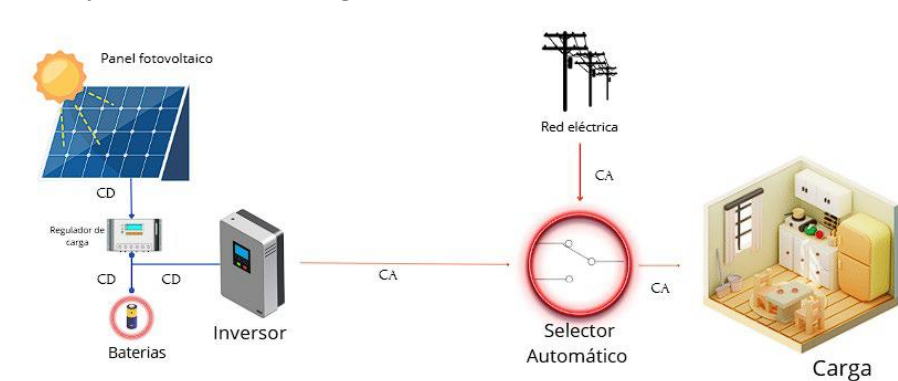
Tabla 1.
Comparación de México con los principales países generadores de electricidad FV(Juárez-Luna & Urdiales, 2022).

Países	Generación de electricidad FV (GWh)	Niveles promedio anuales de irradiación solar (KWh/m²)
China	223,800	1,750
Estados Unidos	93,129	2,044
Japón	74,114	1,679
México	6,591	2,300

Nota: Tomado de: (Juárez-Luna & Urdiales, 2022)

En este trabajo se propone el desarrollo e implementación de un sistema fotovoltaico híbrido integrado con un interruptor automático, con el fin de abordar los desafíos económicos asociados con la adopción de sistemas fotovoltaicos en hogares (Quezada Novoa, 2012). Esta solución busca maximizar el uso de la energía solar durante el día y utilizar el consumo de la red eléctrica durante la noche, manteniendo a los usuarios dentro de la tarifa básica de la CFE y reduciendo los costos de facturación. En la Figura 2 se muestra el diagrama esquemático del sistema de la propuesta solución del sistema.

Figura 2
Sistema fotovoltaico con interruptor automático.



Los beneficios esperados de esta solución incluyen:

- Reducción de costos: Al aprovechar al máximo la energía solar, se disminuye la factura eléctrica y se reduce la inversión inicial del sistema.
- Eficiencia energética: La automatización en la gestión del consumo permite una mejor utilización de los recursos disponibles.
- Sostenibilidad: Se promueve el uso de energías renovables, contribuyendo a la reducción de emisiones de carbono y al cumplimiento de objetivos ambientales.

DESARROLLO

En esta sección, es importante describir brevemente el impacto de la innovación de su investigación, sin extenderse en su redacción, que desvíe el objeto central de la investigación.

OBJETIVO GENERAL Y OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Objetivo general: Desarrollar un interruptor bidireccional con control automático para integrar un sistema fotovoltaico híbrido en una vivienda, orientado a disminuir el uso de energía suministrada por la CFE.

Objetivos específicos:

1. Análisis del interruptor automático aplicado a casa habitación, estado del arte.
2. Estudio y selección de la topología del interruptor y de las cargas, caso de estudio.
3. Adaptación del interruptor automático con dispositivos semiconductores mediante pruebas de simulación y diseño del PCB.
4. Implementación del interruptor automático en el sistema fotovoltaico completo y obtención de resultados preliminares.
5. Análisis y evaluación de los resultados.

OBJETO DE ESTUDIO

El objeto de estudio de la presente investigación es un interruptor bidireccional automatizado diseñado para operar dentro de un sistema fotovoltaico híbrido residencial. Este interruptor tiene la función de gestionar de manera inteligente el flujo de energía eléctrica entre la red eléctrica y los paneles solares, priorizando el uso de la energía solar disponible.

El estudio se enfoca en la disección funcional y validación experimental del interruptor, desde su modelado teórico hasta su implementación física, con el objetivo de mantener el consumo eléctrico de una vivienda tipo tradicional dentro de los límites de la tarifa básica de la Comisión Federal de Electricidad (CFE). Se considera como caso de estudio una vivienda localizada en Cuernavaca, Morelos.

Este componente se selecciona como objeto principal de estudio por su potencial para reducir la inversión inicial en sistemas híbridos comerciales, prescindir del uso de inversores híbridos costosos y ofrecer una alternativa de bajo costo, eficiente y escalable para el manejo energético en el sector residencial.

METODOLOGÍA

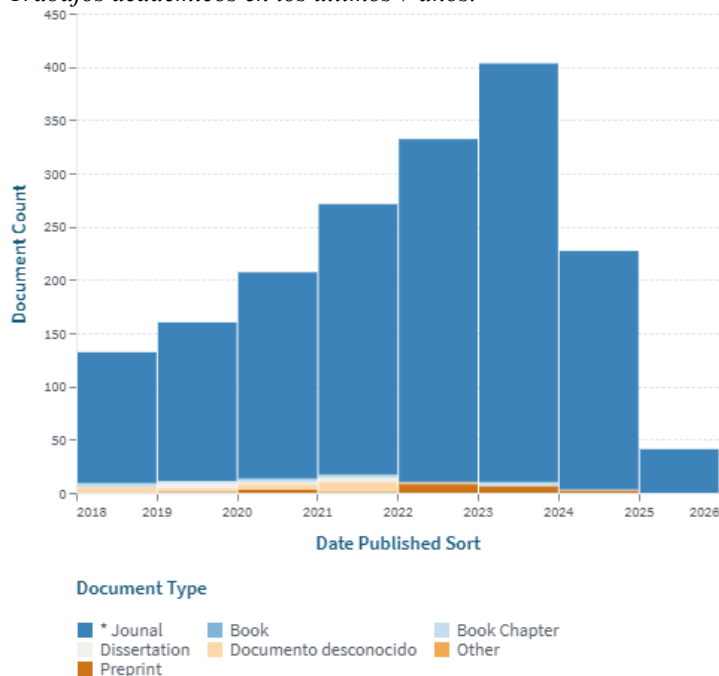
Análisis del Interruptor Automático para Sistemas Fotovoltaicos Residenciales:

Como primer paso, se realizó un análisis del estado del arte mediante la base de datos The Lens Scholarly, utilizando términos clave como photovoltaic systems, automatic switch, bidirectional switch y residential hybrid systems. Los resultados revelan un crecimiento sostenido de publicaciones a partir de 2020, con un pico en 2023, lo cual refleja el creciente interés en el desarrollo de soluciones energéticas eficientes para aplicaciones residenciales.

Los artículos científicos representaron el mayor porcentaje de publicaciones, seguidos por tesis de posgrado y actas de congresos, lo cual evidencia el rigor y la amplitud del tratamiento del tema. Como se muestra en la figura 3.

Figura 3.

Trabajos académicos en los últimos 7 años.



Esta revisión confirma la relevancia actual del desarrollo de interruptores automáticos como componentes clave en sistemas híbridos renovables.

Desde el punto de vista técnico, un interruptor bidireccional o de cuatro cuadrantes debe ser capaz de conducir y bloquear corriente en ambas direcciones, utilizando combinaciones de diodos y transistores (IGBTs). Se evaluaron distintas topologías:

- * IGBT con puente rectificador: permite el control bidireccional de corriente con una sola compuerta de control.
- * Dos IGBTs en paralelo: presenta bajas pérdidas por conducción, pero requiere aislamiento de disparo.
- * Emisor común: ofrece simplicidad de control al compartir referencia de emisor.
- * Colector común: comparable al anterior, pero requiere fuentes de disparo aisladas (NOH, 2015).

Estas configuraciones se analizaron considerando su aplicabilidad en sistemas residenciales, evaluando pérdidas, facilidad de control y viabilidad de implementación. Este análisis fundamenta la elección de una topología eficiente para el diseño propuesto.

Selección de la topología del interruptor y análisis de cargas residenciales:

Tras una revisión del estado del arte sobre interruptores bidireccionales aplicables a sistemas fotovoltaicos, se analizaron distintas configuraciones con base en su viabilidad técnica y económica. Se evaluaron cuatro topologías: interruptor de colector común, emisor común, en paralelo e IGBT con puente rectificador.

Tras un análisis comparativo de las ventajas y desventajas de cada configuración, se optó por el uso de un IGBT con puente rectificador. Esta elección se fundamenta en su control sencillo, bajo número de componentes activos, alta confiabilidad y su capacidad para manejar la conmutación de corriente en ambas direcciones, lo cual es crucial en aplicaciones con cargas variables y sistemas de energía renovable.

Para establecer un perfil de carga representativo, se analizaron consumos típicos de electrodomésticos según datos de la CFE y la CONUEE. Se priorizaron dispositivos esenciales de bajo a medio consumo energético —como refrigeradores, ventiladores, iluminación LED, televisores y equipos de cómputo— con el fin de asegurar una integración eficiente al sistema fotovoltaico propuesto.

Se seleccionaron los electrodomésticos más representativos de una vivienda tipo, determinando su consumo bimestral y anual. Esta información permitió dimensionar adecuadamente el sistema fotovoltaico, priorizando una operación eficiente sin sobrecargar el sistema. El análisis se centró en los aparatos de la planta baja, excluyendo dispositivos de alto consumo como aires acondicionados o calentadores eléctricos, con el objetivo de mantener la demanda dentro de los límites razonables para una vivienda tipo alimentada por energía solar.

La Tabla 2 presenta los dispositivos seleccionados y su consumo estimado. A partir de este perfil, se definieron los requerimientos para el diseño del interruptor automático y del sistema en general, promoviendo así un modelo energético sostenible y funcional.

Tabla 2.

Consumo eléctrico planta baja.

Cantidad	Aparato	Capacidad (Watts x hr)	Tiempo de uso	Consumo Bimestral (kWh)	Consumo Anual (kWh)
1	Refrigerador	400	8 hrs/día	192	1152
1	Televisión 19"	70	5 hrs/día	21	126
3	Lampara led	42	4 hrs/día	10.08	60.48
1	Equipo de música	190	3 hrs/día	34.2	205.6
1	Ventilador techo	120	10 hrs/día	36	216
1	Licuada	350	12 min/día	4.2	27
Total	-	1172	-	297.48	-

Adaptación del interruptor automático con dispositivos semiconductores mediante pruebas de simulación y diseño del PCB:

Para asegurar el correcto funcionamiento del interruptor automático antes de su implementación física, se utilizó el software Proteus. Esta herramienta fue seleccionada por su capacidad para simular circuitos electrónicos junto con microcontroladores, permitiendo modelar el comportamiento completo del sistema.

Se compararon distintas plataformas (Proteus, PSpice y PSIM) en cuanto a su capacidad de simulación, facilidad de uso y especialización. Proteus destacó por su soporte a microcontroladores, su interfaz intuitiva y su enfoque en sistemas embebidos.

Durante la simulación se verificó que el sistema es capaz de conmutar automáticamente entre la fuente fotovoltaica y la red eléctrica, garantizando continuidad en el suministro eléctrico del hogar.

Dimensionamiento del sistema:

- * Ubicación: Cuernavaca, Morelos
- * Horas Sol Pico (HSP): 5.5 h/día
- * Consumo mensual deseado: 300 kWh
- * Panel solar seleccionado: Canadian Solar 615 W
- * Eficiencia del sistema: 75%
- * Resultado: Se requieren 2 paneles para cubrir el consumo diario de 5 kWh

Cálculo eléctrico del interruptor fotovoltaico:

- Potencia: 1230 W
- Tensión: 127 V
- Corriente estimada: 9.68 A
- Corriente de diseño: 19.37 A
- Voltaje de diseño: 190.5 V

Componentes seleccionados:

- Interruptor: IRG7PH35UD1 (1200 V, 20 A)
- Diodo: MUR2020 (200 V, 20 A)

Cálculo eléctrico del interruptor para red eléctrica:

Consumo bimestral del hogar: 398.24 kWh

Potencia diaria promedio: 6.57 kWh $\rightarrow$ 273.75 W

Corriente promedio: 2.15 A

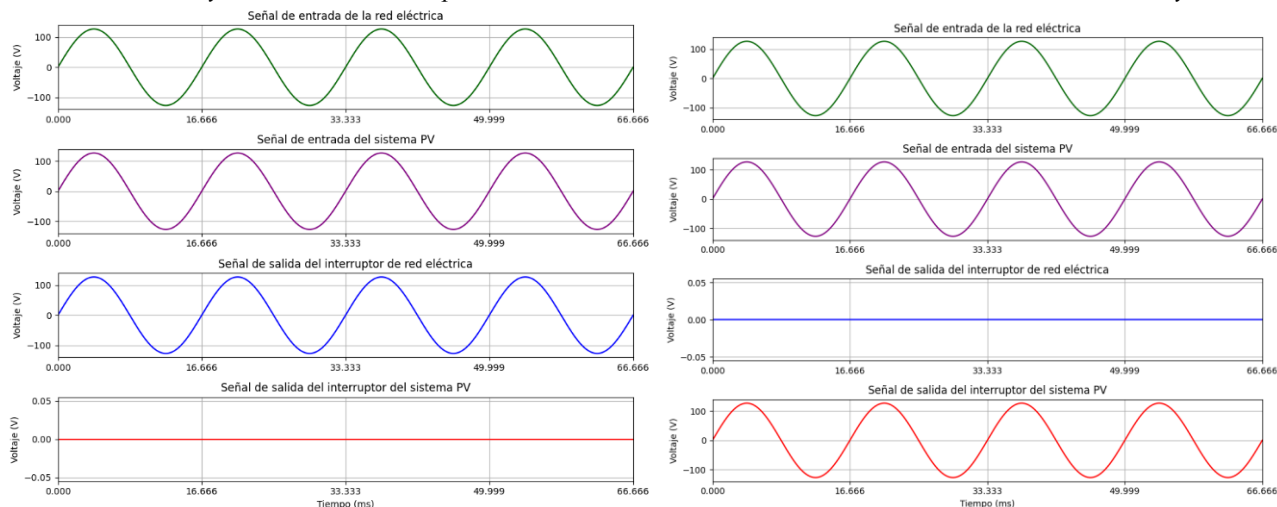
Corriente máxima estimada (2000 W): 21.01 A

Simulación en Proteus:

Se diseñó el circuito completo con los componentes seleccionados. La simulación permitió observar el comportamiento del sistema en tiempo real, validar la lógica de conmutación y realizar ajustes antes de la implementación física. Esta etapa fue esencial para evitar errores y asegurar una transición eficiente entre fuentes de energía. Se elaboró una gráfica que representa exclusivamente las señales obtenidas mediante el osciloscopio virtual, lo cual permite una visualización más clara y precisa del comportamiento del sistema como se muestra en la Figura 4.

Figura 4

Señales de entrada y salida de los interruptores en condiciones simuladas de conmutación entre red eléctrica y sistema fotovoltaico.



Una vez verificado el correcto funcionamiento del sistema en el entorno de simulación, se procedió al diseño del circuito impreso (PCB) utilizando la herramienta Proteus.

FASES DEL DESARROLLO

Implementación práctica del interruptor automático y resultados preliminares:

Finalizada la simulación, se procedió con la implementación física del interruptor automático dentro del sistema fotovoltaico. El objetivo fue validar su comportamiento real y asegurar que los componentes y la lógica de control funcionaran correctamente bajo condiciones reales de carga y conmutación.

Prototipo inicial

Se construyó sobre **placa perforada** para facilitar ajustes antes de diseñar el circuito impreso (PCB). Se verificó su funcionamiento observando las señales de salida con un **osciloscopio**, comprobando la correcta conmutación entre la red eléctrica y el sistema fotovoltaico. Se muestra la siguiente Tabla con los costos de los diferentes componentes utilizados.

Tabla 3
Tabla de materiales y costos de los componentes del interruptor

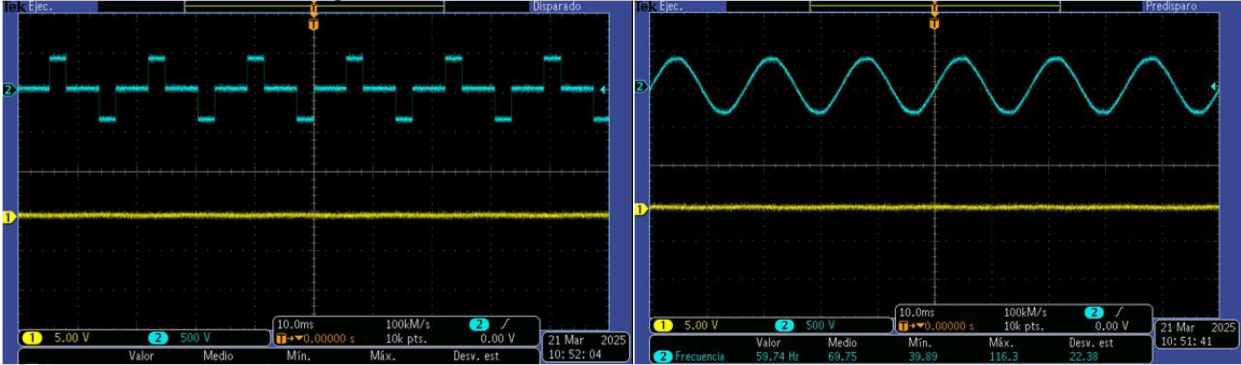
Componente	Modelo / Descripción	Cantidad	Costo Unitario (MXN)	Subtotal (MXN)
IGBT	IRG7PH35UD1	2	\$41.38	\$83.00
Diodo	MUR2020	8	\$51.25	\$410.00
Microcontrolador	Arduino Uno	1	\$115.00	\$115.00
Borneras	—	6	\$9.00	\$54.00
Eliminadores de corriente	12V 4A	2	\$125.00	\$250.00
Sensor de corriente	ACS 7212 30A	2	\$55.00	\$110.00
Optoacoplador	4N35	2	\$27.00	\$54.00
Capacitor	1 μ F / 100V	2	\$20.00	\$40.00
Kit de resistencias	—	1 set	\$80.00	\$80.00
Elaboración de PCB	—	1 lote	\$200.00	\$200.00
Relevador	Relevador Arduino 20 A 250 V	2	\$45.00	\$90.00
Total	—	—	—	\$1,486.00

Una vez implementado el sistema físico, se procedió a la verificación experimental del funcionamiento de los interruptores bidireccionales mediante la observación directa de las señales de salida en condiciones reales de operación.

Las señales capturadas con el osciloscopio permiten comprobar que el sistema realiza correctamente la conmutación entre el sistema fotovoltaico y la red eléctrica, de acuerdo con la lógica de control establecida en el microcontrolador.

En la Figura 5 se muestran las formas de onda reales obtenidas en las salidas de los interruptores, validando que ambos responden adecuadamente ante los distintos niveles de potencia generada y demandada por la planta baja de la vivienda.

Figura 5
Señales de salida de los interruptores.



Obteniendo las señales y que se comprobara la funcionalidad se procedió a comprar los componentes clave del sistema fotovoltaico del interruptor automático.

- ❑ **Inversor TRUPER:** Entrada 12V, salida 120V/60Hz, potencia 400W.
- ❑ **Controlador MPPT:** 720W, baterías de 12/24V, 30A.
- ❑ **Batería LiFePo4:** 12.8V, 89.6Wh.
- ❑ **Reóstato de potencia:** 1000W, 0–68Ω.
- ❑ **Panel solar monocristalino:** 550W, 40V.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

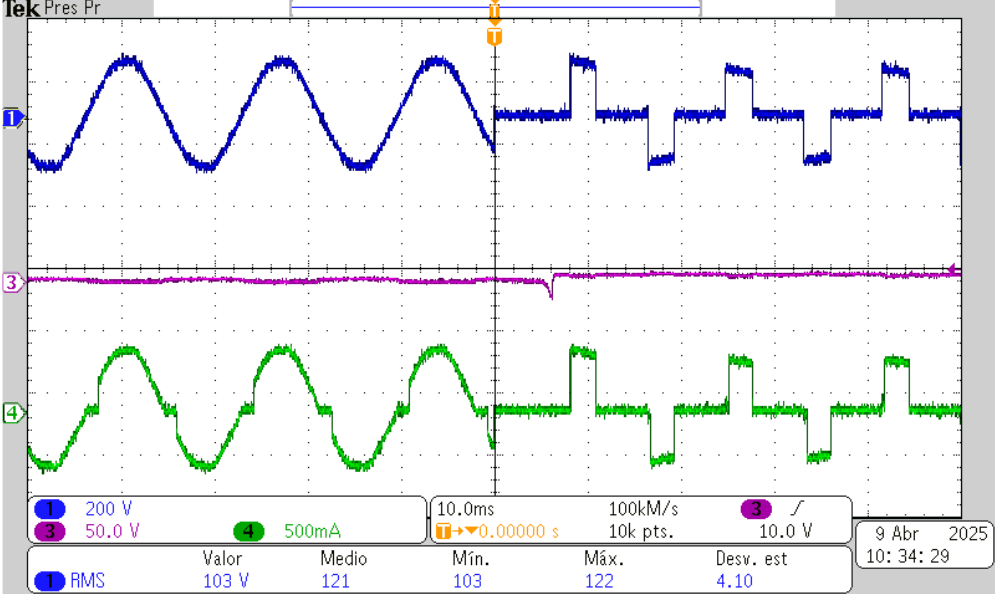
Para completar la validación del sistema, se realizaron pruebas experimentales en condiciones reales donde fue posible observar, mediante el uso de un osciloscopio, el comportamiento dinámico del interruptor automático al momento de conmutar entre la red eléctrica y el inversor fotovoltaico.

En las figuras mostradas, se aprecia claramente cómo la señal de salida cambia de una forma senoidal pura (característica de la red eléctrica) a una señal escalonada modulada por pulsos.

Durante las pruebas, se observó que cuando la potencia generada por el sistema fotovoltaico es suficiente para suministrar la energía demandada por la carga, el microcontrolador genera automáticamente un pulso que activa el interruptor, realizando la conmutación hacia la fuente solar. En la Figura 6, se aprecia que antes de este pulso, la señal azul correspondiente a la red eléctrica muestra una forma de onda senoidal típica. Posteriormente, tras la conmutación, la carga comienza a ser alimentada por el inversor, presentando una señal escalonada, característica de una salida tipo PWM sin filtrado.

De igual forma, la corriente (canal verde) refleja este cambio, modificando su forma en coherencia con el nuevo origen de energía. Este comportamiento confirma que la decisión de conmutar se toma en tiempo real con base en la comparación entre la potencia generada por los paneles y la consumida por la vivienda, priorizando siempre la fuente renovable.

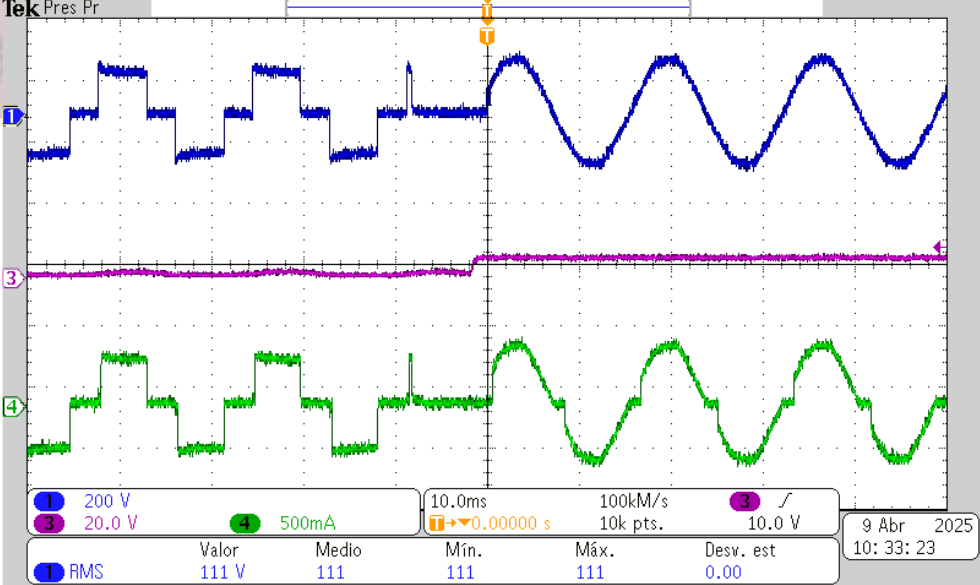
Figura 6
Señales de conmutación de red eléctrica a sistema PV.



En la Figura 7, se aprecia el escenario opuesto: inicialmente el sistema está alimentado por el inversor (señal escalonada), y tras una disminución en la generación solar que impide cubrir la demanda, el microcontrolador genera un nuevo pulso que activa el interruptor de la red eléctrica. Como resultado, la señal retorna a una forma senoidal limpia, indicando que la carga ha vuelto a ser alimentada por la red de la CFE.

Este comportamiento en tiempo real valida el diseño tanto del hardware (interruptor bidireccional con IGBT y diodos) como del software de control embebido en el microcontrolador, confirmando que el sistema cumple con su propósito de priorizar el uso de la energía solar disponible y garantizar un suministro estable a la carga. Además, se evidencia una correcta coordinación entre sensores, algoritmos de comparación y actuadores de potencia.

Figura 7
Señales de conmutación de sistema PV a red eléctrica.



El desarrollo e implementación de un sistema fotovoltaico híbrido con interruptor automático modular ha demostrado ser una alternativa viable, funcional y significativamente más accesible en comparación con sistemas comerciales basados en inversores híbridos todo en uno. A lo largo del proyecto, se cumplieron todos los objetivos propuestos, desde la simulación, diseño y fabricación del interruptor, hasta su validación en condiciones reales de operación, logrando una gestión energética inteligente y eficiente. Las pruebas realizadas, tanto en simulación como en entorno físico, evidenciaron que el sistema es capaz de conmutar de forma automática y confiable entre la red eléctrica y la fuente fotovoltaica, priorizando esta última siempre que su potencia sea suficiente para abastecer la carga. Esta conmutación ocurre mediante pulsos de control generados por el microcontrolador, basados en lecturas en tiempo real de corriente y potencia, garantizando una transición estable, sin interrupciones perceptibles en el suministro.

Discusión:

Para evaluar la viabilidad económica del sistema propuesto, se elaboró una tabla comparativa Tabla 4 entre un sistema fotovoltaico tradicional con inversor híbrido y el sistema implementado con interruptor automático. A pesar de que ambos sistemas ofrecen una generación energética diaria similar (~6.7 kWh), el costo total del sistema modular desarrollado es menos de la mitad del requerido para un sistema híbrido comercial. Esta diferencia se debe principalmente a la eliminación del inversor híbrido y a la selección de una batería de menor capacidad, orientada a respaldos cortos y conmutación inteligente.

Tabla 4
Comparativa entre inversor híbrido e inversor sencillo más interruptor.

Concepto	Sistema con Inversor Híbrido	Sistema con Interruptor
Paneles solares (2 × 615 W)	\$8,064	\$8,064
Controlador de carga	Integrado en el inversor híbrido	Powmr 60a 100% Mppt 12-48V \$1,908
Inversor	Inversor híbrido 2.4 kW PWM – \$7,224	Inversor 3000 W – \$1,875
Batería	LiFePO ₄ 24V 100Ah – \$14,867	Litio 12V 7Ah – \$663
Interruptor automático	Integrado en el inversor híbrido	Fabricado – \$1,486
Tipo de control	Todo en uno (híbrido)	Modular (requiere integración manual)
Generación diaria	~6.7 kWh	~6.7 kWh
Almacenamiento	2.56 kWh útiles	0.084 kWh (limitado)
Conmutación	Automática integrada	Externa mediante lógica de control
Escalabilidad	Alta	Moderada (por batería)
Costo total estimado	\$30,155 MXN	\$13,996 MXN

Para demostrar la funcionalidad del sistema, se realizó una implementación a escala reducida utilizando los componentes de la Tabla 5. Esta configuración permitió validar en laboratorio el comportamiento del interruptor, conmutaciones en tiempo real, y respuesta del sistema ante variaciones de carga simuladas mediante un reóstato.

Tabla 5

Componentes y costos del sistema a escala.

Componente	Modelo / Descripción	Cantidad	Costo unitario	Subtotal
Panel solar	Elite Plus ETM760BH450WW/WB, 450 W, 41.4 Vcc, monocristalino	1	\$2,506	\$2,506
Controlador de carga	EASUNPOWER ICharger-CM-MPPT-30A, MPPT, 30A	1	\$909	\$909
Inversor	Trupper 400 W	1	\$1,115	\$1,115
Batería	LiFePO ₄ 12V 7Ah	1	\$621	\$621
Interruptor automático	Fabricado	1	\$1,486	\$1,486

Esta validación a escala confirma que el diseño es escalable y adaptable a diferentes niveles de demanda, permitiendo una fácil expansión mediante la adición de paneles, baterías o inversores, en función de las necesidades específicas del usuario. Además, al ser un sistema modular, su mantenimiento y actualización resultan más accesibles, y se reducen significativamente los costos de entrada, favoreciendo su adopción en viviendas de tipo medio.

Los resultados presentados en la tabla comparativa de costos del servicio eléctrico de CFE demuestran que mantener el consumo dentro del rango básico representa una diferencia significativa en el gasto bimestral como se observa en la Tabla 6.

Tabla 6

Comparativa de costos de CFE con diferentes consumos.

Concepto	Caso 1: 100 kWh	Caso 2: 400 kWh
Consumo básico	$100 \times \$0.667 = \$66.70$	$125 \times \$0.667 = \$83.38$
Consumo intermedio	—	$100 \times \$0.769 = \$76.90$
Consumo excedente	—	$175 \times \$2.655 = \$464.63$
Subtotal consumo	\$66.70	\$624.91
Cargo fijo (servicio CFE)	\$27.00	\$27.00
Subtotal + cargo fijo	\$93.70	\$651.91
IVA (16%)	\$14.99	\$104.31
Costo total bimestral estimado	\$108.69	\$756.22

Gracias al sistema híbrido con interruptor automático propuesto en este proyecto, es posible priorizar el uso de energía solar durante el día y limitar el uso de la red eléctrica únicamente cuando sea necesario. Esto permite mantener el consumo dentro de los rangos más económicos establecidos por la CFE, logrando un ahorro considerable en el recibo de luz sin sacrificar la continuidad del suministro.

CONCLUSIÓN

El sistema desarrollado cumplió con el objetivo principal del proyecto: implementar un interruptor automático que realiza la conmutación entre un sistema fotovoltaico y la red eléctrica, garantizando el suministro continuo de energía a una carga doméstica. El diseño permitió priorizar el uso de la energía solar, asegurando que la carga se mantuviera alimentada por este recurso el mayor tiempo posible.

Durante las pruebas en condiciones reales, se comprobó que, mientras la generación solar fue suficiente, el sistema alimentó correctamente la carga desde el sistema fotovoltaico. Cuando la tensión del sistema solar descendió por debajo del umbral establecido, el interruptor automático realizó la conmutación hacia la red eléctrica de manera efectiva, sin interrupciones perceptibles en el suministro.

La lógica de control basada en la medición de voltaje resultó adecuada para determinar el momento en que debía realizarse el cambio de fuente, y el funcionamiento del interruptor respondió correctamente a las condiciones de operación previstas.

En conclusión, el sistema demostró ser funcional y confiable para mantener el suministro continuo de energía mediante una gestión automática entre la fuente solar y la red eléctrica, cumpliendo con los objetivos establecidos en el proyecto.

BIBLIOGRAFÍA

- Abella, M. A. (2005). Sistemas fotovoltaicos. *SAPT Publicaciones Técnicas, SL*.
- Aguayo Alquicira, J. (2023). Simulación de Convertidores de Potencia en PSPICE.
- Almusaied, Z., Asiabanpour, B., & Aslan, S. (2018). Optimization of solar energy harvesting: an empirical approach. *Journal of Solar Energy*, 2018(1), 9609735.
- Beltrán, G., & Mexicalxóchitl, Y. (2024). Low-scale electricity generation in Mexico: obstacles and alternatives. *Andamios*, 21(55), 319-345.
- Carpintero, E. d. J. M., Rodríguez, M. S., Gaona, M. Á. C., Ríos, I. A. C., Román, J. R., & Esquivel, F. M. H. (2024). Desarrollo de un Sistema Fotovoltaico Residencial Interconectado a la Red Eléctrica de Comisión Federal de Electricidad (CFE), México. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 8(6), 10382-10399.
- Database, N. N. S. R. (2024). *National Solar Radiation Database*. <https://nsrdb.nrel.gov/data-viewer>
- Efraín Villanueva, H. O., Carlos Ludlow. (2019). *Iniciativa solar para el impulso de la energía solar fotovoltaica de gran escala*. Asolmex. Retrieved 21 Marzo from https://asolmex.org/Micrositio_GSD/Descargas/Iniciativa-solar-para-el-impulso-de-la-energia-fotovoltaica-de-gran-escala.pdf
- Garrido, S. M., Lalouf, A., & Moreira, A. J. (2020). Energías renovables y procesos de desarrollo inclusivo y sustentable: de las políticas públicas puntuales a los abordajes sistémicos.
- Ibarra Sarlat, R. (2018). El impulso de las energías renovables en la lucha contra el cambio climático a través de los certificados ambientales en el sector eléctrico mexicano. *Boletín mexicano de derecho comparado*, 51(152), 569-597.
- Infineon Technologies. (2014). *IRG7PH35UD1 1200V Hyperfast IGBT* (IRG7PH35UD1). https://www.infineon.com/dgdl/Infineon-IRG7PH35UD1PbF-DS-v01_00-EN.pdf
- Juárez-Luna, D., & Urdiales, E. (2022). Participación de la electricidad fotovoltaica en México hacia el año 2050: un estudio Delphi. *The Anáhuac journal*, 22(2), 72-99.
- NOH, A. N. (2015). Diseño e implementación de un interruptor bidireccional de corriente alterna basado en transistores bipolares de compuerta aislada.
- ON Semiconductor. (2020). *MUR2020 Ultrafast Power Rectifier* (MUR2020). <https://www.onsemi.com/pdf/datasheet/mur2020-d.pdf>
- Quezada Nova, A. A. (2012). Diseño e implementación de inversor fotovoltaico de bajo costo.

Qué tan trascendental son los laboratorios de cómputo en una carrera de Tecnologías de la Información

Dr. Ricardo Pérez Calderón
División de Ingeniería en Informática
Universidad Politécnica del Valle de México
Tultitlan, Estado de México, CP. 54910
rperez@upvm.edu.mx

Resumen

Las tecnologías de la información son elementos innovadores en cualquier ámbito de una sociedad, lógicamente en el ámbito de la educación, pasando desde la formación básica hasta el nivel de posgrado y en específico para una carrera de ingeniería y siendo más específicos en la de tecnologías de la información, pero qué pasa cuando no hay los suficientes equipos o laboratorios para solventar la totalidad de la matrícula de una Institución de Educación Superior, es ahí, donde las estrategias en el proceso de enseñanza aprendizaje deben entrar en acción para cumplir con los planes y programas de estudio. El objetivo del presente artículo es evidenciar el logro de los objetivos de los contenidos de diversas materias en la carrera de Ingeniería en Tecnologías de la Información, sin el uso de laboratorios de tecnología informática.

Palabras clave: Laboratorio, Asignatura, Tecnologías, Aula, Manuales.

Abstract

Information technologies are innovative elements in any area of a society, logically in education from basic training to the postgraduate level and there is no doubt that for an engineering career and more in information technologies they would not be the exception, but what happens when there are not enough laboratories or equipment to pay for the entire enrollment of a higher education institution, It is there, where the strategies in the teaching-learning process must come into action to comply with the plans and study programs. The objective of this article is to show the achievement of the objectives of exclusively several subjects in the career of engineering in information technologies, without the use of computer technology laboratories.

Keywords: Laboratory, Subject, Technologies, Classroom, Manuals.

1. INTRODUCCIÓN

Las tecnologías de la información y comunicación (TIC) han ayudado a la sociedad a mejorar sus procesos, el uso de las TIC complementan las acciones cotidianas en cualquier ámbito para tomar decisiones con un alto grado de exactitud, sin embargo, si los procesos en donde interviene la tecnología no son maduros o no se cumplen los objetivos que de ellos se pretende, entonces de nada servirá la implementación de ella, por lo tanto, antes de incursionar en el uso de la tecnología es importante desarrollar cada uno de los procesos para madurarlos y poder implementarla en ellos.

Uno de estos ámbitos es el de la educación la cual incide en la estabilidad y mejoramiento de una sociedad, por lo tanto, Tapia, (2020), indica las diversas tipologías del uso de las TIC, en la tabla 1 se describe tanto el enfoque como el tipo de uso en el proceso educativo.

Tabla 1. Investigaciones destacadas sobre el uso de las TIC en el escenario educativo

Estudio	Tipos de Uso	Enfoques de Uso
Bruce y Levin (1997)	1. Investigación 2. Comunicación 3. Construcción del conocimiento 4. Expresión	Medios de aprendizaje
Galvis (2008)	1. Educación 2. Desarrollo profesional	Actividades educativas y productiva
Karsenti, Collin y Harper-Merrett (2012)	1. Objeto de aprendizaje 2. Proceso de enseñanza-aprendizaje 3. Entretenimiento, personal y social	Integración pedagógica
Sigalés (2008)	1. Enfoque transmisivo en el aula 2. Enfoque activo en el aula	Concepción y perspectiva del proceso de enseñanza y aprendizaje
Squires y McDougall (2001)	1. Aplicaciones de software 2. Funciones educativas del software 3. Planteamientos educativos del software	Utilización de software educativo
Coll, Mauri y Onrubia (2008)	1. Instrumento de mediación entre alumnos y contenidos 2. Instrumento de mediación entre profesores y contenidos 3. Instrumento de mediación entre profesores y alumnos o entre alumnos 4. Instrumento de mediación de la actividad conjunta entre profesores y alumnos 5. Instrumento configurador de entornos de aprendizaje	Instrumentos en el proceso enseñanza y aprendizaje
Rodríguez y Pozuelos (2009)	1. Mayor frecuencia 2. Extensa frecuencia 3. Menor frecuencia	Frecuencia de uso
Collin y Karsenti (2013); Poellhuber y Boulanger (2000)	1. A largo plazo-fuera del salón de clases 2. A corto plazo-dentro del salón de clases	Espacio y tiempo
Vargas (2008)	1. Instrumental 2. Mediación	Experiencia con la tecnología
Frissen (2003)	1. Enfoque instrumental 2. Enfoque orgánico	Uso del Internet
Marqués (2013)	1. Canal de comunicación 2. Planificación del proceso enseñanza-aprendizaje 3. Apoyo en el proceso enseñanza-aprendizaje 4. Durante el proceso enseñanza-aprendizaje	Uso en ambientes educativos

Tabla 1. (Tapia Cortes, 2020)

Por lo tanto, los tipos y los enfoques de uso son variados que su implementación en el proceso de la enseñanza aprendizaje (PEA) se pueden potencializar a través del uso de la tecnología. Por ejemplo, la construcción de conocimiento (Bruce y Levin), el enfoque transmisivo en el aula (Sigalés), las aplicaciones de software (Squires y McDougall), el instrumento configurador de entornos de aprendizaje (Coll, Mauri y Onrubia), a largo plazo-fuera del salón de clases (Collin y Karsenti) y la planificación del proceso enseñanza-aprendizaje (Márquez), son un marco de referencia para el uso de la tecnología.

En relación a lo anterior, Marqués, (2012), indica que el usar las tics en la educación ayudará en 3 grandes razones:
Alfabetización digital de los alumnos, Adquirir las competencias básicas del uso de las TIC
Productividad, estar más embebido en el proceso de la indagación de la información así como ahondar en temas y en el aprendizaje
Innovar las prácticas docentes, mejorar el aprendizaje.

Desde luego, lo que mencionan los autores Marqués y Tapia inciden tanto en la enseñanza como en el aprendizaje, pero que pasa cuando no existen los elementos necesarios para llevar a cabo ese proceso o existe carencia en algunos de ellos, como por ejemplo, la disponibilidad de Internet, el ancho de banda, los pizarrones electrónicos, el número de laboratorios, la cantidad de PC por cada laboratorio, el número de proyectores, entre otros. Entonces, los tipos y el enfoque del uso se deberían de adecuar a la estrategia del PEA de tal forma que se cumplan con los contenidos de cada asignatura.

La presente investigación tratará de evidenciar el *no uso de un laboratorio de cómputo y si el uso de una aula escolar tradicional sin elementos tecnológicos*. Por lo tanto, el objetivo del proyecto es “Qué trascendental es el uso de tecnología informática en un aula escolar para la satisfacción del alumno en materias de la especialidad y con ello tener un aprendizaje significativo”.

Con este objetivo se pueden desencadenar los siguientes objetivos específicos.

Observar la cantidad de dispositivos portátiles (Laptop) por cada grupo para generar una estrategia educativa
Identificar las características de configuración de los equipos de los alumnos para adecuar la estrategia de enseñanza
Instalar el software predeterminado en los dispositivos portátiles de los alumnos para evidenciar el proceso de aprendizaje
Generar un procedimiento de implementación para el proceso de enseñanza y aprendizaje

2. OBJETO DE ESTUDIO

Mesa, (2016) hace un compilado de la calidad de la educación en el país de Colombia con el uso de las Tic en tres ámbitos:

Incorporación, es la dinamización del proceso y la aceleración de alternativas pedagógicas y metodológicas que enriquezcan las practicas pedagógicas

Impacto, incide en la motivación y concentración del alumno

Calidad, apoya el proceso educativo no totalmente tecnológico sino también en el pedagógico

Si es importante indicar que los elementos de las Tic son componentes diferenciadores para las instituciones que los tengan y que además los puedan incorporar al proceso de la educación, de ahí la importancia de contar con ellos, más sin embargo, qué pasa cuando es imposible hacer uso de manera eficiente de ellos.

Según Zeledon, (2013), menciona que en la Universidad Católica del el Salvador en el año 2011, “se contaba con una computadora por cada 10.1 estudiantes y 10.88 estudiantes por computadora con acceso a internet”, lo cual resulta muy caótico para la estrategia de enseñanza o el proceso aprendizaje del alumno.

En este sentido, Sunkel, G. (2021), indica que la razón de alumnos por computadora es la densidad informática, para lo cual en la tabla 2, se presenta la información que es referenciada para el nivel básico de la Educación, más sin embargo, si puede ser un referente en relación a este tema.

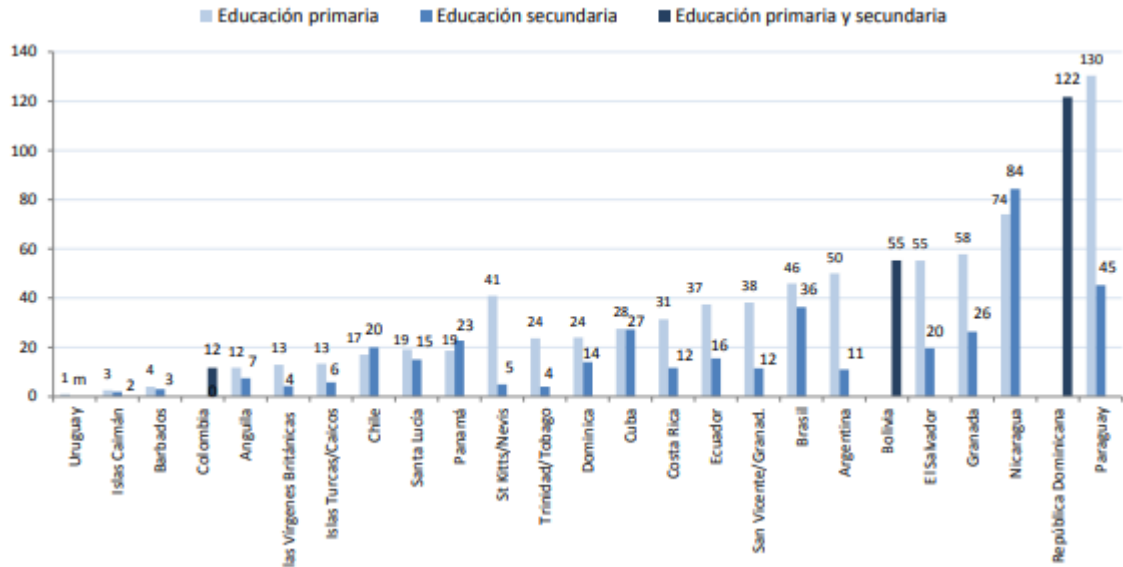
Tabla 2. Densidad Informática

País	Tasa de Alumnos por Computadora
Brasil	193.1
Argentina	52.2
Chile	42.2
México	35.2
Uruguay	26.7
Estados Unidos	6.8
Suecia	país OCDE
	9.4
Corea	país OCDE
	8.9

Tabla 2. Sunkel, G. Fuente: base de datos Pisa 2000

Se denota que existe una gran zanja en las computadoras por cada uno en los países de América latina, sin embargo, hasta en los países de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE), sigue siendo de igual manera una cantidad considerable de alumnos. Este indicador se debe de considerar como un problema para lograr los objetivos en relación a la pertinencia del conocimiento. Por lo tanto, se deben generar estrategias alternas que no contemplen el uso de las TIC debido a la precariedad de recursos disponibles.

Por otro lado, en el documento del uso de la Tic en Educación en América Latina y el Caribe en su índice construyendo la infraestructura para las nuevas formas de la enseñanza asistida por TIC, se presenta un gráfico que lo denominan ratio de alumnos por computadora en educación primaria y secundaria en el año del 2010, lo que refleja una carencia total en los países que se indican.



Gráfica 1. Fuente: Uso de Tic en Educación en América Latina y el Caribe. Instituto de Estadística de la UNESCO, base de datos y Cuadro Estadístico II.5.

Se observa que en el país de Paraguay hay 130 alumnos por computadora lo cual denota una carencia en este aspecto, por otro lado diversos países como Brasil, Argentina, Bolivia e incluso Chile también demuestran que la estrategia en relación a las TIC no está cimentada. Es importante aclarar que es a nivel de educación básica, sin embargo, debería ser un elemento trascendental el uso de la computadora para generar estrategias de innovación del aprendizaje y de la enseñanza en ese nivel.

Adicionalmente en este informe se expresa que tanto en países con medios e ingresos altos se ve reflejado que el uso de las TIC no es tan elevado en pro de su estrategia de enseñanza, sí las usan pero no en su totalidad si no como un complemento, por lo tanto, es aquí, donde la estrategia no debería estar sustentada en el laboratorio de computo, si no, en las TIC de cada alumno y no en las TIC de la institución.

Por otro lado, en niveles más avanzados, Moyano, (2020), comenta que “es sensiblemente menor tanto la implementación de dispositivos móviles para el estudio en las universidades y la edición de bibliografía, como la producción de estudios académicos sobre su impacto” lo

que indica que los esfuerzos no son suficientes a nivel de educación superior. También dice que la “apropiación de las tecnologías de la información y la comunicación (TIC) en las universidades y su utilización por parte de los alumnos es a velocidad diferente (Lagunes Domínguez, 2019)” por diversas características de las que se podrían indicar el mismo alumno, el profesor, el modelo educativo, entre otras. Concluye, diciendo que si es importante focalizar la política en materia de desarrollo tecnológico de la Universidad sobre el uso y enfoque que le dan los alumnos y profesores.

Por lo anterior se focalizará este trabajo en una carrera de Ingeniería en Tecnologías de la Información (ITI). En la tabla 3, según la página oficial de la IES del caso de estudio la distribución del equipo de cómputo fue de la siguiente manera:

Tabla 2. Distribución del Equipo de Cómputo

Ciclo Escolar	Total de PC	Docente de Tiempo Completo	Docente de Asignatura	Laboratorios y Talleres	Personal Administrativo y de Mando medios y Superiores	Biblioteca
2020-2021	561	110	5	329	103	14
2019-2020	949	95	11	714	113	16
2018-2019	592	103	11	700	464	14
2017-2018	669	70	80	450	69	0
2016-2017	669	70	80	450	69	0
2015-2016	754	69	263	450	90	0

Tabla.3 Evaluación Institucional página 23 (Evin)

https://upvm.edomex.gob.mx/sites/upvm.edomex.gob.mx/files/files/PDF/UPVM_PDF_EVIN-2021.pdf

Se observa que en el periodo del 2016 al periodo del 2020 existe una diferencia considerable de computadoras para los laboratorios de 450 a 329 lo que indica que son 121 computadoras menos es casi un 27 %, que va en contra del proceso de educativo.

En la tabla 4, según la página oficial de la IES se muestra la matrícula por ciclo escolar.

Tabla 4. Distribución de la Matricula por ciclo de escolar

Ciclo Escolar	Matricula Estudiantil
2020-2021	5,176
2019-2020	5,916
2018-2019	6,105
2017-2018	5,700
2016-2017	5,173

Tabla 4 Evaluación Institucional página 34. (Evin)

https://upvm.edomex.gob.mx/sites/upvm.edomex.gob.mx/files/files/PDF/UPVM_PDF_EVIN-2021.pdf

Se puede afirmar que del año 2016 al año 2021, la matricula se mantuvo por lo tanto el número de equipos de cómputo debería de haber estado en el mismo rango de computadoras, mas sin embargo, aquí hay una consideración el avance de la informática hace que las características de ellas posiblemente no soporten las nuevas tecnologías o las posibles descomposturas.

En la tabla 5, se ve el concentrado de acuerdo a la información presentada sobre el uso de laboratorios, talleres, número de matrícula y la cantidad de alumnos por equipo.

Tabla 5. Equipos por alumnos de la IES

Ciclo Escolar	Numero de PC en Laboratorios y Talleres	Matricula estudiantil	PC por Matricula
2020-2021	329	5176	16
2019-2020	714	5916	8
2018-2019	700	6105	9
2017-2018	450	5700	13
2016-2017	450	5173	11

Fuente: Elaboración propia

Lo que deja a nivel de la IES en el uso de laboratorios con las siguientes cantidades, la más alta de 8 alumnos por computadora y con una cantidad más baja de 16 alumnos por computadora, lo cual ambos resultados parecería complicado, sin embargo en la tabla 6, se muestra la descentralización a nivel del programa de estudios lo que resulta todavía más caótico la implementación de los equipos de cómputo.

Tabla 6. Equipos por alumnos para el Plan de Estudios ITI

Ciclo Escolar	Numero de Laboratorios	de Matricula estudiantil de ITI	Matricula por laboratorio	Numero de PC en los Laboratorios	Matricula por PC
2024-3		855	214		19
2024-2		690	172	46	15
2024-1		776	194		16
2023-3	4 laboratorios	816	204		17
2023-2		655	163	47	13
2023-1	Laboratorio de programación I	716	179		15
2022-3		789	197		16
2022-2		653	163	45	14
2022-1	Laboratorio de programación II	661	165		14
2021-3		720	180		15
2021-2		666	166	47	14
2021-1	Laboratorio de Tecnología	709	177		15
2020-3		815	203		17
2020-2	Informática I	774	193	47	16
2020-1		831	207		17
2019-3	Laboratorio de Tecnología	942	210		20
2019-2		880	220	47	18
2019-1	Informática II	958	239		20
2018-3		785	196		16
2018-2		932	233	47	19
2018-1		1020	255		21

Fuente: Elaboración propia

Sin embargo, no todo es el equipo de cómputo (funcionamiento, capacidad, licencias). También son importantes otras condiciones pertinentes al PEA como son la experiencia del docente en ámbito tecnológico y educativo, el modelo educativo (ME) de la institución y los elementos que dependen de él, el proceso de aprendizaje de los alumnos y las condiciones físicas del aula, entre otros. El ME cuenta con diversos elementos de los que sobresalen, el manual de la asignatura de la materia, la planeación de la asignatura, la planeación de la evaluación, los instrumentos de evaluación, entre otros.

3. METODOLOGÍA

Es importante indicar que las fases del desarrollo se dieron de forma paulatina, es decir. Se escogieron deliberadamente los siguientes elementos:

- Las materias de un ciclo de formación predeterminado,
- Los grupos de acuerdo a esas materias,
- Un turno específico,
- Las aulas sin condiciones extras que las naturales,
- Un pizarrón que se viera legible,
- El profesor con experiencia y dominio de la materia,
- Entre otras.

En efecto, es importante denotar que la estrategia se debió a la falta de equipos de cómputo en los laboratorios, aunado a su arquitectura y su buen funcionamiento. En muchas instituciones existe debilidad de estos rubros por diversas causas, falta de presupuesto para adquisición de equipos, falta de mantenimiento tanto preventivo como correctivo, falta de dispositivos, entre otras; cuando alcanzan los recursos para solventar estas circunstancias no debería de haber problema alguno, sin embargo, qué pasa cuando no los hay o no existen suficientes elementos tecnológicos, este es precisamente el impacto de esta investigación, que a pesar de no haber la suficiente tecnología informática, se debe cumplir con los contenidos de cada asignatura y lograr una aprendizaje significativo en los alumnos. Por lo tanto, esta investigación

será descriptiva del tipo cuantitativa a través de la aplicación de encuestas a los alumnos participantes en materias previamente seleccionadas de la especialidad de área de programación de la carrera de ITI.

El ME de la Universidad es el modelo de educación basada en competencias, la página oficial de la IES, lo describe de la siguiente manera: “El Modelo de Educación Basada en Competencias (MEBC), está centrado en el aprendizaje, lo que permite a las y los estudiantes el dominio de competencias profesionales genéricas y específicas. El diseño curricular de sus carreras contempla tres ciclos de formación distribuidos en 10 cuatrimestres, incluyendo dos estancias y una estadía en empresas de la región.”

Consecuentemente, el MEBC cuenta con una serie de elementos que hace que el estudiante sea el impulsor de su propio conocimiento, debido que a él se le presenta por cada materia del plan de estudios (Manual de la asignatura) en la primera semana de clases, por lo tanto, el alumno percibe cual es el alcance del conocimiento que debe tener. Esta es una premisa notable a la cual no se le da atención por parte de la mayoría de los alumnos.

Los elementos a ser considerados en el proceso de la estrategia del proyecto son:

Un elemento trascendental es la docencia del modelo educativo en su página oficial se indica lo siguiente en relación a ello:

“Enfatizará la búsqueda permanente de nuevas formas de enseñanza-aprendizaje diseñadas con enfoques educativos flexibles y centrados en el aprendizaje, que desarrollen en los estudiantes habilidades para aprender a lo largo de la vida”

La docencia es un pilar en torno a la formación de los futuros profesionistas de la IES, ya que las estrategias que se usen en pro del proceso de enseñanza-aprendizaje (PEA), serán de gran ayuda para la inserción laboral de los alumnos. Muchos de los docentes se hacen llamar facilitadores rompiendo con los paradigmas de comportamiento y se escudan en esa posición haciendo que el PEA se trunque por las actitudes de los docentes.

El PEA es definido en el MEBC como: “El proceso de enseñanza-aprendizaje en las universidades politécnicas estará orientado a desarrollar en los alumnos conocimientos duraderos que den sustento a su práctica profesional y personal; esto es, se procurará el aprendizaje significativo.” Para castillo, (2006) , lo describe de la siguiente manera:

“El papel del docente en la promoción del aprendizaje significativo de los alumnos, no necesariamente debe actuar como un transmisor de conocimientos o facilitador del aprendizaje, sin mediar el encuentro de sus alumnos con el conocimiento de manera que pueda orientar y guiar las actividades constructivistas de sus alumnos.”

Como conclusión, es interactuar con esa manera de aprender por parte del estudiante y como situar ese conocimiento logrado y adquirido fuera del contexto académico. También el mismo autor indica que el principal responsable de la tarea evolutiva en el aula y seguramente de la evolución contextualizada del alumno es el docente. Por lo tanto, el docente fue, sigue y seguirá siendo, en ser el primero en generar estrategias disruptivas que ayuden a la consolidación del conocimiento de cada asignatura del programa de estudio. Independientemente del uso de tecnología o no, la cual ayudará a consolidar ese proceso de enseñanza aprendizaje, sin embargo, si no se usan las TIC no deben ser un elemento que deba interferir en ese proceso.

El manual (guía) de la asignatura como se ha definido en el mismo subsistema además de indicar ciertas características que apoyan el proceso, las cuales tendrán por objeto facilitar la labor del profesor y del alumno durante el aprendizaje. Estas guías en el modelo educativo las describen como que serán de utilidad para:

- a) Mantener la atención, el interés y la motivación del alumno y del profesor
- b) Explicar y aclarar los contenidos que se tratan durante la asignatura y propiciar su comprensión
- c) Generar un ambiente de aprendizaje que propicie la participación activa de los profesores y alumnos
- d) Aplicar lo visto y aprendido a situaciones de la vida real
- e) Propiciar el cumplimiento de los resultados de aprendizaje.

Estos elementos abarcan la mayoría de las características del PEA.

La planeación de la asignatura se muestra en la figura 2, en ella se denotan: los contenidos de la formación, las técnicas sugeridas de aprendizaje, el espacio de aprendizaje, entre otros, son planeados por cada unidad, es decir, el proceso de cómo se cubrirán los temas durante el período escolar por parte del docente con sus respectivas fechas.

Figura 2. Planeación de la Asignatura

NOMBRE DEL PROGRAMA EDUCATIVO:		Ingeniería en Tecnología de la Información							
OBJETIVO DEL PROGRAMA EDUCATIVO:		El alumno implementará programas mediante metodologías y herramientas de programación para visualizar las aplicaciones de tecnologías de la información en la solución de problemas.							
NOMBRE DE LA ASIGNATURA:		Estructura de Datos							
OBJETIVO DE LA ASIGNATURA:		El alumno codificará estructuras de datos y métodos de ordenamiento y búsqueda a partir del cálculo de factibilidad computacional para la gestión de datos.							
TOTAL HRS. DEL CUATRIMESTRE:		105							
CONTENIDOS PARA LA FORMACIÓN		ESTRATEGIAS DE APRENDIZAJE							
UNIDAD DE APRENDIZAJE	RESULTADOS DE APRENDIZAJE	EVIDENCIAS	TECNICAS SUGERIDAS		ESPACIO DE APRENDIZAJE (RECURSOS)			TOTAL DE HORAS	
			PARA LA ENSEÑANZA (PROFESOR)	PARA EL APRENDIZAJE (ALUMNO)	AULA	LABORATORIO	OTRO		
								PRESENCIALES	NO PRESENCIALES
									PERIODO EN QUE SE IMPARTE
									FECHA DE EVALUACIÓN
1 Introducción a la estructura de datos	El alumno será capaz de: + Realizar entender la memoria dinámica y los tipos de datos abstractos	Presentación del inicio del Proyecto de la materia	Exposición del tema	Exposición del tema aprendido			Video conferencia	18	4
2 Tipología y administración de estructuras de datos	El alumno será capaz de: + Optimizar las Estructuras dinámicas y estructuras de datos lineales y no lineales.	Presentación del desarrollo del Proyecto de la materia	Exposición del tema	Exposición del tema aprendido			Video conferencia	42	6
3 Ordenamiento y búsqueda de datos	El alumno será capaz de: + Crear programas usando los métodos de ordenamiento	Presentación del desarrollo del Proyecto de la materia	Exposición del tema	Exposición del tema aprendido			Video conferencia	18	3

Formato autorizado de la IES.

La planeación de la evaluación se muestra en la figura 3, en ella se denota: el proceso de la evaluación a través de las evidencias e instrumentos son usados en las fechas planeadas para poder evaluar los temas de la formación.

Figura 3. Planeación de la Evaluación de la Asignatura

NOMBRE DEL PROGRAMA EDUCATIVO:									
OBJETIVO DEL PROGRAMA EDUCATIVO:		El alumno implementará programas mediante metodologías y herramientas de programación para visualizar las aplicaciones de tecnologías de la información en la solución de problemas.							
NOMBRE DE LA ASIGNATURA:		Estructura de Datos							
OBJETIVO DE LA ASIGNATURA:		El alumno codificará estructuras de datos y métodos de ordenamiento y búsqueda a partir del cálculo de factibilidad computacional para la gestión de datos.							
TOTAL HRS. DEL CUATRIMESTRE:									
NOMBRE DEL PROFESOR				GRUPO				CUATRIMESTRE:	
CONTENIDOS PARA LA FORMACIÓN		EVALUACIÓN							
UNIDAD DE APRENDIZAJE	RESULTADOS DE APRENDIZAJE	EVIDENCIAS	RUBRICA DE LA EVIDENCIA		EVALUACIÓN				
			PARA EL DESARROLLO DE LA EVIDENCIA	PARA LA PRESENTACIÓN DEL RESULTADO	PRESENCIA (CONTINUA)	TÉCNICA	INSTRUMENTO	FECHA DE EVALUACIÓN	
1 Introducción a la estructura de datos	El alumno será capaz de: + Realizar entender la memoria dinámica y los tipos de datos abstractos	Presentación del inicio del Proyecto de la materia	Exposición en equipo. Conceptos básicos, alcances, importancia, beneficios y niveles de la modelación de algoritmos formales e informales	Presentación del modelado a través de Power Point	Asistencia Participación	Exposición individual	Formato de Proyecto de Investigación en Netbeans	30 De Mayo de 2023	
2 Tipología y administración de estructuras de datos	El alumno será capaz de: + Optimizar las Estructuras dinámicas y estructuras de datos lineales y no lineales.	Presentación del desarrollo del Proyecto de la materia	Exposición en equipo. Estructuras de control y de datos	Presentación de la normalización de Algoritmos	Asistencia Participación	Exposición individual	Formato de Proyecto de Investigación en Netbeans	15 de Junio de 2023	

Formato autorizado de la IES.

Otro elemento sustancial, es el propio alumno con su estilo de aprender y de llevar ese proceso de aprendizaje en relación a su formación académica.

Con estos elementos al menos, sí es posible desarrollar una clase tecnológica dentro de un aula escolar sin que se tenga algún elemento especializado sólo con el uso de las condiciones físicas del aula (luz, energía eléctrica, espacio, mesas, sillas, entre otras).

La carrera de ITI estratégicamente se divide en varias áreas de formación (Academias), la universidad de Nayarit define a la academia de la siguiente manera:

“La academia es un cuerpo colegiado de miembros del personal académico dedicado al análisis y discusión para el diseño, desarrollo, actualización y evaluación de una o varias unidades de aprendizaje cuyas competencias profesionales y contenidos programáticos guarden relación ente sí”

Es una estrategia muy frecuente en el entorno de la generalidad de las IES, en este caso en la tabla 7 se observa como el programa de estudio de ITI se divide en 5 academias:

Tabla 7. Cantidad de Materias por Academia

Academia	No. de materias por academia	Fracción Relativa	Fracción Acumulada
Inglés	9	14 %	14 %
Hardware y Redes	7	11 %	25 %
Consultoría	16	25 %	50 %
Programación	20	31%	81 %
Ciencias Básicas	12	19 %	100 %
Total	64	100%	

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 8, se desglosa las materias de la Academia de Programación por cuatrimestre. Cada una de las academias están conformadas por un grupo de materias a lo largo de la carrera de ITI.

Tabla 8. Materias de la Academia de Programación

No.	Cuatrimestre	Materia
1	Primero	Herramientas Ofimáticas
2		Introducción a la programación
3		Introducción las tecnologías
4	Tercero	Programación
5	Cuarto	Estructura de Datos
6	Quinto	Ingeniería de Software
7		Base de Datos
8		Administración de Base de Datos
9	Sexto	Programación Orientada a Objetos
10	Séptimo	Ingeniería de Requisitos
11		Programación Web
12		Lenguajes y Autómatas
13	Octavo	Diseño de Interfaces
14		Gestión de Desarrollo de Software
15		Sistemas Inteligentes
16	Noveno	Tecnologías de Virtualización
17		Tecnologías y Aplicaciones en Internet
18		Sistemas Embebidos
19		Programación Móvil
20		Seguridad en Informática

Fuente: Elaboración propia

Por lo tanto, las 20 materias de la academia de programación son un referente ya que son más del 31 % de la carrera y con ellas en ocasiones no alcanzan los laboratorios para poder impartirlas en los laboratorios y menos cuando algunas asignaturas de otras academias solicitan el uso de ellos. Consecuentemente, se deben crear estrategias en torno a un salón de clases que no está acondicionado para impartir una materia tecnológica. Lo ideal es que siempre haya espacio para la totalidad de las materias en todos los grupos desde primero hasta el último cuatrimestre, la verdad es que es imposible atender a la población estudiantil para que acceda a los laboratorios en su totalidad.

Por otro lado, las asignaturas se colocaron por ciclos de formación las cuales deberán desarrollar las competencias (Tabla. 9) de cada programa de estudios. Es importante indicar, que estas capacidades corresponden conforme el alumno vaya avanzando en su carrera, lamentablemente estas competencias no se desarrollan aunque el alumno continúe por los cuatrimestre, por diversas causas (experiencia del docente, estilo de aprendizaje del alumno, los espacios tecnológicos, son muchas características imputables al alumno, al profesor, a otras instancias, en fin), por lo tanto, para estas competencias debería de haber un proceso para ser acreditadas obligatoriamente por los alumnos y con ello garantizar el cumplimiento de ellas y así certificar el conocimiento. Este proceso debe ser independiente a la formación académica, lo cual evidenciará que no es necesario el uso de la tecnología de la institución para formalizar este proceso.

Tabla 9. Competencias a desarrollarse programa de estudios ITI

Ciclo	Cuatri – mestres	Competencias a desarrollar por cada ciclo de formación
Primero	1ro - 3ro	Administrar la infraestructura tecnológica mediante el mantenimiento y soporte técnico, técnicas de diseño y administración de redes para optimizar el desempeño, garantizando la operación física y lógica de los equipos de cómputo y redes de área local con el fin de contribuir al logro de los objetivos de la organización. Realizar mantenimiento y soporte técnico a equipo de cómputo y sistemas con base en un plan y en respuesta a las contingencias, empleando procedimientos y técnicas para garantizar la disponibilidad y optimizar los recursos de la organización.
Segundo	4to – 6to	Administrar redes de datos mediante el análisis del entorno y de los requerimientos, con base en procedimientos, herramientas, estándares y políticas aplicables para garantizar la seguridad y operatividad de la red. Desarrollar soluciones innovadoras de integración de tecnologías de la información mediante metodologías de desarrollo de software, diseño de base de datos, seguridad de la información y administración de proyectos; con base en los estándares aplicables para atender las áreas de oportunidad, resolver las necesidades y optimizar los procesos y recursos de la organización.
Tercero	7to – 9no	Modelar Software con base en los requerimientos usando estándares y técnicas para desarrollar una solución que satisfaga las necesidades específicas de la organización. Desarrollar soluciones de software con base en metodologías, procedimientos y técnicas para satisfacer las necesidades específicas de la organización. Gestiona sistemas de bases de datos utilizando técnicas, métodos y herramientas de desarrollo de bases de datos para garantizar la seguridad de la información y consistencia de los datos. Gestionar proyectos innovadores de integración de tecnologías de la información mediante metodología de investigación, herramientas administrativas y estándares aplicables para la optimización de procesos y recursos.

https://upvm.edomex.gob.mx/ing_tecnologias_informacion

Para contextualizar el número de grupos por ciclo escolar se presenta la tabla 10 en donde se indica el número de grupos y la cantidad de matrícula por cada periodo escolar.

Tabla 10. Grupos por periodo escolar

Periodo Escolar	Cantidad de Grupos	No. de Alumnos
2024-1	32	767
2024-2	28	694
2024-3	28	840

Fuente: Elaboración propia

4. DESARROLLO.

En la tabla 11, se describen las asignaturas que han sido impartidas en un aula sin tecnología informática en un periodo de 12 meses las cuales se han llevado a cabo de la siguiente manera, aunado a ello desde la figura 4 hasta la figura 13, se muestra las fotos de los cursos impartidos en un aula escolar.

Tabla 11. Asignaturas Impartidas en salón

Periodo Escolar	Asignatura	Cuatrimestre	Nivel	No. de Alumnos
2024-1	Base de Datos	Quinto	Licenciatura	24
	Administración de base de datos	Sexto		18
	Introducción a la Programación	Primero	Maestría	34
	Programación Avanzada	Tercero		9
Total de Alumnos por periodo				85
2024-2	Base de Datos	Quinto	Licenciatura	18
	Estructura de Datos	Cuarto		28
	Lenguajes y Autómatas	Segundo	Maestría	6
Total de Alumnos por periodo				52
2024-3	Base de Datos	Quinto	Licenciatura	18
	Administración de Base de Datos	Sexto		15
	Programación Avanzada	Tercero	Maestría	6
Total de Alumnos por periodo				39
Total de Alumnos				176

Fuente: Elaboración propia

Fotos de las materias impartidas

Figura 4. Base de Datos



Figura 6. Base de Datos



Figura 5. Base de Datos



Figura 7. Base de Datos



Figura 8. Base de Datos



Figura 9. Base de Datos

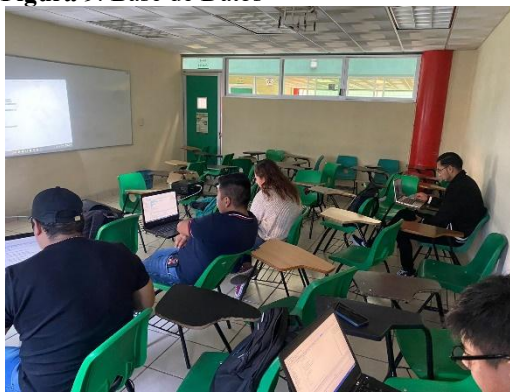


Figura 10. Programación Avanzada



Figura 11. Administración de Base de Datos



Figura 12. Administración de Base de Datos



Figura 13. Administración de Base de Datos



Fuente: Elaboración propia

Muestra.

Los 85 alumnos del período 2204-1 refleja el 11 % de la población del programa de estudios, los 52 alumnos del período 2024-2 reflejan el 7.5 % de la población y los 39 alumnos del período 2024-3 reflejan el 4.5 % de la población, considerando estos datos, la población reflejada muestra razonable para el presente proyecto. Todas las horas de las asignaturas se realizaron exclusivamente en salón.

Las materias seleccionadas son del segundo ciclo de formación, ellas ayudan al desarrollo de las competencias de ese período, adicionalmente la cantidad de alumnos también son una muestra considerable ya que son los alumnos que van avanzando conforme pasan las materias de los cuatrimestres. En la tabla 12, se muestra las horas impartidas a lo largo de 15 semanas de cada cuatrimestre.

Tabla 12. Total de horas por cada día

Periodo	Materias	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Horas por Materia
2024-1	Administración de BD		7:00-10:00	12:00-	10:00-		6
	Base de Datos	7:00-		14:00	11:00	12:00-	7
	Introducción a la programación	10:00	10:00-11:00		7:00-10:00	13:00	6
	Programación Avanzada	12:00-14:00		7:00-9:00	12:00-13:00		2
						17:00-19:00	
Total horas		5	4	4	5	3	21
2024-2	Base de Datos	7:00-9:00	7:00-9:00		10:00-	13:00-	7
	Estructura de Datos	9:00-	11:00-14:00		12:00	14:00	7
	Lenguajes y Autómatas	10:00			12:00-14:00	12:00-	2
						13:00-17:00-19:00	
Total horas		3	5	0	4	4	16
2024-3	Administración de BD	9:00-	7:00-10:00	7:00-		11:00-	6
	Base de Datos	11:00	12:00-13:00	8:00	12:00-	13:00	7
	Programación Avanzada	7:00:8:00		8:00-11:00	14:00		2
						17:00-19:00	
Total horas		3	4	1	2	5	15

Fuente: Elaboración propia

Las 6 o 7 horas que se indican en las materias de la tabla 12, reflejan el 15 % y el 17.5 % respectivamente del tiempo de cada grupo por semana. Las 2 horas del posgrado son las horas presenciales ya que solamente asisten jueves y viernes, las otras horas las hacen de manera asíncrona. También por otro lado, es importante determinar con certeza el espacio disponible de al menos de los dos laboratorios de programación, en la tabla 13 se evidencia las horas utilizables por parte de los alumnos.

Tabla 13. Horas disponibles de los laboratorios de programación

Laboratorio	Ciclo	Horas libres por los 2 laboratorios de programación				
		Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
LP 1	2024-3	14:00 – 15:00	13:00-14:00	07:00-08:00	10:00-12:00	12:00-14:00
		20:00 – 21:00	16:00-21:00	13:00-14:00	13:00-14:00	16:00-21:00
			16:00-21:00			
LP 2		16:00-18:00	10:00-14:00	10:00-11:00	7:00-9:00	10:00-12:00
			19:00-21:00	19:00-21:00		16:00-17:00
					20:00-21:00	
Horas Libres		4	11	10	5	11
Total de horas disponibles a la semana por los 2 laboratorios						41
LP 1	2024-2	16:00-21:00	12:00-14:00		10:00-11:00	10:00-14:00
			16:00-18:00		16:00-17:00	
LP 2		10:00-11:00	14:00-17:00	10:00-11:00	10:00-14:00	10:00-14:00
		14:00-15:00		17:00-21:00	16:00-17:00	16:00-17:00
Horas Libres			7	7	3	7
Total de horas disponibles a la semana por los 2 laboratorios						33
LP 1	2024-1	10:00-12:00	09:00-10:00	10:00-11:00	09:00-17:00	10:00-12:00
		17:00-21:00	12:00-14:00			17:00-19:00
		15:00-16:00				
LP 2			18:00-21:00			
		07:00-08:00	10:00-14:00	10:00-11:00	10:00-11:00	10:00-14:00
		18:00-19:00		16:00-21:00	19:00-21:00	15:00-16:00
Horas Libres		6	11	7	11	9

Fuente: Elaboración propia

Las horas disponibles son espacios en donde los alumnos tienen clase pero se podrían usar en esos espacios utilizables en contra turno, es decir, los alumnos de la tarde tendrían que usar los espacios del turno de la mañana y los alumnos del turno de la mañana tendrían que usar los espacios disponibles en la tarde. Es importante recalcar que si las horas de las asignaturas que se dieron en salón de este proyecto se hubieran dado en los laboratorios no hubiera habido horas disponibles para los alumnos por lo menos para el turno de la mañana en las tres ciclos escolares en los que se llevó esta investigación. De igual manera, se podrían usar las computadoras que existen en el centro de información y documentación (biblioteca) de la Universidad, para su posible uso previa autorización. Un elemento adicional es que los alumnos tengan la posibilidad de conectarse a internet en cualquier lugar en el que ellos estén dentro de la Universidad.

Aunado a lo anterior se necesita las horas de asesoría de los docentes tanto de asignatura como de tiempo completo, las tablas 14,15 y 16 contemplan la información, en la tabla 17 se contempla la cantidad de alumnos por cada materia para del proceso de investigación.

Tabla 14. Horas de Asesoría por docente de la academia de programación del ciclo 2024-3

Docente	Horas	Días	Horario	Espacio
Profesor de Tiempo Completo 1	3	Martes	16:00-17:00	Cubículo de cada profesor, edificio A planta baja
		Miércoles	13:00-14:00	
		Viernes	18:00-19:00	
Profesor de Tiempo Completo 2	3	Martes	11:00-12:00	
		Jueves	14:00-15:00	
Profesor de Tiempo Completo 3	3	Lunes	10:00-11:00	
		Miércoles	09:00-10:00	
Profesor de Tiempo Completo 4	3	Lunes	08:00-09:00	
		Miércoles	10:00-11:00	
		Viernes	14:00-15:00	
Profesor de Tiempo Completo 5	3	Martes	11:00-12:00	
		Miércoles	11:00-12:00	
Profesor de Asignatura 1	1	Jueves	12:00-13:00	A106
Profesor de Asignatura 2	1	Viernes	12:00-13:00	A106
Profesor de Asignatura 3	1	Jueves	12:00-13:00	A205
Profesor de Asignatura 4	1	Viernes	18:00-19:00	LT12
Profesor de Asignatura 5	7	Martes	18:00-19:00	LP2
		Viernes	17:00-19:00	A207

Fuente: Elaboración propia

Tabla 15. Horas de Asesoría por docente de la academia de programación del ciclo 2024-2

Docente	Horas	Días	Horario	Espacio
Profesor de Tiempo Completo 1	3	Martes	16:00-17:00	Cubículo de cada profesor, Edificio A planta baja
Profesor de Tiempo Completo 2	3	Martes	11:00-12:00	
Profesor de Tiempo Completo 3	3	Miércoles	12:00-13:00	
Profesor de Tiempo Completo 4	3	Lunes	10:00-11:00	
Profesor de Tiempo Completo 5	3	Lunes	12:00-13:00	
Profesor de Asignatura 1	3	Jueves	09:00-11:00	A203
Profesor de Asignatura 2	5	Lunes	17:00-20:00	A107
Profesor de Asignatura 3	2	Miércoles	11:00-12:00	A203
Profesor de Asignatura 4	1	Viernes	12:00-13:00	A201
Profesor de Asignatura 5	3	Martes	16:00-19:00	A106
Profesor de Asignatura 6	3	Martes	18:00-19:00	A107
Profesor de Asignatura 7	3	Jueves	18:00-19:00	A102
Profesor de Asignatura 8	1	Miércoles	09:00-10:00	A201
Profesor de Asignatura 9	3	Martes	17:00-18:00	LP2

Fuente: Elaboración propia

Tabla 16. Horas de Asesoría por docente de la academia de programación del ciclo 2024-1

Docente	Horas	Días	Horarios	Lugar
Profesor de Tiempo Completo 1	3	Martes	16:00-17:00	Cubículo de cada profesor Edificio A planta baja
Profesor de Tiempo Completo 2	3	Martes	11:00-12:00	
Profesor de Tiempo Completo 3	3	Miércoles	12:00-13:00	
Profesor de Tiempo Completo 4	3	Lunes	10:00-11:00	
Profesor de Tiempo Completo 5	3	Lunes	12:00-13:00	
Profesor de Asignatura 1	3	Jueves	09:00-11:00	A203
Profesor de Asignatura 2	5	Lunes	17:00-20:00	A107
Profesor de Asignatura 3	2	Miércoles	11:00-12:00	A203
Profesor de Asignatura 4	1	Viernes	12:00-13:00	A201
Profesor de Asignatura 5	3	Martes	18:00-19:00	A107
Profesor de Asignatura 6	3	Jueves	18:00-19:00	A102
Profesor de Asignatura 7	1	Miércoles	09:00-10:00	A201
Profesor de Asignatura 8	3	Martes	17:00-18:00	LP2

Fuente: Elaboración propia

Tabla 17. Alumnos por materia de cada periodo escolar

Materias de cada periodo escolar			
Periodo	Materias	Nivel	Número de Alumnos
2024-1	Administración Base de Datos	Licenciatura	23
	Base de Datos		24
	Introducción a la programación		34
	Programación Avanzada	Maestría	9
Total Alumnos x periodo			90
2024-2	Base de Datos	Licenciatura	17
	Estructura de Datos		21
	Lenguajes y Autómatas		7
	Total Alumnos x periodo		
2024-3	Administración Base de Datos	Licenciatura	14
	Base de Datos		19
	Programación Avanzada		6
	Total Alumnos x periodo		
Total Alumnos General			174

Fuente: Elaboración propia

Los alumnos conocen cuales son las horas de asesoría de cada profesor para que se pueda generar un aprendizaje significativo. Por lo tanto, con todos estos elementos cimentados por parte de todos los actores del PEA se puede generar una estrategia alterna para poder llevar este proyecto.

Adicionalmente, es fundamental que se realicen los siguientes pasos para poder llevar a cabo el proceso:

Antes de iniciar la estrategia el docente debe:

Hacer la planeación precisa de cada sesión con su respectivo tema.

Hacer la planeación de la evaluación de cada unidad de aprendizaje

Generar los instrumentos de la evaluación

Al inicio de la primera semana de clases es necesario:

Dar las reglas de la materia.

Tener el contacto del número celular del jefe de grupo a través de Whatsapp para que fluya la comunicación hacia el grupo.

Dar tolerancia mínima a acceso al salón de clases.

Preguntar a los alumnos si hay posibilidad de traer su equipo portátil, en caso de no, juntar a ellos con algún compañero con relación de afinidad.

Revisar las cantidades de conexiones eléctricas disponibles.
 Que carguen su dispositivo en la noche inmediata anterior.
 Hacer un compromiso para traer multi-contactos al menos dos.
 Hacer un compromiso para que se traigan al menos dos extensiones de conexión eléctrica.
 Uso del celular al mínimo o cero uso.
 Repasar los temas en su lugar de estudio de casa
 Indicar las versiones de cada software así como el proceso de descarga.
 Mostrar el manual (temario) de la asignatura.
 Mostrar la planeación de la asignatura.
 Mostrar la planeación de la evaluación.
 Hacer una demostración de la instalación de cada software a ser usado durante el período escolar, esto se debe hacer con el apoyo de un alumno en donde se denote el proceso así como las configuraciones pertinentes para su buen funcionamiento.
 En cada inicio de clase hacer la conexión respectiva del equipo del profesor o del alumno y el cañón
 En cada clase se debe escoger a un alumno diferente para que él sea el que haga los ejercicios los cuales se van a ir proyectando.
 Conforme vayan surgiendo dudas dar solución a ellas y el alumno que vaya finalizando pedirle que auxilie a sus compañeros.
 Cuando el tema sea de suma importancia el docente debe guiar el proceso a través de la demostración de cómo se hace y cómo funciona.
 Es necesario dar retroalimentación a cada ejercicio que se deje para hacer dentro de aula así como alguna actividad para realizar fuera del salón de clases.
 Es necesario dar retroalimentación de manera grupal para cada proceso de evaluación, el docente debe evidenciar el poder hacer la evaluación de manera visual demostrándolo a través de su máquina y el cañón.

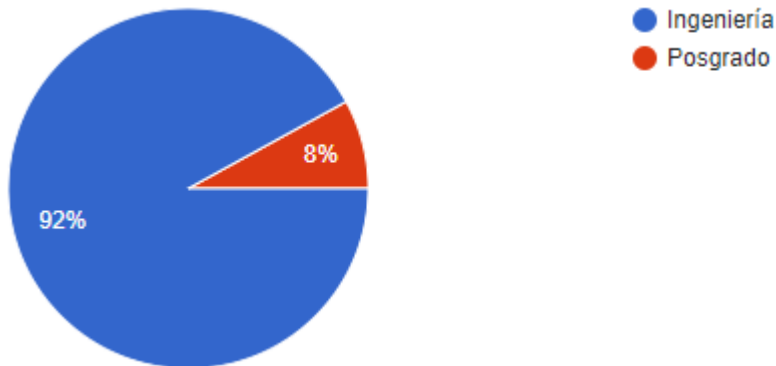
5. RESULTADOS

Uno de los aspectos a resaltar, es que se impulsa la gestión del conocimiento por parte del alumno, de tal suerte que cuando él se interesa por una asignatura se ve reflejado en su capacidad de análisis y participación en la clase, desde lo más simple haciendo los ejercicios hasta pasando por el proceso de evaluación y posteriormente en el auxiliar a sus compañeros. También por otro lado, cuando el alumno conoce cuál es el alcance de la materia y la manera en qué se le va a evaluar se genera un cambio en el binomio del PEA a PAE, debido a que él investiga y trata de entender y aprender para que cuando llegue a la clase se pueda generar un debate en relación al tema en cuestión es muy importante resaltar este aspecto.

Por otro lado, cuando un alumno hace innovación a un tema presentado por parte del profesor y lo hace visible al docente, entonces él tiene un nivel más alto de entendimiento y proyección en relación a la materia, por lo tanto él puede ir más allá, si él puede permear a sus compañeros de esa innovación entonces se está evidenciando de nuevamente el cambio del binomio.

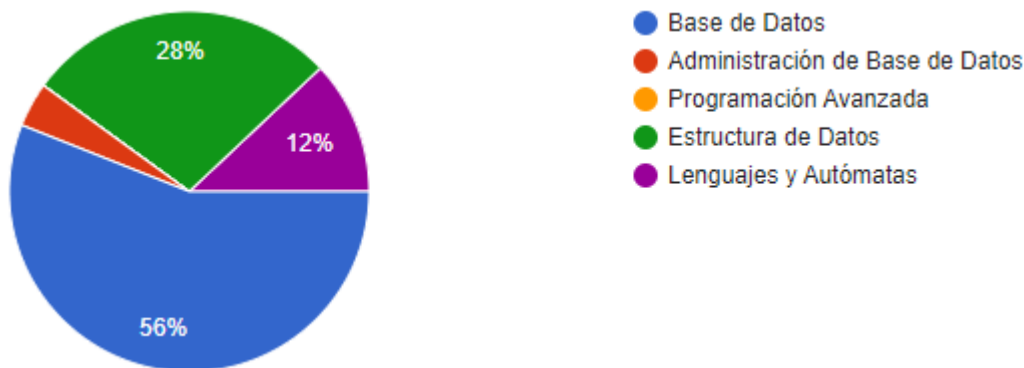
El proceso de la estrategia de impartir clases tecnológicas se ha llevado a cabo en doce meses (tres cuatrimestres) tanto en licenciatura como a nivel de posgrado. Los resultados obtenidos en la impartición de clases en un aula que no es un laboratorio se reflejaron de la siguiente manera:

¿Cuál es el nivel educativo que estudia?



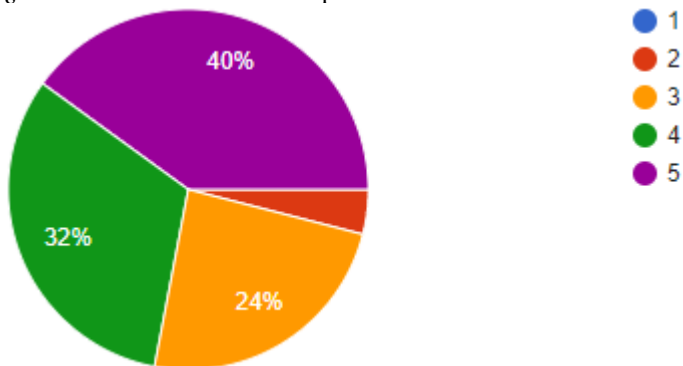
Sin importar el nivel educativo de la IES se puede generar esta estrategia en cualquier nivel que la institucion tenga.

¿Qué materia fue la que tomó en el aula de clases?



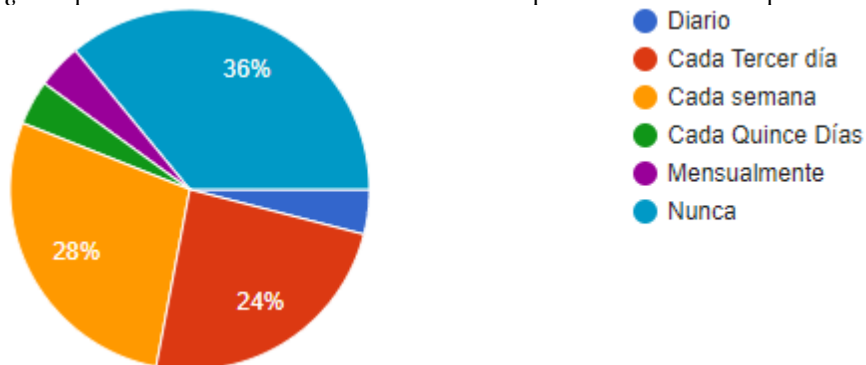
Existe evidencia de la diversidad de temas para generar con esta estrategia.

¿Cuántos laboratorios de cómputo tiene la carrera de ITI?



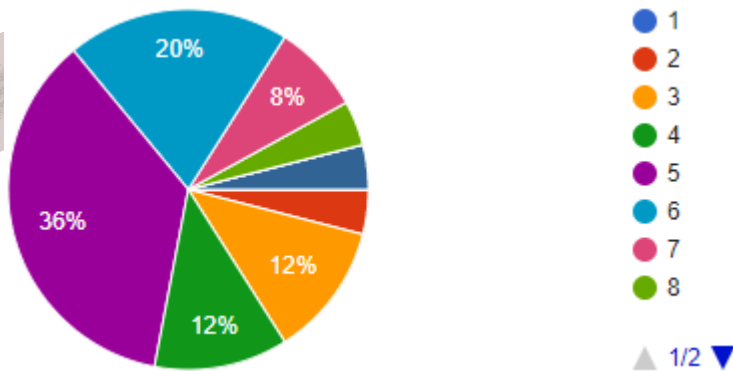
La cantidad de laboratorios resulta insuficiente para la impartición de las materias en relación a la carrera. Según la media nacional del Instituto de Nacional para la Evaluación de la Educación en México (INEE) en el 2008, 2009 y 2010, eran de 9, 9 y 8 computadoras respectivamente por alumno en el nivel de educación media superior (bachillerato general, Bachillerato tecnológico y Profesional Técnico), lo cual resulta también insuficiente y si se comparan con los rangos de computadoras que se describen en la tabla 6 que van desde 13 hasta 20 alumnos en el programa de estudios también resulta complicado, sin embargo de cualquier manera son insuficientes.

¿Con qué frecuencia hace uso de los laboratorios para la realización de prácticas?



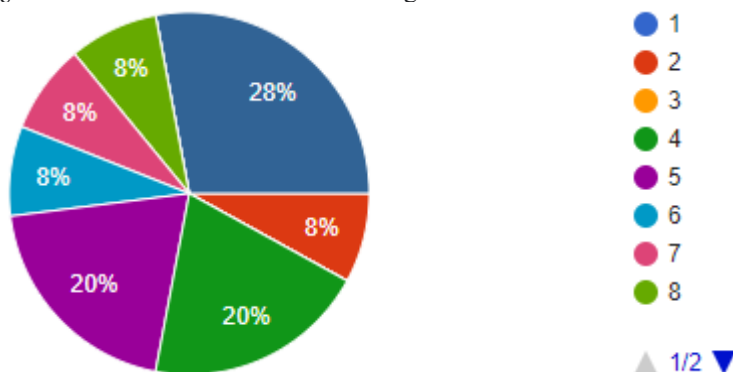
Tampoco los alumnos pueden hacer uso de los laboratorios en su totalidad debido a que siempre están en constante uso por la programación de uso para los grupos (tabla 10).

¿Cuántas materias ha cursado en los laboratorios de la carrera de ITI?



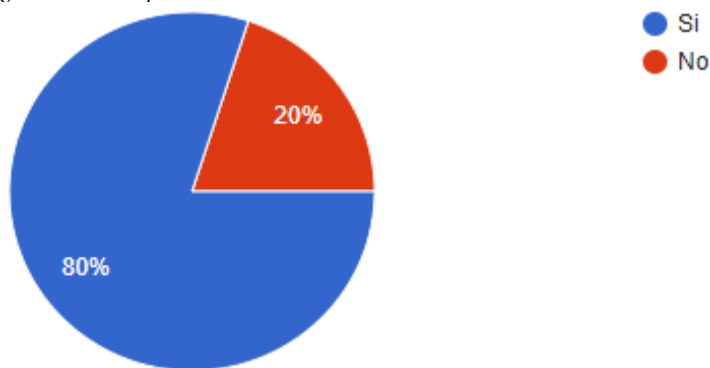
Los laboratorios se usan para la impartición de las 20 materias del área de formación (programación) no para uso de los alumnos.

¿Cuántas materias ha cursado de Programación en un salón de la carrera de ITI?



El modelo educativo de la IES es un modelo en donde se debe impartir teoría y práctica, es por ello la gran cantidad de clases tecnológicas que se imparten en salones de clases.

¿Usted sabe qué el modelo educativo de la Universidad es 50 % práctica y 50 % teoría?



Un 20% de los alumnos no entienden del por qué se debe impartir las asignaturas en un aula de clases, que no es un laboratorio, ya que el modelo de la universidad es basado en competencias e indica que se debía de tener horas de teoría como práctica en un 50 % y 50 % respectivamente, actualmente el modelo ha cambiado algunas de sus características, entre ellas cambio a 40 % teoría y 60 % práctica.

¿Cuenta con equipo portátil de cómputo?

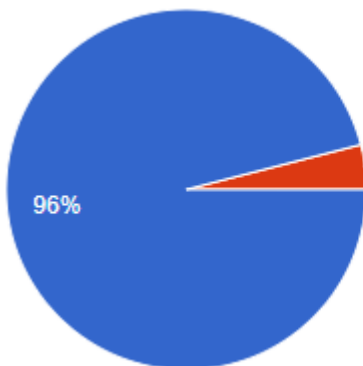
● Si
● No



El 100% de los alumnos cuenta con un equipo portatil lo cual es un elemento trascendental en esta estrategia para la impárticion de las clases.

¿Está dispuesto a traer su equipo móvil de cómputo a la Universidad?

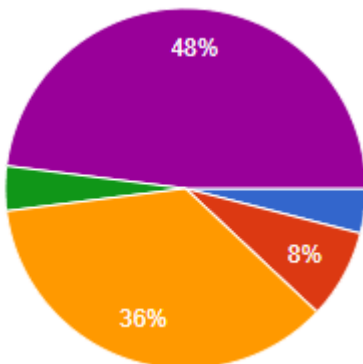
● Sí
● No



Solamente el 4 % de los alumnos no esta dispuesto a traer su equipo portatil de computo, por lo tanto, a ellos se les debe apoyar en reunirlos con algun compañero con afinidad (buena relacion). El porcentaje es un dato que no afecta la realización del presente proyecto.

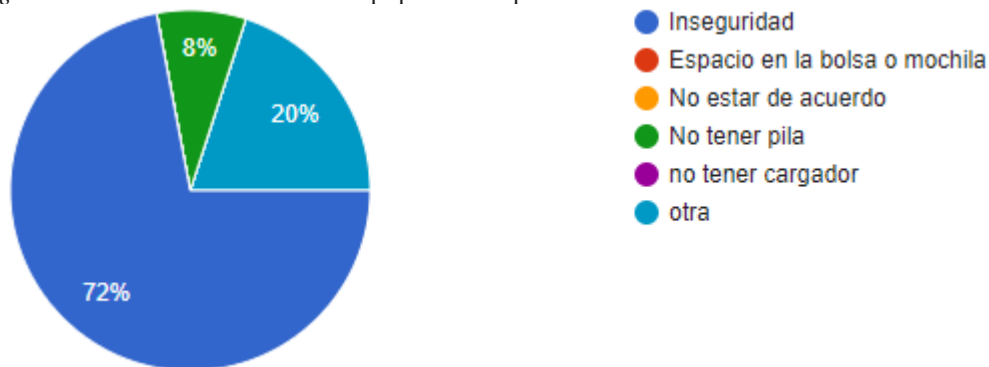
¿Qué tanto se le complica traer su equipo de cómputo a la Universidad?

● Se complica siempre
● Se complica casi siempre
● Ni se complica y ni se dificulta
● Se dificulta siempre poco
● Se dificulta poco



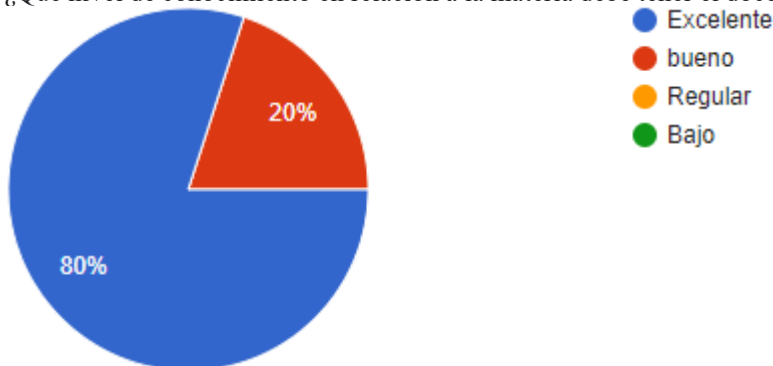
El 48 % de los alumnos se les complica el traer su equipo de computo. Más sin embargo, despues de ver la estrategia y de la importancia de traerlo y del hacer las actividades en tiempo y forma, los alumnos sin presion alguna y de manera voluntaria se compometen a traerla.

¿Cuál es la causa de no traer su equipo de cómputo a la Universidad?



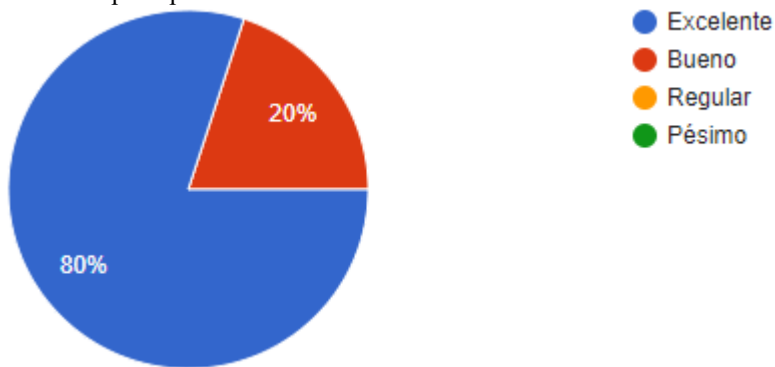
A pesar de tener una computadora, el 72 % de los alumnos desearía no traerla por la inseguridad. Se les informa que si es por esa causa que no se puede traer, entonces se les pondría con un alumno con afinidad a ellos para revisar los ejercicios. Sin embargo, un alto porcentaje sí trae su equipo de cómputo. Es claro denotar, que cuando el alumno hace el ejercicio en ocasiones le es difícil entenderlo y mucho más cuando él no trae su equipo portátil y solamente se dedica a visualizar el cómo se hace.

¿Qué nivel de conocimiento en relación a la materia debe tener el docente para impartirla en un salón que no es laboratorio de cómputo?



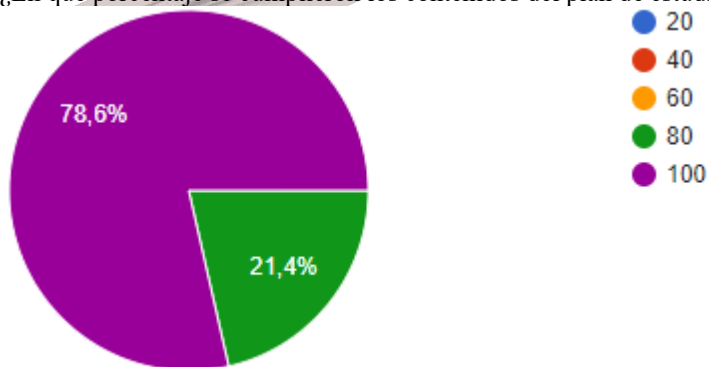
El 80% de los alumnos considera que el docente debe tener un nivel de conocimiento bueno para poder generar esta estrategia educativa, de lo contrario sería difícil llevarla a cabo. Esta característica de los docentes se debe atacar con planeación de cursos intercuatrimestrales (impartidos por el presidente del área) o cursos en línea de temas tecnológicos de cada materia)

¿Cuál es la percepción de usted del nivel del docente?



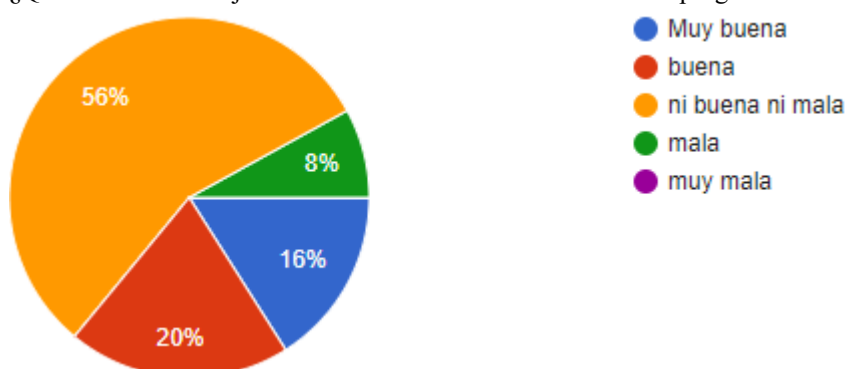
Una vez que ya se ha impartido las clases, el 80% de los alumnos perciben al docente con un buen nivel para la implementación de esta estrategia. Por lo tanto, si el docente no planea su curso con anticipación y si no practica los ejercicios antes de enseñarlos no se tendrá éxito en esta estrategia.

¿En qué porcentaje se cumplieron los contenidos del plan de estudios de su materia?



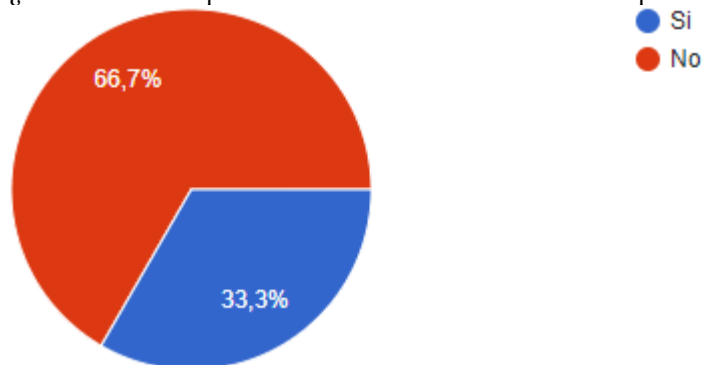
Un alto porcentaje del 78.6% de los alumnos afirman que el contenido de la asignatura se cumplió en su totalidad, el 21.4 comentan que fue en un 80 %. Los temas (Manual de la asignatura) se les presentan en las primeras sesiones (semana inicial) de clases. Los alumnos garantizan que no existió algún inconveniente para el proceso de enseñanza aprendizaje dentro de un aula académica(salon).

¿Qué sensación le dejó el no tomar clases en un laboratorio de programación?



La sensación de tomar una clase tecnologica en un salon de clase fue muy diversa y eso es entendible debido a que muchos alumnos el area de formación (Programación) de las materias que se impartieron no son de su agrado. Como ya se habia dicho existen 5 academias en la carrera y las cuales se encuentra la academia de redes que hace que muchos alumnos tiendan hacia ella.

¿Usted considera qué es necesario el uso de un laboratorio para la materia?



Estas respuestas son consecuencia a la pregunta anterior, ya que el 66.7 de los alumnos indica que sí es importante un laboratorio, sin embargo el 33.3 % de ellos indica que no es necesario el uso de un laboratorio de la institucion de educación superior.

¿Cómo subsanaría la impartición de la materia en un aula de clases?

Motivar a los alumnos Agregar más contactos de luz eléctrica La clase se puede impartir siempre y cuando los alumnos cumplan y pongan atención en lo que se les pide Regular La participación de los alumnos es más buena y deben de estar más concentrados. Muy buena Me parece adecuado Dejando tareas para casa Que sea más dinámica la clase Debido al límite de usuarios que usen corriente eléctrica, se podría impartir 1 hora de teoría y otra de práctica. Aplicando teoría y práctica a vez Más participación del estudiante Con uso de material externo	Me parece bien no agregaría nada No tengo inconformidades con las clases, por tanto no tengo una idea, tal vez que sea más interactivo Conectando un proyector y exponiendo los temas Con ejercicios en casa Haciéndolo mediante los medios posibles para los alumnos Buena Con una buena atención del profesor y la aplicación de los conocimientos correctamente Prácticas de casos reales Teniendo equipo de cómputo se puede realizar en un laboratorio y en un salón de clases Por el momento no tengo problemas con la manera de impartición de la materia
---	--

¿Qué estrategias indicaría para impartir una materia tecnológica en un aula de clases?

Más conectores de alimentación y participación de los alumnos.

Ninguna

Adecuando el espacio con toma eléctrica y estableciendo reglas de uso

Utilizar el proyector acompañado de una buena explicación, para entender más a fondo el tema

Más práctica y más participación de los alumnos para que se graben los conocimientos

Las exposiciones serían muy buena opción de aprendizaje

Mediante prácticas continuas

Practica desde un proyector

Poder hacer más intuitivo todo

6. CONCLUSIONES

El uso de un laboratorio de cómputo debería ser un elemento indispensable en la impartición de materias tecnológicas, sin embargo, si se cumplen con todos los elementos indicados en la metodología indicada y se lleva el desarrollo tal como se planteó para gestionar el proceso de enseñanza y aprendizaje, no es tan *trascendental*, si es importante denotar que el docente juega un papel fundamental en el desarrollo. Al paralelo será necesario que se le vaya guiando al alumno en el transcurso del periodo escolar en los contenidos, de lo contrario sería ineficaz cualquier estrategia para lograr un aprendizaje significativo. Así mismo, el alumno es el impulsor de su propio conocimiento de tal manera que si él no ve una motivación en los contenidos por más que él tenga un dispositivo portátil (laptop) o existan computadoras disponibles en los laboratorios, de nada servirá cualquier esfuerzo en favor de él y en pro del proceso de enseñanza y aprendizaje (PEA) o del proceso de aprendizaje y enseñanza (PAE), el cambio en el binomio es de gran impacto en la materia, se aligera la enseñanza en el docente y desde luego se enriquece al aprendizaje del alumno, este último elemento no es que se dictamine como tal ese aprendizaje en algún tiempo o instancia, si no, es porque el alumno lo gestiona de esa manera y él lo desea.

Por otro lado, no quiere decir que la IES haya dejado de hacer esfuerzos para equipar a sus laboratorios y que sea ineficiente, al contrario siempre anda buscando contar con presupuesto para dotarlos con infraestructura necesaria. Es un proyecto en donde observó que a veces no alcanzan los recursos como en cualquier otra institución.

Es claro que este proyecto se hizo en una IES que se encuentra en una zona geográfica en donde la mayoría de los alumnos sí pueden tener un dispositivo portátil (Laptop). Sería interesante hacerlo en una zona geográfica donde no se cuente en su totalidad con dispositivos portátiles propios por parte de los alumnos.

Como conclusión final, la idea de que los alumnos se sientan consternados por no hacer uso de los laboratorios parecería que sería en su totalidad y de disgusto, mas sin embargo, no lo fue, debido a la capacidad del docente y de las estrategias en pro del proceso de enseñanza, la cual fue de manera satisfactoria y como resultado se obtuvo un aprendizaje significativo.

7. RECOMENDACIONES

Es importante replicar este estudio en la misma academia pero con otros ciclos de formación ya sea en el primer ciclo (primero, segundo o tercer cuatrimestre) o en el tercer ciclo de formación (séptimo, octavo o noveno cuatrimestre) y así poder obtener los resultados con mayor pertinencia y una vez consolidado este proceso poderlo replicar en la otra academia tecnológica (hardware y redes) y así observar el impacto en la estrategia del proceso de enseñanza aprendizaje, replicando la misma metodología, por otro lado, es de trascendencia mencionar que las características del modelo educativo de la institución ha cambiado debido a la actualización a nuevo enfoque pedagógico, es por ello generar estrategias alternas al uso de la tecnología.

8. REFERENCIAS

- Alumnos por computadora para uso educativo en educación media superior (2009/2010), recuperado de <https://www.inee.edu.mx/wp-content/uploads/2019/04/AR02c-2010.pdf>, para su consulta el día 10 de enero del 2025.
- Castillo Claure, Víctor, Yahuita Quisbert, Juan, & Garabito Lizeca, Rosario. (2006). Estrategias docentes para un aprendizaje significativo. Cuadernos Hospital de Clínicas, 51(1), 96-101. Recuperado en 15 de octubre de 2024, de http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1652-67762006000100015&lng=es&tlng=es, Recuperado de c, para su consulta el día 05 de enero del 2025.
- Competencias por ciclo de formación, <https://upvm.edomex.gob.mx/apirantes/porque-la-upvm#:~:text=La%20UPVM%2C%20cuenta%20con%20un,competencias%20profesionales%20gen%C3%A9ricas%20y%20espec%C3%ADficas>, para su consulta el día 05 de enero del 2025.
- Evaluación institucional 2020-2021, Recuperado de https://upvm.edomex.gob.mx/sites/upvm.edomex.gob.mx/files/files/PDF/UPVM_PDF_EVIN-2021.pdf
- Ingeniería en Tecnologías de la Información e Innovación Digital, Recuperado de https://upvm.edomex.gob.mx/ing_tecnologias_informacion, para su consulta el día 05 de enero del 2025.
- Marqués, P.R. (2012). Modelos didácticos de aprendizaje en grupo y aprendizaje colaborativo con TIC. Comunicación y pedagogía. Nuevas tecnologías y recursos didácticos, 261-262, 26-29.
- Mesa Jiménez, Fredy Yesid, & Forero Romero, Aracely. (2016). Las Tic en la normativa para los programas de Educación Superior en Colombia. Praxis & Saber, 7(14), 91-113. <https://doi.org/10.19053/22160159.5219>
- Modelo Educativo del Universidad Politécnica del Valle de México, Recuperado de, https://upvm.edomex.gob.mx/sites/upvm.edomex.gob.mx/files/files/PDF/UPVM_PDF_MODELOAC.pdf Para consulta el día 10 de enero del 2025.
- Moyano, G. C. M., & Spinelli, M. D. R. M. (2020). El uso de dispositivos móviles como estrategia educativa en la universidad. RIED-Revista Iberoamericana De Educación a Distancia, 23(1), 201-222.
- Tapia Cortes, C. (2020). Tipologías de uso educativo de las Tecnologías de la Información y Comunicación: una revisión sistemática de la literatura. Edutec, Revista Electrónica De Tecnología Educativa, (71), 16–34. <https://doi.org/10.21556/edutec.2020.71.1489>
- Sunkel, G. (2009). Las TIC en la educación en América Latina: visión panorámica. Los desafíos de las TIC para el cambio educativo, 29, 43. Uso de tic en Educación en América Latina y el Caribe, Recuperado de <https://uis.unesco.org/sites/default/files/documents/ict-in-education-in-latin-america-and-the-caribbean-a-regional-analysis-of-ict-integration-and-e-readiness-2012-sp.pdf>, recuperado para consulta: 12 de diciembre de 2025.
- Zeledón Hernández, H. R., & Ayala Zepeda, W. E. (2013). Tenencia y utilización de equipo de cómputo de los estudiantes de licenciaturas e ingeniería de la Universidad Católica de El Salvador, Centro Regional de Ilobasco.

Caracterización física y mecánica de bloques de concreto con fragmentos de piedra pómez como agregado

José Antonio Cortés Benítez¹, Arturo Arellano Hernández², Armando Gómez Trinidad³, Héctor Iván Montoya Martínez⁴

¹Universidad Politécnica de Francisco I. Madero, e-mail: jacortes@upfim.edu.mx

²Universidad Politécnica de Francisco I. Madero, e-mail: aarellano@upfim.edu.mx

³Universidad Politécnica de Francisco I. Madero, e-mail: argomez@upfim.edu.mx

⁴Universidad Politécnica de Francisco I. Madero, e-mail: hmontoya@upfim.edu.mx

Línea de investigación: caracterización física y mecánica de materiales utilizados en la construcción

Resumen

Esta investigación evaluó el efecto del incremento en el contenido de cemento, en las mezclas utilizadas para la fabricación de bloques macizos de concreto, analizando su influencia en las propiedades físicas y mecánicas de las piezas. Asimismo, se examinó la viabilidad técnica de emplear exclusivamente fragmentos de piedra pómez como agregado, en la producción de bloques destinados a aplicaciones estructurales. Para este propósito, se fabricaron bloques utilizando fragmentos de piedra pómez como agregado y variando únicamente el contenido de cemento, a partir de lo anterior, se llevó a cabo una comparación de los parámetros obtenidos entre las piezas fabricadas con las diferentes mezclas, evaluando aspectos como: peso volumétrico seco, absorción inicial, absorción total en 24 horas, resistencia a la compresión y módulo de rotura. Los resultados fueron contrastados con lo establecido en las normas NMX-C-404-ONNCCE-2012, NMX-C-441-ONNCCE-2013 y las Normas Técnicas Complementarias de la Ciudad de México 2023. Los resultados indican que, el incremento de cemento en las mezclas, mejora las propiedades físicas y mecánicas de los bloques. En los resultados se observó, una relación entre la resistencia de diseño a compresión, con el peso volumétrico seco y el módulo de rotura. También se concluye que fabricar los bloques únicamente con la piedra pómez como agregado, elevaría los costos de fabricación, debido a los altos contenidos de cemento que se necesitan para alcanzar las características necesarias para ser utilizados estructuralmente.

Palabras clave: bloques, caracterización, concreto, construcción, mampostería, pómez.

Abstract

This research evaluated the effect of increasing the cement content of the mixtures used for the production of solid concrete blocks, analyzing its influence on the physical and mechanical properties of the pieces. It also examined the technical feasibility of using only pumice fragments as aggregates in the production of blocks for structural applications. For this purpose, blocks were manufactured using pumice fragments as aggregates, varying only the cement content. Based on this, a comparison was made of the parameters obtained between pieces manufactured with the different mixtures, evaluating aspects such as dry volumetric weight, initial absorption, total absorption in 24 hours, compressive strength, and modulus of rupture. The results were compared with those established in standards NMX-C-404-ONNCCE-2012, NMX-C-441-ONNCCE-2013 and the Normas Técnicas Complementarias de la Ciudad de México 2023. The results indicate that the increase in cement in the mixtures improves the physical and mechanical properties of the blocks. The results will observe a relationship between the design compressive strength, with the dry volumetric weight and the modulus of rupture. It is also concluded that manufacturing the blocks only with pumice as an aggregate would increase manufacturing costs due to the high cement contents required to achieve the necessary characteristics for their structural use.

Keywords: blocks, characterization, concrete, construction, masonry, pumice.

INTRODUCCIÓN

En el estado de Hidalgo, el sistema constructivo más utilizado es la mampostería, tanto de tabique de arcilla artesanal como de bloques macizos de concreto, sin embargo, en tiempos recientes, ha predominado la construcción con bloques macizos de concreto, esto debido a su relativo bajo costo y lo sencillo de su adquisición, ya que regularmente, existen al menos dos talleres que se dedican a fabricar este material por cada municipio del estado.

En la zona de estudio, la mayoría de los fabricantes de los bloques de concreto, consideran que estas piezas deben de ser ligeras, por lo que optan por la piedra pómez o también llamada tepojal para ser utilizado como agregado, el cual es empleado por su baja densidad y relativo bajo costo, sin embargo, debido a los bajos contenidos de cemento incluidos en las mezclas utilizadas para fabricar los bloques, se obtienen piezas muy ligeras, con altas tasas de absorción y bajas resistencias a compresión, características que no son deseables en las piezas de mampostería, esto según la norma NMX-C-404-ONNCCE-2012 y las Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Mampostería, NTCEM-2023.

Según Wicander (2000) “La piedra pómez es una variedad de vidrio volcánico que contiene numerosas vesículas en forma de burbuja, que se crean cuando el gas escapa a través de la lava y forma una espuma” (p. 80). Este agregado tiene una densidad tan baja que puede flotar sobre el agua, ya que se forma a partir de lavas espumosas generadas en erupciones ríolíticas (Pellant, 1993).

Aunque las piezas no cumplan con lo definido en la norma NMX-C-404-ONNCCE-2012, que define las características mínimas de bloques, tabiques o ladrillos y tabicones para uso estructural, se podrían utilizar en elementos no estructurales, aun así, esas piezas deben de cumplir con lo definido en la norma NMX-C-441-ONNCCE-2013, la cual indica las características que deben de tener los bloques, tabiques o ladrillos y tabicones para uso no estructural. Es importante mencionar que, en la Ciudad de México, las NTCEM-2023, también definen las características mínimas de piezas para uso estructural.

DESARROLLO

OBJETIVO GENERAL

El objetivo de esta investigación, es analizar cómo se ven afectadas las propiedades físicas y mecánicas de los bloques de concreto, con el aumento del contenido de cemento en las mezclas utilizadas en su fabricación. Además, se evaluará si, empleando únicamente fragmentos de piedra pómez como agregado, es posible obtener las características necesarias para que estos bloques sean aptos para aplicaciones estructurales.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Los objetivos específicos que se plantearon en el desarrollo de esta investigación fueron los siguientes:

- Fabricar bloques macizos de concreto con 5 diferentes mezclas.
- Obtener las características físicas y mecánica de los bloques de concreto.
- Encontrar una relación entre la resistencia de diseño a compresión de la pieza, módulo de rotura y el peso volumétrico seco.
- Establecer el contenido de cemento mínimo necesario para evitar la disgregación de los bloques durante su manipulación.
- Definir si con el agregado actualmente utilizado, se pueden fabricar bloques con las características para ser utilizados estructuralmente.

OBJETO DE ESTUDIO

En el estado de Hidalgo, es muy frecuente el uso de bloques de concreto fabricados con fragmentos de piedra pómez como agregado, que es un material muy liviano, además, estas piezas tienen el cemento mínimo necesario para que no se desintegren por su manipulación y carecen de un proceso de curado, a esto se suma que los fabricantes desconocen que sus bloques deben de cumplir con normativas, que, aunque no son de carácter obligatorio, se sabe que si se cumplen, los resultados son bloques que se pueden utilizar estructuralmente. Los especímenes fabricados bajo estas condiciones, dan como resultado bloques que no cumplen con lo definido en la norma NMX-C-404-ONNCCE-2012, la cual define las propiedades que debe de tener una pieza que se utilizará estructuralmente. Debido a lo anterior, la mayoría de los bloques fabricados en el estado, no son aptos para formar parte de viviendas, comercios, hoteles, oficinas, etc.

El objeto de estudio de este artículo, es la caracterización física y mecánica de bloques de concreto elaborados con fragmentos de piedra pómez como agregado, evaluando cómo este material influye en las propiedades del producto final. Se analizan aspectos como el peso volumétrico, la absorción inicial, absorción total en 24 horas, la resistencia a la compresión y el módulo de rotura, comparando los resultados obtenidos con las normas de referencia, para determinar su viabilidad en aplicaciones estructurales. Además, la investigación busca comprender el impacto del contenido de cemento en las mezclas, con el fin de establecer si, el uso exclusivo de piedra pómez como agregado, representa una alternativa funcional y económicamente viable.

METODOLOGÍA

Los bloques de concreto analizados en esta investigación fueron de 12 cm x 20 cm x 40 cm, fabricados con 5 diferentes mezclas, en las cuales se utilizó el mismo agregado, pero se varió el contenido de cemento, utilizando 3, 4, 6, 8 y 10 litros de cemento por carretillada de agregado, que corresponde a 4.5 botes de 20 litros. El agregado utilizado fue la piedra pómez o tepojal, que es el agregado que se utiliza en el estado de Hidalgo, este material se homogenizó mediante el traspaleo antes de iniciar la fabricación. El agua que se agregó fue la mínima para que la pieza se formará adecuadamente, esto fue definido por el operario de la maquina y propietario del taller, quien se basó en su experiencia para definir la cantidad. En la figura 1 se presenta parte del procedimiento de fabricación de los bloques.

Figura 1

Fabricación de bloques de concreto.



Del agregado utilizado para la fabricación de los bloques, se obtuvieron dos muestras (Muestra 1 y Muestra 2) para realizar un análisis granulométrico, además, para realizar una comparación con los agregados utilizados en la zona de estudio, se obtuvieron dos muestras de talleres cercanos ubicados en Santa María Amajac y el Boxtha, poblados de los municipios de San Salvador y Actopan respectivamente.

Tras la elaboración de los bloques, se almacenaron tres días en el patio de secado del taller donde se fabricaron, durante este tiempo, las piezas se cubrieron con plásticos. Posteriormente, los bloques fueron trasladados al Laboratorio Pesado de la Universidad Politécnica de Francisco I. Madero, donde se almacenaron a la sombra y sin aplicar ningún tipo de curado, replicando las prácticas comúnmente empleas en la zona de estudio. Para realizar las pruebas, se decidió esperar 28 días posterior a la fabricación de los bloques, debido a que, a esta edad, los especímenes de concreto, ya casi debieron alcanzar su resistencia final.

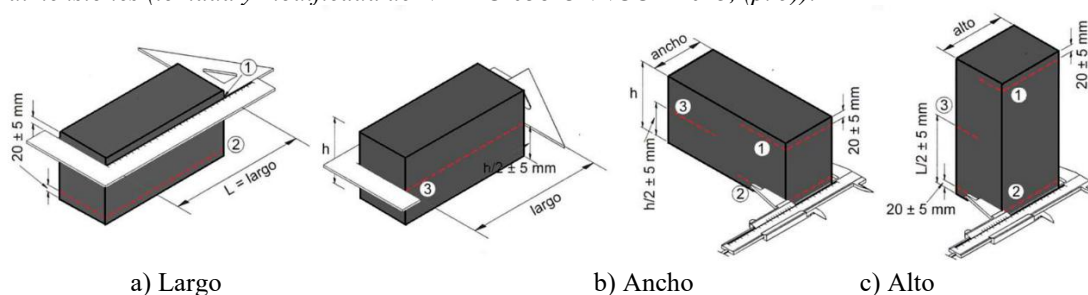
Antes de iniciar las pruebas, los especímenes se sometieron a un proceso de secado en un horno de temperatura constante, a una temperatura de 105 °C durante 24 horas. Pasado el periodo mencionado, los bloques se sacaron del horno y se almacenaron durante unas horas para que alcanzaran la temperatura ambiente. A continuación, se realizó una limpieza con brochas, con el objetivo de separar fragmentos que no están firmemente adheridos al bloque.

Para obtener las masas de los bloques en las diferentes pruebas, se empleó una báscula con una capacidad de 50 kg y una precisión de 1 g, con este equipo, se cumple lo solicitado por la norma NMX-C-037-ONNCCE, que indica que se debe de tener una báscula o balanza con una precisión no menor del 0.1% de la masa de la pieza que se ensayará.

Para las pruebas en las que se requieren determinar áreas o volúmenes, las dimensiones promedio de los especímenes se obtuvieron conforme a lo establecido en la norma NMX-C-038-ONNCCE-2013, esta norma indica que para cada dimensión que se desee determinar, se deben de tomar tres mediciones, dos en una cara del bloque y otra en la cara contraria, lo anterior como se ilustra en la figura 2. Con base en estas dimensiones, se obtuvo el promedio del largo, ancho, alto y con estos se calculó el promedio del área y volumen del espécimen.

Figura 2

Determinación de dimensiones (tomada y modificada de NMX-C-038-ONNCCE-2013, (p. 5)).



Las pruebas no destructivas, donde se obtuvieron propiedades físicas como: peso volumétrico seco, absorción inicial y absorción total en 24 horas, se realizaron sobre 5 especímenes; en tanto que las pruebas destinadas a determinar propiedades mecánicas, como la resistencia a compresión y el módulo de rotura, se efectuaron sobre 3 bloques.

Para obtener el peso volumétrico seco, se utilizó la ecuación 1, que es la razón entre la masa seca del bloque, W_s , y el volumen del espécimen, V_{bloque} , obtenido conforme a la norma NMX-C-038-ONNCCE-2013.

$$\gamma_s = \frac{W_s}{V_{bloque}} \quad \text{Ecuación 1}$$

Las pruebas de absorción inicial y total en 24 horas, se desarrollaron conforme a lo definido en la norma NMX-C-037-ONNCCE-2013. Para determinar la absorción total en 24 horas, A , primero se registraron las masas de los especímenes previamente secados, definida como M_s . Luego, los bloques se sumergieron en una pileta de curado durante 24 horas. Transcurrido este tiempo, los bloques se sacaron de la pileta y se eliminó con un paño húmedo, la capa de agua superficial que generaba brillo en la pieza. Inmediatamente después, se obtuvo la masa saturada y superficialmente seca, M_{sss} . La absorción total se calculó con la ecuación 2.

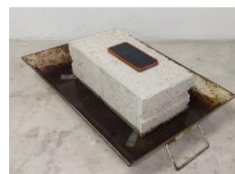
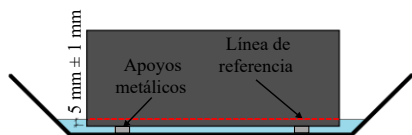
$$A = \frac{M_{sss} - M_s}{M_s} \times 100 \quad \text{Ecuación 2}$$

Para calcular la absorción inicial, C_b , se obtuvo la masa seca del bloque, definida como M_s , para posteriormente sumergir en agua una de sus caras durante 10 minutos, durante este lapso de tiempo, se verificó que el bloque estuviera sumergido 5 mm, utilizando líneas auxiliares previamente marcadas como las mostradas en la figura 3; cuando el nivel del agua disminuía debido a la absorción de la pieza, se agregaba agua con una probeta. Pasados los 10 minutos, el bloque se retiró de la charola, se limpió la cara sumergida con un paño húmedo, eliminando únicamente el exceso de agua superficial y se registró la nueva masa el bloque, M_1 . Finalmente, se determinó el área promedio de la cara sumergida, S , tomando tres mediciones en el largo y en el alto. Para calcular la absorción inicial se utilizó la ecuación 3.

$$C_b = \frac{100(M_1 - M_s)}{S\sqrt{10}} \quad \text{Ecuación 3}$$

Figura 3

Prueba de absorción inicial.



En las pruebas de resistencia a compresión y módulo de rotura, se utilizó una maquina universal marca MATEST como la mostrada en la figura 4, con una capacidad de 1500 KN en compresión, 500 KN en tensión y posibilidad de cambiar la velocidad de aplicación de carga. Así mismo, se utilizaron placas de distribución de carga y platinas como las mostradas en la figura 4.

Figura 4

Maquina universal y accesorios.



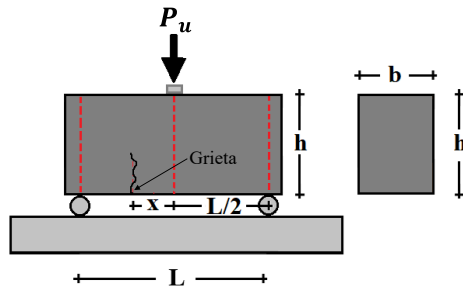
Las pruebas para determinar el módulo de rotura, se realizaron conforme a los lineamientos establecidos en la norma ASTM-C-067. Las piezas se marcaron con dos líneas auxiliares alrededor del bloque para la colocación de apoyos y una central para aplicar la carga y medir la distancia hasta la ubicación de la falla, lo anterior como se muestra en la figura 5. Se utilizaron barras redondas como apoyos y una barra con sección transversal rectangular para transferir la carga. La carga se aplicó con una velocidad de 0.1 KN/seg, esta no excede la velocidad máxima definida por la norma, que es de 8896 N/min. Para obtener el módulo de rotura se empleó la ecuación 4, la cual está en función de la carga que generó la falla, P_u , de la longitud del claro, L , del ancho y alto del bloque, además, de la distancia medida desde el centro del claro a donde apareció la grieta por tensión, x .

$$f_t = \frac{3P_u}{bh^2} \left[\frac{L}{2} - x \right]$$

Ecuación 4

Figura 5

Prueba de módulo de rotura.



Las pruebas de resistencia a compresión, se efectuaron siguiendo las disposiciones de la norma NMX-C-036-ONNCCE-2013. Para propiciar que las superficies donde se aplicó la carga fueran paralelas, cada espécimen utilizado en esta prueba se cabeceó con azufre. Después de realizar el cabeceo, se esperaron 24 horas para que el azufre alcanzará su resistencia. La velocidad de aplicación de carga fue de 0.24 Mpa/s (147 kg/cm²/min), esta se aplicó de forma constante y sin pérdida de carga, como lo indica la norma. Para obtener la resistencia a compresión del bloque, se divide la carga que generó la falla, P_u , entre el área sobre la cual se aplicó la carga, A_{bloque} , lo anterior como lo define la ecuación 5. En la figura 6 se muestra la configuración de la maquina universal y las placas de distribución de carga para realizar las pruebas de resistencia a compresión.

$$f_p = \frac{P_u}{A_{bloque}}$$

Ecuación 5

Figura 6
Prueba de resistencia a compresión.



Para calcular las resistencias de diseño, se utilizó la ecuación 6, con la cual se tiene una probabilidad del 98% de que se alcancen los valores de diseño (SMIE, 2021). Esta ecuación depende del promedio de los resultados, $\bar{f}$ y del coeficiente de variación, c , que es de 0.3 para piezas fabricadas en plantas mecanizadas, pero sin control de calidad.

$$f' = \frac{\bar{f}}{1+2.5c} \quad \text{Ecuación 6}$$

RESULTADOS

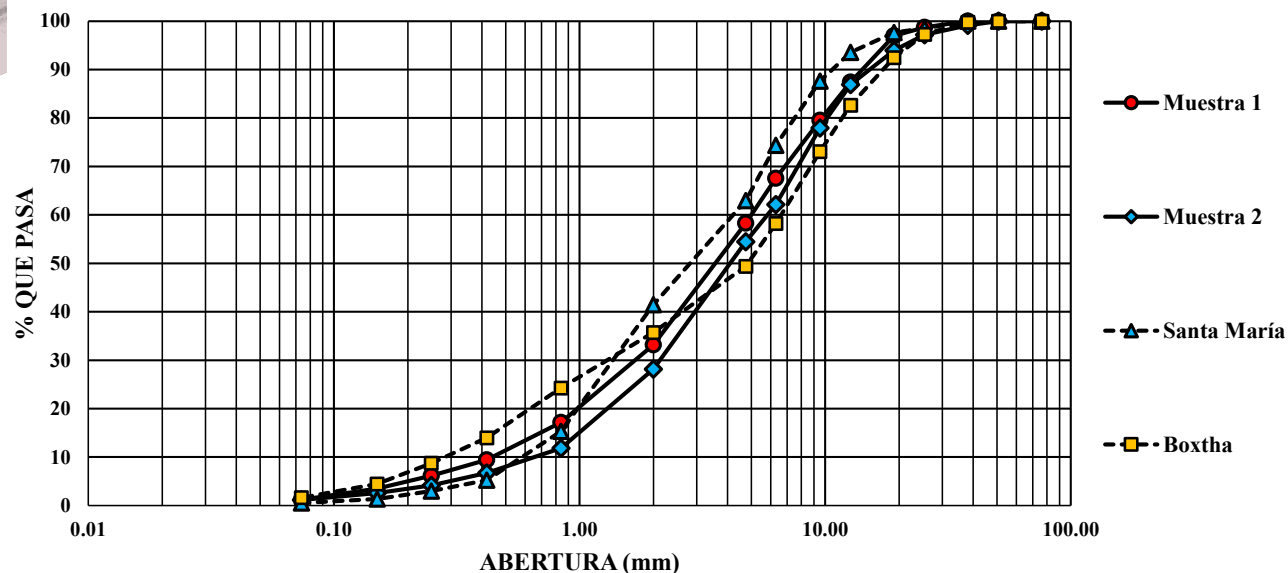
Los resultados del análisis granulométrico realizado al agregado empleado para fabricar los bloques (muestra 1 y 2), se presentan en la tabla 1 y en la figura 7, con base en estos, se puede concluir que, el agregado utilizado en la fabricación de los especímenes, fue una arena bien graduada con grava, con símbolo “SW”. Al comparar el agregado con el utilizado en otros talleres cercanos, se observa que, en el taller ubicado en el Boxtha, el agregado empleado es una grava mal graduada, mientras que el agregado obtenido de Santa María Amajac fue una arena mal graduada.

Tabla 1
Clasificación de suelo conforme al SUCS.

Muestra	%G	%S	%F	Cu	Cc	Símbolo	Comentarios
1	41.69	57.17	1.14	13.16	1.54	SW	Agregado utilizado en fabricación de bloques
2	45.56	53.31	1.13	8.52	1.19	SW	
3	37.02	62.45	0.53	7.06	0.82	SP	Santa María Amajac
4	50.61	47.78	1.61	22.58	0.92	GP	Boxtha

Figura 7

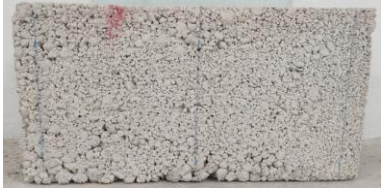
Granulometría del agregado utilizado para fabricar bloques de concreto.



Como se muestra en la tabla 2, en las piezas con alto contenido de cemento, la mezcla formada por el cemento y el agua, llena los espacios vacíos que quedan entre los agregados y genera bloques más uniformes, con menos porosidades y no se observa el agregado, ya que está cubierto por la pasta de cemento. Por otro lado, si se comienza a disminuir el contenido de cemento, la pasta de cemento no llena completamente los espacios vacíos entre los agregados y estos no quedan firmemente adheridos entre sí, sino que están unidos únicamente en una parte de su superficie, además, genera un bloque más poroso y se observa el agregado grueso.

Es importante mencionar, que las piezas fabricadas con la mezcla 1, se desintegraban fácilmente durante su manipulación, por ello, en la tabla 2 se observa que el bloque carece de esquinas. En cambio, los bloques elaborados con las otras mezclas, mantuvieron sus esquinas intactas y no se desintegraron durante su manipulación. Esto indica que, el contenido de cemento en la mezcla 2, es el mínimo necesario para que el bloque conserve su forma sin desmoronarse. Cabe destacar, que esta es la mezcla que la mayoría de los fabricantes de la región utiliza.

Tabla 2
Forma y textura de bloques analizados.

Mezcla	Exterior		Interior
1			
2			
3			
4			
5			

En la tabla 3 se presentan los promedios de las propiedades físicas obtenidas en los bloques fabricados con las diferentes mezclas y en las figuras 8, 9 y 10 se presentan los resultados gráficamente.

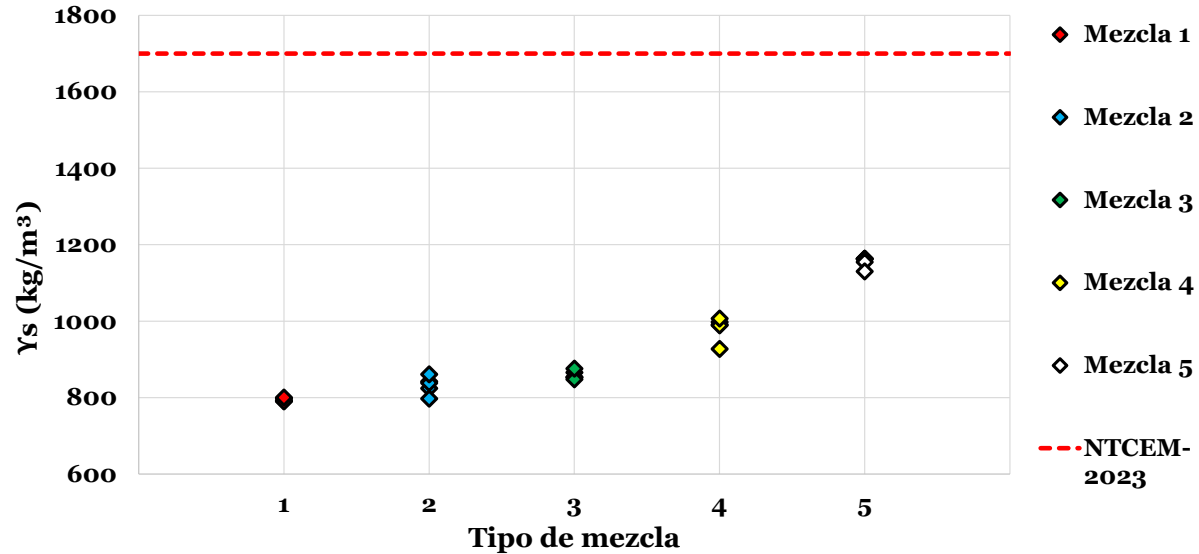
Tabla 3
Promedios de resultados de caracterización física.

	Mezcla 1	Mezcla 2	Mezcla 3	Mezcla 4	Mezcla 5
γ (kg/m ³)	794.2	832.5	859.3	982.4	1154.7
A (%)	33.91	30.20	30.36	19.8	12.47
Cb (gr/cm ² ·xmin ^{0.5})	26.98	24.89	26.44	9.03	6.04

En la figura 8 se muestran los pesos volumétricos secos de los bloques fabricados con las diferentes mezclas, estos valores están muy por debajo del mínimo definido por las NTCEM-2023, que es de 17 KN/m³ (1700 kg/m³) para bloques de concreto. La norma NMX-C-404-ONNCCE-2012, no incluye un valor mínimo de peso volumétrico, sin embargo, las NTCEM-2023, indican que este parámetro es una medida de calidad, pudiéndolo utilizar para aceptar o descartar las piezas, ya que el peso volumétrico, se correlaciona con sus propiedades mecánicas como la resistencia a compresión y algunas propiedades físicas como absorción de agua, durabilidad y permeabilidad (NTCEM, 2023).

Aunque los especímenes fabricados con la mezcla 5 son los que tienen el mayor peso volumétrico, estos no alcanzan el 70% del valor mínimo propuesto por las NTCEM-2023.

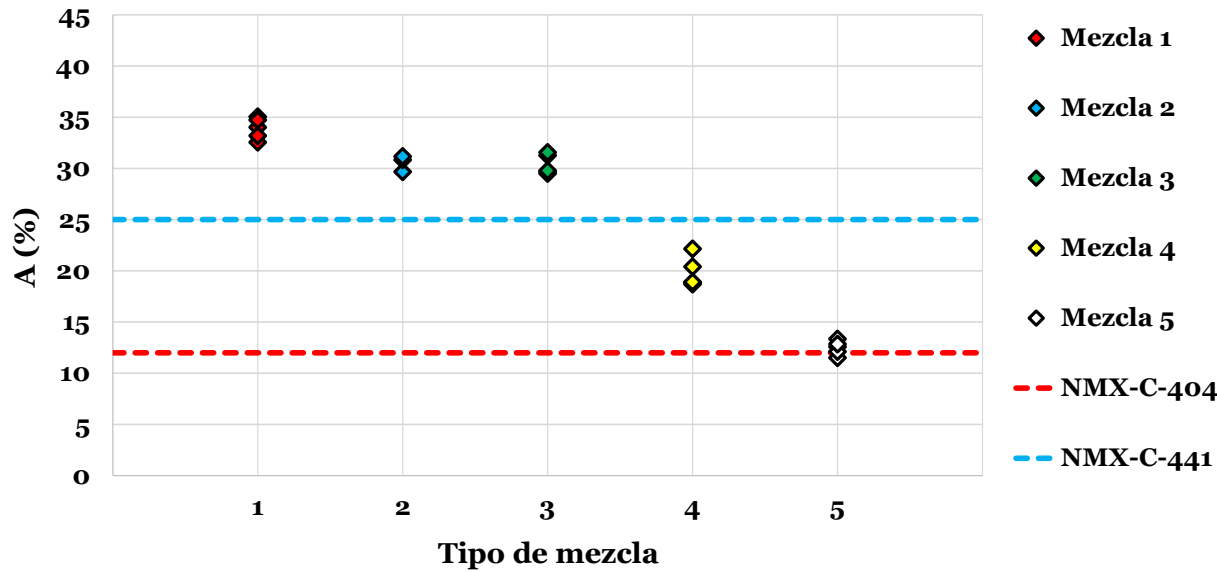
Figura 8
Resultados de peso volumétrico seco.



En los resultados presentados en la figura 8, también se aprecia un evidente incremento del peso volumétrico seco al aumentar el contenido de cemento en la mezcla, esto se debe a que, la mezcla formada por el cemento y agua, comienza a llenar los espacios vacíos que quedan entre los agregados que conforman al bloque, reduciendo su porosidad.

La figura 9 presenta los resultados de absorción total en 24 horas, donde se identifica que los bloques elaborados con las mezclas 1, 2, 3 y 4 superan ampliamente el límite máximo permitido por la norma NMX-C-404-ONNCCE-2012, establecido en 12 %. En contraste, los bloques fabricados con la mezcla 5, muestran valores cercanos a dicho límite normativo, ya que tiene un promedio de 12.47%. Al comparar estos resultados con el límite del 25% definido por la norma NMX-C-441-ONNCCE-2013, que define las características para piezas de mampostería para uso no estructural, se aprecia que todas las piezas de las mezclas 4 y 5 cumplen con el límite definido.

Figura 9
Resultados de absorción total en 24 horas.

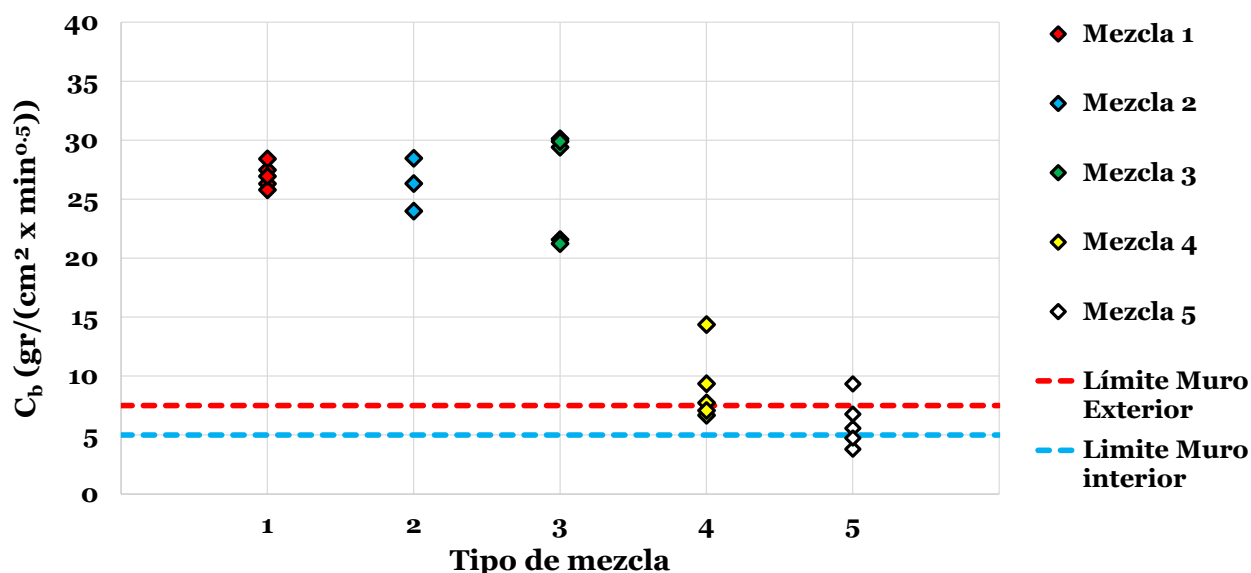


Al analizar la figura 9, se aprecia que la absorción total en 24 horas disminuye a medida que aumenta el contenido de cemento en la mezcla, esto se debe a que el incremento de cemento, genera que los espacios vacíos en el bloque disminuyan, reduciendo su porosidad, además, el agregado que es muy poroso, queda cubierto con esta mezcla formada por el cemento y el agua, reduciendo su capacidad de absorción. Por otro lado, los bloques fabricados con mezclas con bajo contenido de cemento, presentan muchas oquedades, ya que la mezcla formada por el cemento y agua, no llenan completamente los vacíos que quedan entre los agregados, así mismo, algunos agregados no están totalmente cubiertos por la pasta de cemento. Es importante mencionar que, durante las pruebas, los bloques fabricados con las mezclas 1, 2 y 3 flotaban en el agua durante unos segundos, hasta que sus vacíos se llenaban de agua y estos se hundían, este comportamiento valida los resultados del peso volumétrico seco, el cual fue menor que el del agua.

Los valores obtenidos en las pruebas de absorción inicial se presentan en la figura 10, en los cuales se observa que únicamente algunas piezas fabricadas con las mezclas 4 y 5 cumplen con el límite definido por la norma NMX-C-404-ONNCCE-2012, que para el caso de bloques de concreto es de $5 \text{ g}/(\text{cm}^2 \times \text{min}^{0.5})$ si el muro es exterior o $7.5 \text{ g}/(\text{cm}^2 \times \text{min}^{0.5})$ en el caso que sea un muro interior, estos límites son los mismos que define la norma NMX-C-441-ONNCCE-2013. Estas altas tasas de absorción, pueden generar que la pieza absorba en exceso el agua del mortero, impidiendo que se alcance la resistencia de diseño a compresión.

Figura 10

Resultados de absorción inicial.



En la Figura 10 también se observa un decremento de la absorción al incrementar el contenido de cemento en la mezcla utilizada para la fabricación de los bloques. Este decremento en la absorción inicial, se debe principalmente, a que conforme se incrementa el contenido de cemento, los agregados gruesos y finos, se cubren con esta mezcla de cemento y agua, disminuyendo la absorción de la pieza.

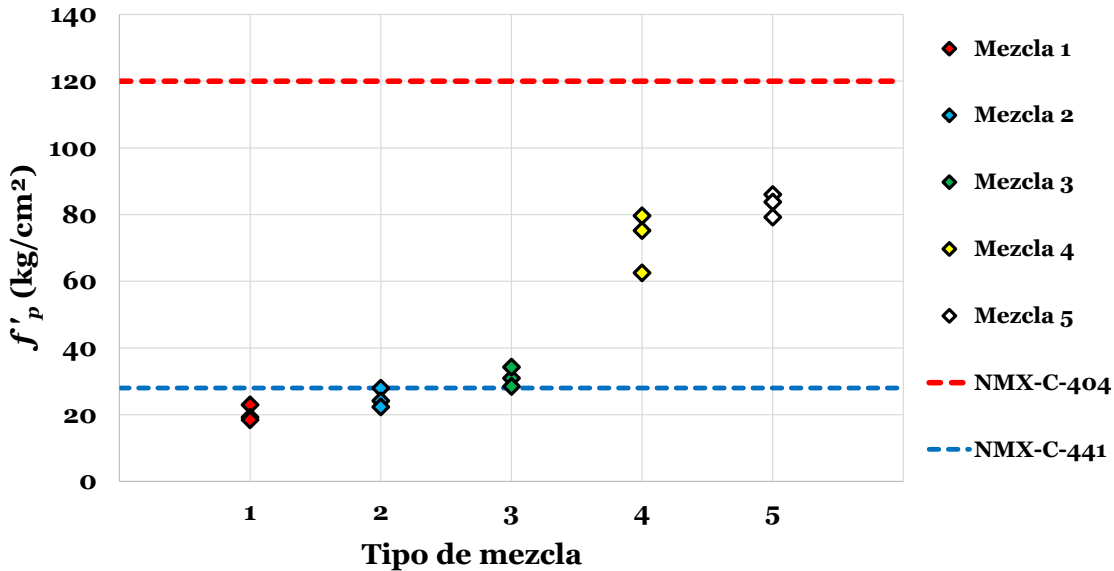
Una de las principales propiedades de los bloques de concreto es su resistencia a la compresión, la cual impacta directamente en la resistencia de diseño a la compresión de la mampostería. La norma NMX-C-404-ONNCCE-2012, indica que ningún bloque macizo de concreto tendrá una resistencia menor a $120 \text{ kgf}/\text{cm}^2$, tampoco se podrán tener muestras con promedios menores a $150 \text{ kgf}/\text{cm}^2$. Las NTCEM-2023, definen que las piezas deben de tener una resistencia de diseño a compresión, f'_p , mayor a $100 \text{ kgf}/\text{cm}^2$; utilizando el coeficiente de variación de la resistencia a compresión de piezas, c_p , correspondiente a la fabricación mecanizada, pero sin control de calidad, que es de 0.3, es necesario tener una resistencia promedio a la compresión mayor a $175 \text{ kgf}/\text{cm}^2$, para obtener la resistencia de diseño definida en la norma.

Al analizar los resultados presentados en la tabla 4, observamos que ninguna pieza cumple con la resistencia mínima individual a compresión, mucho menos con el promedio mínimo definido por la norma NMX-C-404-ONNCCE-2012, además, tampoco se cumple con la resistencia de diseño a compresión definida por las NTCEM-2023. Al comparar los resultados con los criterios establecidos en la norma NMX-C-441-ONNCCE-2013, se determina que los bloques fabricados con las mezclas 4 y 5, cumplen tanto con la resistencia mínima individual de $28 \text{ kgf}/\text{cm}^2$, como con el promedio mínimo de $35 \text{ kgf}/\text{cm}^2$ establecidos por la norma. Los resultados de resistencia a compresión presentados en la figura 11, muestra que el aumento en el contenido de cemento en las mezclas genera un incremento en la resistencia.

Tabla 4
Resistencia a compresión (kgf/cm²)

	Mezcla 1	Mezcla 2	Mezcla 3	Mezcla 4	Mezcla 5
1	22.93	27.93	30.95	79.64	79.23
2	19.21	24.17	28.47	75.19	85.99
3	18.44	22.34	34.26	62.50	83.74
$\bar{f}_p$	20.19	24.81	31.23	72.44	82.99
f'_p	11.54	14.18	17.84	41.40	47.42

Figura 11
Resultados de resistencia a compresión.

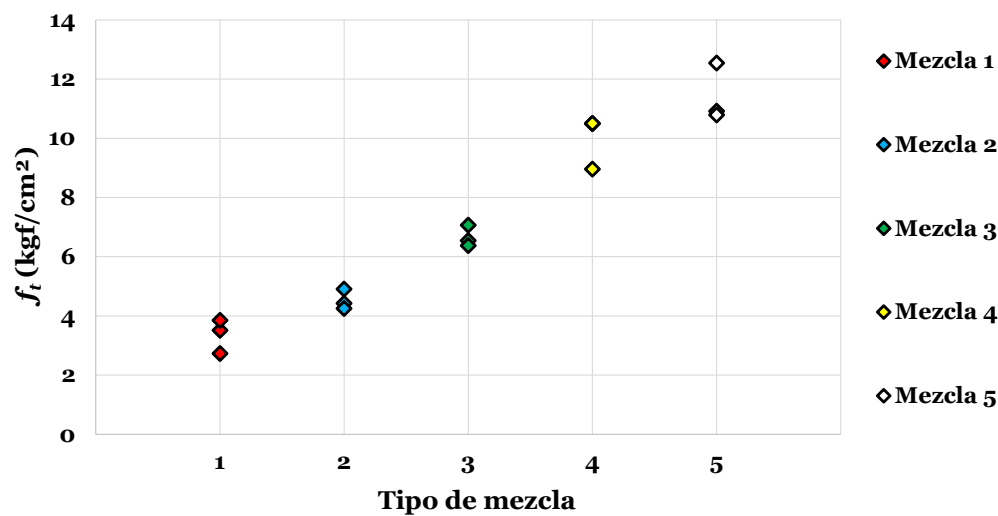


En la tabla 5 se presentan los resultados del módulo de rotura, el promedio y la resistencia de diseño. Aunque no existe una norma que defina un valor mínimo del módulo de rotura, se espera que los bloques que tienen una buena resistencia a compresión, tengan una buena resistencia a tensión. Además, en esta investigación se busca relacionar el módulo de rotura y la resistencia a compresión de los especímenes, como se hace en el concreto. Al examinar los resultados de módulo de rotura, graficados en la figura 12, observamos un incremento de la resistencia a tensión por flexión, al incrementar el contenido de cemento en las mezclas utilizadas para fabricar los bloques.

Tabla 5
Módulo de rotura (kgf/cm²)

	Mezcla 1	Mezcla 2	Mezcla 3	Mezcla 4	Mezcla 5
1	3.51	4.43	6.54	8.96	10.92
2	3.85	4.25	6.38	10.49	10.79
3	2.73	4.91	7.07	10.50	12.54
$\bar{f}_t$	3.36	4.53	6.66	9.99	11.42
f'_t	1.92	2.59	3.81	5.71	6.52

Figura 12
Resultados de módulo de rotura.

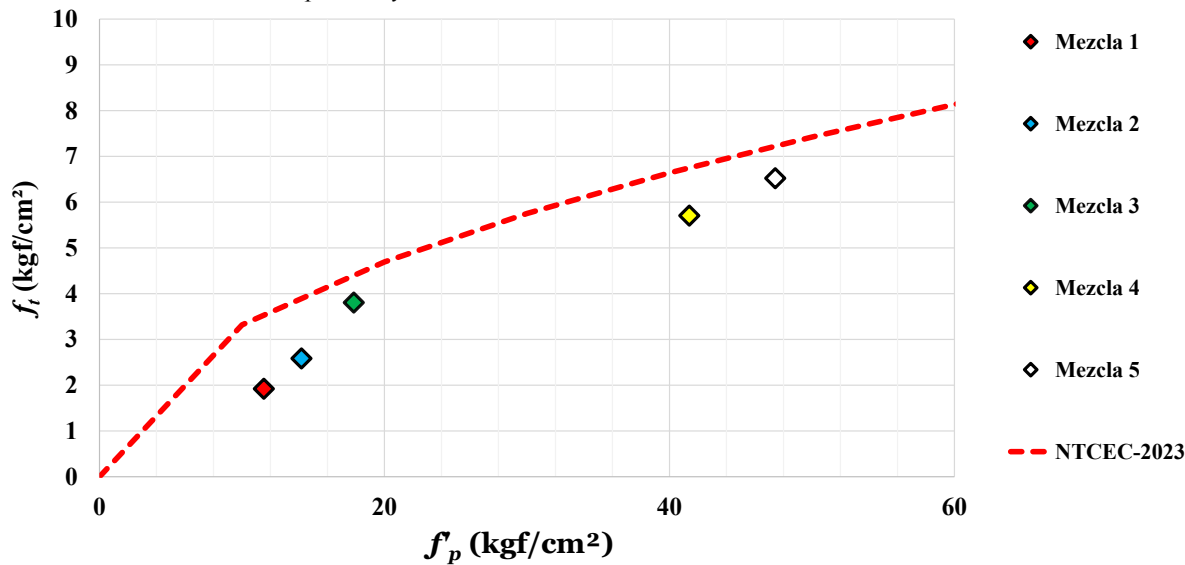


En los resultados de resistencia a compresión y módulo de rotura presentados figura 13, se observa una relación entre estos dos parámetros, como se presenta en otros materiales como en el concreto tipo 1 y 2. Según las NTCEC-2023, el módulo de rotura para concreto tipo 2 es $1.4\sqrt{f'_c}$, si se utilizan unidades de kgf y cm. Para considerar que los bloques son de concreto ligero, se debe de multiplicar por el factor λ , que tiene un valor de 0.75 para concretos con agregados ligeros. La figura 13 presenta los resultados obtenidos en esta investigación y lo definido por las NTCEC-2023 en cuanto a la relación entre el módulo de rotura de diseño, f_t y la resistencia de diseño a compresión de las piezas, f'_p . Los resultados indican, que la relación entre f_t y f'_p de los bloques de concreto, se ajustan a lo definido para el concreto tipo 2 modificado por el factor λ . Esta relación es importante, ya que se puede estimar la resistencia a compresión, con una prueba más sencilla y barata como lo es la prueba de módulo de rotura, sin embargo, es necesario tener más resultados para asegurar esta relación.

Tabla 6
Relación entre resistencia de diseño a compresión y módulo de rotura de diseño.

	Mezcla 1	Mezcla 2	Mezcla 3	Mezcla 4	Mezcla 5
f'_p (kgf/cm²)	11.54	14.18	17.84	41.40	47.42
f_t (kgf/cm²)	1.92	2.59	3.81	5.71	6.52

Figura 13
Relación entre resistencia de diseño a compresión y módulo de rotura de diseño



Al analizar los resultados del peso volumétrico seco y la resistencia de diseño a compresión, presentados en la figura 14, se observa que existe una relación entre estas propiedades. Los resultados indican que los bloques más densos tienen resistencias a compresión mayores que los menos densos, esto se debe a que las piezas con más peso volumétrico, tienen menos vacíos y tienen más material para resistir la carga de compresión, aunado a lo anterior, es importante recordar que, en esta investigación, se utilizó el mismo agregado, por lo que el incremento de peso volumétrico, se debe únicamente al incremento en la cantidad de cemento utilizado en la mezcla para fabricar los bloques. Esta relación es importante, ya que podemos estimar la resistencia de diseño a compresión de los bloques a través de su peso volumétrico seco, que es una propiedad física fácil de obtener directamente en los talleres donde se fabrican los bloques de concreto. No obstante, se requiere un mayor número de datos experimentales para validar con certeza la relación entre el peso volumétrico seco y la resistencia de diseño a compresión.

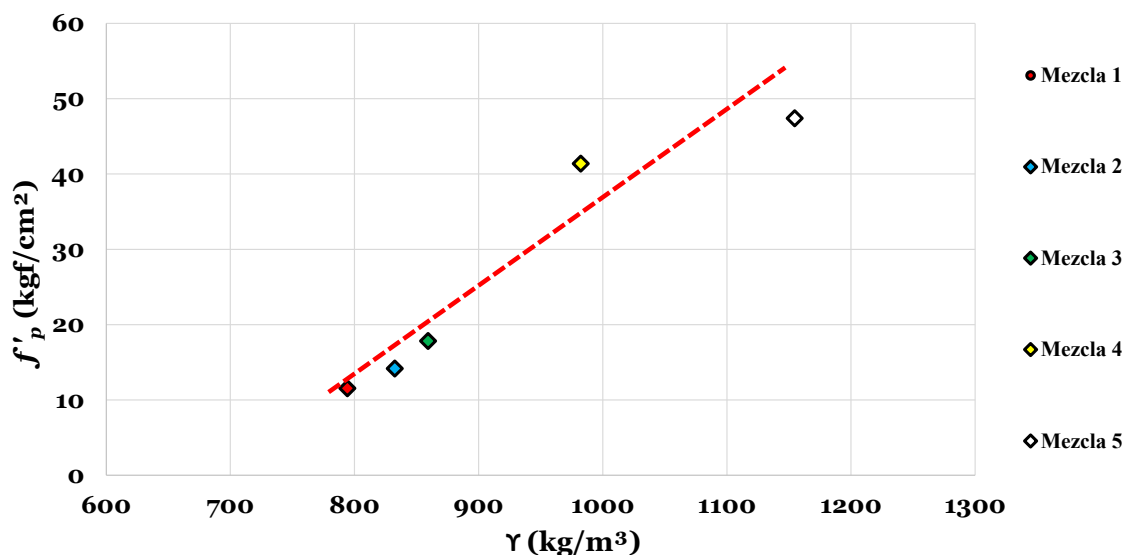
Tabla 7

Relación entre resistencia de diseño a compresión y peso volumétrico seco.

	Mezcla 1	Mezcla 2	Mezcla 3	Mezcla 4	Mezcla 5
f'_p (kgf/cm ²)	11.54	14.18	17.84	41.40	47.42
γ_{prom} (kg/m ³)	794.2	832.5	859.3	982.4	1154.7

Figura 14

Relación entre peso volumétrico seco y resistencia de diseño a compresión.



CONCLUSIONES

Con base en los resultados obtenidos en esta investigación, se puede concluir lo siguiente:

- El incremento del contenido de cemento en las mezclas para fabricar los bloques, mejora sus propiedades físicas y mecánicas.
- El contenido de cemento mínimo para que las piezas no se disgreguen por su manipulación, es de 4 litros por carretillada de agregados.
- Existe una relación entre la resistencia de diseño a compresión y módulo de rotura de diseño.
- Existe una relación entre el peso volumétrico seco y la resistencia de diseño a compresión de los bloques de concreto.
- Con el agregado que actualmente se utiliza en la fabricación de bloques de concreto en el estado de Hidalgo, no se lograron obtener las resistencias a compresión definidas en las NMX-C-404-ONNCCE-2012, ni los pesos volumétricos secos especificados en las NTCEM-2023.
- Para cumplir con los requisitos de absorción inicial y absorción total en 24 horas, establecidos en la norma NMX-C-404-ONNCCE-2012, se requiere un contenido elevado de cemento en la mezcla para fabricar los bloques de concreto, lo que incrementaría significativamente el costo de producción.

BIBLIOGRAFÍA

- ASTM C67 – 20 (2020), Standard Test Methods For Sampling And Testing Brick And Structural Clay Tile, American Society for Testing and Materials, Pennsylvania, United States.
- Chris Pellant (1993). Manuales de identificación, rocas y minerales. Ediciones Omega.
- NMX-C-036-ONNCCE-2013 (2013), Industria de la Construcción - Mampostería - Resistencia a la compresión de bloques, tabiques o ladrillos y tabicones y Adoquines – Métodos de Ensayo, Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación, México.
- NMX-C-037-ONNCCE-2013 (2013), Industria de la Construcción - Mampostería - Determinación de la Absorción Total y la Absorción Inicial de Agua en Bloques, Tabiques o Ladrillos y Tabicones – Método de Ensayo, Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación, México.
- NMX-C-038-ONNCCE-2013 (2013), Industria de la Construcción - Mampostería - Determinación de las Dimensiones de Bloques, Tabiques o Ladrillos y Tabicones – Método de Ensayo, Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación, México.
- NMX-C-404-ONNCCE-2012 (2012), Industria de la Construcción - Mampostería - Bloques, Tabiques o ladrillos y Tabicones para uso Estructural - Especificaciones y Métodos de Ensayo, Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación, México.
- NMX-C-441-ONNCCE-2013 (2013), Industria de la Construcción - Mampostería - Bloques, Tabiques o ladrillos y Tabicones para uso No Estructural - Especificaciones y Métodos de Ensayo, Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación, México.
- NTCM-2023 (2023), Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Mampostería, Gaceta Oficial de la Ciudad de México, noviembre 2023.
- Reed Wicander y James S. Monroe (2000). Fundamentos de Geología. International Thomson Editores.
- Sociedad Mexicana de Ingeniería Estructural, SMIE (2021). Edificaciones de Mampostería. SMIE.

Aprendizaje automático para lenguas de bajos recursos: aplicación a la Traducción Automática Náhuatl-Español

Jesús Manuel De Dios López¹, Cristina López Ramírez², Ricardo Ramos Aguilar³

¹Universidad Juárez Autónoma de Tabasco/Personal, e-mail: 232H21003@alumno.ujat.mx

²Universidad Juárez Autónoma de Tabasco/Personal, e-mail: cristyna2001@hotmail.com

³Unidad Profesional Interdisciplinaria en Ingeniería Campus Tlaxcala IPN
/Personal, e-mail: rramosa@ipn.mx

Línea de investigación: Ciencia de Datos e Inteligencia Artificial

RESUMEN

La traducción automática ha experimentado un avance significativo gracias al desarrollo de modelos de aprendizaje profundo. Este trabajo propone aplicar estas técnicas a la traducción del náhuatl al español, una lengua indígena con una representación digital limitada. El objetivo es desarrollar un sistema de traducción neuronal que pueda generar traducciones precisas y fluidas, esperando superar los desafíos asociados a las lenguas de bajos recursos. Se utilizarán modelos de última generación, como los Transformers, entrenados en grandes corpus paralelos de náhuatl y español. Además, se explorarán técnicas de pre-entrenamiento y transferencia de aprendizaje para mejorar la calidad de las traducciones y reducir la cantidad de datos etiquetados necesarios. Los resultados de esta investigación no solo contribuirán al campo de la traducción automática, sino que también proporcionarán una herramienta valiosa para ayudar a compartir las diversas tradiciones culturales entre estos pueblos facilitando el diálogo intercultural y revitalización de las lenguas indígenas.

Palabras claves: Traducción automática, Procesamiento de Lenguaje Natural (PLN), Redes Neuronales, Modelo Transformer.

ABSTRACT

Automatic translation has seen significant advancements due to the development of deep learning models. This work proposes applying these techniques to the translation of Nahuatl to Spanish, an indigenous language with limited digital representation. The goal is to develop a neural translation system that can generate accurate and fluent translations, aiming to overcome the challenges associated with low-resource languages. State-of-the-art models, such as Transformers, will be used, trained on large parallel corpora of Nahuatl and Spanish. Additionally, pre-training and transfer learning techniques will be explored to improve translation quality and reduce the amount of labeled data needed. The results of this research will not only contribute to the field of automatic translation but also provide a valuable tool for helping share the diverse cultural traditions among these peoples, facilitating intercultural dialogue and the revitalization of indigenous languages.

Keywords: Automatic Translation, Natural Language Processing (NLP), Neural Networks, Transformer Model.

INTRODUCCIÓN

La traducción automática es un campo fundamental dentro del procesamiento del lenguaje natural (PLN), relevante para diferentes lenguas indígenas como el náhuatl, esta enfrenta desafíos significativos ante su traducción. Este trabajo se enfoca en desarrollar un modelo de PLN que permita la traducción automática de náhuatl a español, utilizando técnicas de aprendizaje automático y Transformers. Esta investigación parte de la necesidad de traducir las lenguas indígenas a un idioma más predominante como el español, puesto que el náhuatl y otras lenguas de bajos recursos que se hablan en México están en peligro de extinción (República, 2021); aunque el náhuatl es la lengua indígena más distribuida en el territorio mexicano (INEGI, 2022), el número de hablantes está en declive. Por ello, se propone un enfoque basado en modelos de aprendizaje automático. Se utiliza un corpus de textos en náhuatl y su variante en español, aplicando una metodología que se describe más adelante para realizar las etapas de la traducción automática y del entrenamiento del modelo basado en redes neuronales Transformers, además, se propone evaluar la precisión del modelo utilizando métricas como BLEU¹, con el objetivo de obtener una traducción que mantenga la fidelidad semántica del texto original. Este enfoque busca no solo contribuir a que muchas personas tengan una mejor forma de comunicarse, sino también avanzar en las capacidades de los sistemas de traducción automática para lenguas de bajos recursos.

Cabe destacar que la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (Unesco) declaró el Decenio Internacional de las Lenguas Indígenas, 2022-2032, llamando la atención al mundo ante la crítica pérdida de las lenguas indígenas y la urgencia de tomar medidas para preservarlas, promoverlas y buscar formas de protegerlas (Mireles, 2022). El objetivo de este trabajo es desarrollar un enfoque para traducción automática entre el náhuatl y el español, contribuyendo a mantener viva esta lengua indígena que forma parte del patrimonio cultural de México. Al crear un modelo de traducción automática se espera apoyar a las comunidades hablantes de náhuatl, proporcionándoles un recurso que les permita mantener y transmitir su lengua a las nuevas generaciones.

Este trabajo puede impulsar aún más la investigación en el campo del procesamiento de lenguas de bajos recursos. El éxito de la propuesta de traducción automática basada en redes neuronales podría contribuir a las bases ya establecidas en la literatura, para futuros esfuerzos de traducción de otras lenguas indígenas en peligro de extinción, demostrando que es posible integrar la tecnología moderna con la conservación cultural. En última instancia, se pretende que esta propuesta sea un paso significativo hacia la inclusión de lenguas minoritarias en el ámbito digital, asegurando que estas lenguas no solo sobrevivan, sino que también prosperen en la era tecnológica.

Definiciones utilizadas dentro de la metodología

Lingüística

La lingüística es la disciplina que analiza exhaustivamente el lenguaje humano hablado y escrito, tanto en su conjunto como en sus manifestaciones específicas, lo que incluye los actos comunicativos y los sistemas de variación geográfica que, de manera tradicional o por convención, se denominan lenguas (Coseriu, 1986).

Náhuatl

El término "nahua" o "náhuatl" se emplea para hacer alusión a un grupo indígena y a un conjunto de lenguas indígenas que están estrechamente interconectadas en México, la palabra "náhuatl" representa la forma adaptada al español de esta lengua y se traduce como "cosas que suenan bien", cabe destacar que estas lenguas poseen diversos nombres con los que se autodenominan, los cuales varían en función de la lengua, la ubicación geográfica y las comunidades específicas (SIC México, 2020)

PLN

El Procesamiento de Lenguaje Natural (PLN), también conocido como NLP por sus siglas en inglés, se refiere a la capacidad de una máquina para analizar y comprender la información comunicada en lenguaje humano, no limitándose únicamente a las letras o los sonidos del lenguaje (Gelbukh, 2010).

Aprendizaje Automático

Hay varias definiciones para Aprendizaje Automático (AA) como lo describe Jorge Díaz (Rampirez, 2021), con diferentes autores, una de ellas es la capacidad de permitir que las computadoras aprendan sin programación explícita, el Aprendizaje Automático se refiere a un conjunto de métodos y enfoques que capacitan a las computadoras para adquirir conocimiento y mejorar su desempeño a partir de la experiencia y los datos disponibles, lo que ha resultado en un campo interdisciplinario fundamental en la inteligencia artificial.

Traducción automática

La traducción automática tiene objetivos claros: tomar el texto escrito en un lenguaje y traducirlo a otro, manteniendo el mismo significado (Myriam Beatriz H., 2013).

¹ Métrica que evalúa automáticamente la similitud entre texto traducido automáticamente.

BLEU

Es utilizada para evaluar la traducción de un texto automáticamente respecto a un conjunto de referencias de traducciones humanas. BLEU compara la coincidencia de frases cortas entre la traducción automática y las traducciones de referencia y produce una puntuación que refleja la similitud. Las puntuaciones más altas indican una mayor correspondencia con la calidad de una traducción humana (Vasilica, 2023).

Incrustaciones (Embeddings)

Los “embeddings” son representaciones numéricas de palabras en forma de vectores, utilizadas en modelos de semántica distribucional o representaciones distribuidas. Estas representaciones capturan información semántica y sintáctica, y son calculadas a partir de la co-ocurrencia contextual de palabras (Mandelbaum, 2016).

Corpus

Un corpus, en el contexto de la lingüística y el procesamiento del lenguaje natural, es un conjunto de datos que consiste en recursos lingüísticos tanto digitales como digitalizados (LibreTexts, 2023).

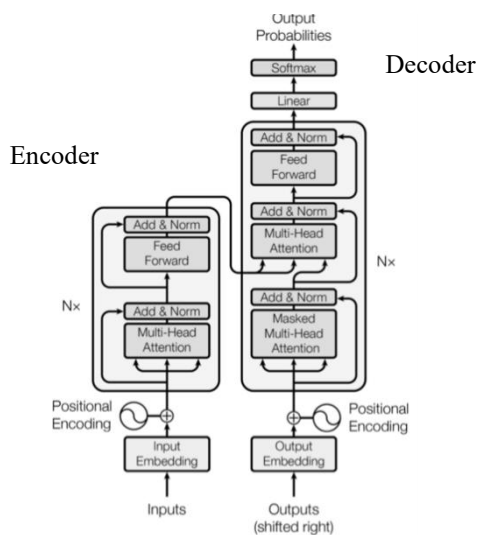
Lenguas de bajos recursos

Una lengua se clasifica como de bajos recursos cuando no cuenta con un corpus, tecnologías digitales y otras herramientas que simplifiquen su procesamiento. Esta carencia puede originarse debido a un número limitado de hablantes o a diversas circunstancias que restringen la disponibilidad de textos adecuados (Huerta, 2015)

Transformers

El Transformers es una nueva forma de construir modelos de lenguaje que ha demostrado ser muy efectiva en tareas de traducción automática y otras tareas relacionadas, la estructura del modelo mostrada en la **Figura 2**, está conformada por dos capas, la entrada que es el Encoder y la salida que es el Decoder. Su principal innovación es el uso exclusivo del mecanismo de atención, que permite al modelo aprender representaciones más ricas y contextuales del lenguaje (Vaswani, 2017).

Figura 2
Arquitectura del Modelo Transformer



Nota. Esta Arquitectura General Utilizando Capas Apiladas De Autoatención Y Capas Totalmente Conectadas Puntuales Para el Codificador y el Decodificador (Vaswani, 2017)

Word2vec

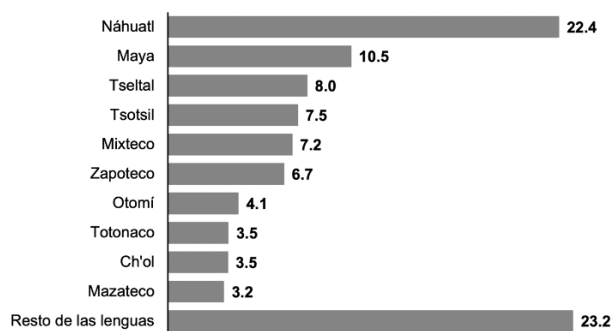
Word2vec, publicada en 2013, es una metodología destinada al ámbito del procesamiento de lenguaje natural. Este algoritmo emplea un modelo basado en redes neuronales con el fin de adquirir conocimientos sobre las relaciones entre palabras, utilizando para ello un extenso corpus textual (Ruiz de Villa, 2023).

JUSTIFICACIÓN

Las lenguas indígenas a menudo llevan consigo una rica herencia cultural, incluyendo tradiciones, historias, conocimientos ancestrales y maneras de interpretar el mundo únicas. La traducción permite que estas riquezas culturales sean compartidas y preservadas para las generaciones futuras, evitando la pérdida de patrimonio cultural. Las personas mayores que hablan principalmente su lengua materna pueden compartir su sabiduría y vivencias con las generaciones más jóvenes, quienes podrían tener mayor familiaridad con distintos idiomas, como el español.

En México están reconocidas 68 lenguas indígenas, perder estas lenguas es perder parte de la historia que es de suma importancia y riqueza del patrimonio cultural de nuestro país. De las 68 lenguas indígenas que se hablan en México, las más comunes son el náhuatl (22.4 %), el maya (10.5 %) y el tseltal (8.0 %) como se muestra en la **Figura 3**. De cada 100 personas de tres años o más que hablan una lengua indígena, aproximadamente 12 no tienen conocimientos de español (INEGI, 2022).

Figura 3
Población Hablante de Lengua Indígena Según Lengua (Porcentaje)



Nota. La suma de los porcentajes no alcanza 100% debido a que no se grafica el no especificado.
(INEGI. Censo de Población y Vivienda 2020. Cuestionario Básico. Consulta interactiva de Datos)

Es aquí donde el uso de modelos computacionales quita esa barrera que impide la comunicación entre diferentes pueblos hablantes de lenguas indígenas. Por ello es necesario implementar un traductor en especial de náhuatl a español que permita ese acercamiento, conservar y compartir las diversas tradiciones culturales entre estos pueblos facilitando el diálogo intercultural.

TRABAJOS RELACIONADOS

La traducción automática se ha venido estudiando tiempo a atrás, logrado cambios significativos en los procesos y técnicas de traducción

En 2009 Vilca y Hugo David Calderón analizan el uso de Apertium, una plataforma de traducción automática libre y de código abierto, para traducir entre español y quechua, específicamente el Quechua del Este de Apurímac. Realizado en 2013 en la Región Apurímac, Perú, el objetivo fue comparar la calidad de traducción entre una lengua nativa aglutinante (quechua) y un idioma flexivo (español), utilizando el método *Word Error Rate* (WER). El proceso incluyó la creación de diccionarios monolingües y bilingües, así como reglas de transferencia estructural para ambas direcciones de traducción. El sistema desarrollado logró más de 4,000 palabras raíces y 5,000 traducciones, con un error promedio de 19.48% al traducir de quechua a español y 24.19% de español a quechua (Vilca, 2009).

En 2015 Minh-Thang Luong y colaboradores exploran el uso de la traducción automática basada en mecanismos de atención, utilizada para la traducción del Inglés al Alemán, el cual examina un subconjunto de palabras de origen y palabras locales al mismo tiempo. Destacan el buen resultado obtenido con la métrica BLEU demostrando la efectividad de la técnica basada en atención (Thang Luong, 2015).

En 2016 Colaboradores de Google presentan GNMT el sistema de traducción automática neuronal de Google. Su modelo consiste en una red LSTM profunda con 8 capas de codificador y 8 capas de decodificador que utilizan conexiones de atención y residuales GNMT logra resultados competitivos de última generación. Mediante el uso de una evaluación humana en paralelo en un conjunto de oraciones simples aisladas, reduce los errores de traducción en un promedio del 60% en comparación con el sistema de producción basado en frases de Google (Yonghui Wu, 2016).

En 2016 Ximena Gutiérrez Vasques, Gerardo Sierra, Isaac Hernández del Instituto de Ingeniería, UNAM, México, presentan un trabajo llamado Axolotl, basado en un corpus paralelo español-náhuatl como una interfaz de búsqueda para el uso del público en general, presentan este trabajo como uno de los acercamientos hacia la traducción de lenguas de bajos recursos (Ximena Gutiérrez Vasques, 2016).

Traducción automática de las lenguas de bajos recursos tiene mejores avances en la investigación. En 2016 se presenta un artículo (Jesús Manuel Mager Hois, 2016) donde se usa descomposición morfológica, basados en el modelo de traducción estadística SMT, en el cual se describe un nuevo traductor automático entre el español y el wixarika, una lengua indígena mexicana. El principal desafío fue la escasez de

textos traducidos en ambos idiomas y la gran diferencia entre sus estructuras gramaticales. Para resolver esto, se desarrolló un analizador morfológico que descompone los verbos wixarika, facilitando la traducción.

En 2020 Abdul Gafar destaca mejoras en la precisión y velocidad de los sistemas de procesamiento de lenguaje natural, enfocándose en la traducción automática de lenguas indígenas de México. En este trabajo, los autores utilizan el modelo *encoder-decoder* de Fairseq para evaluar la traducción automática desde el español hacia varias lenguas indígenas mexicanas, como el Huichol, Mixteco, Mazateco, Mazahua, y dos variantes del Náhuatl (de Guerrero y de Puebla). Los resultados obtenidos se evalúan utilizando las métricas ROUGE y BLEU, y muestran un rendimiento superior en comparación con trabajos anteriores en la traducción de estas lenguas. Además, el estudio contribuye proponiendo un *baseline* sólido para la evaluación de la traducción automática y publicando tanto el código como el conjunto de datos utilizados, accesibles de forma libre (Abdul Gafar Manuel Meque, 2021).

En 2021 se presenta un sistema que se basa en la arquitectura neuronal Transformer y utiliza la tokenización a nivel de subpalabras como entrada. Realizan experimentos de traducción automática de ayuuk al español y de español a ayuuk. La lengua ayuuk es hablada en el estado de Oaxaca en México por los Ayuukjä’äy (en español comúnmente referidos como Mixes). Este sistema a mostrado un buen desempeño con una métrica de 7 en BLEU son considerados prometedores, especialmente considerando los recursos limitados disponibles (Zacarías, 2021). La traducción automática ha experimentado avances significativos desde sus inicios, con mejoras notables en las técnicas y modelos utilizados. Inicialmente, los sistemas de traducción se basaban en reglas y frases, lo que limitaba su precisión y capacidad para manejar la complejidad lingüística. Con el tiempo, el enfoque ha cambiado hacia modelos estadísticos y, más recientemente, hacia redes neuronales profundas. Los avances van desde planteamientos básicos hacia sistemas más sofisticados que pueden manejar mejor las complejidades del lenguaje humano, con un enfoque creciente en mejorar la traducción para lenguas de bajos recursos.

DESARROLLO

El desarrollo del modelo de traducción automática se centra en el desarrollo y evaluación de un modelo basado en redes neuronales para la traducción de náhuatl a español. El proceso de desarrollo incluye varias etapas clave:

- **Preparación de los Datos:** Se propone utilizar conjuntos de datos representativos como el **corpus** descrito en “AmericasNLP 2024 Shared Task on Machine Translation into Indigenous Languages”² este corpus es utilizado como base de entrenamiento para probar las técnicas de traducción automática (TA), el cual contiene 673 líneas, con 4300 palabras de estas 1920 son palabras únicas, 351 oraciones. El corpus está conformado por un texto escrito en náhuatl como se muestra en la **Figura 4**, en la figura solo se muestran las 5 primeras líneas.

Figura 4
Texto Escrito en náhuatl

```
1   quipiya ce xochitla amo nochi yolpaquiztli ihuan mahuiltliltli, zan na nechyolpactia.
2   Tlahuel nimoxicozquia tlan nicmatizquia quimacaqueh tomintzin.
3   Nicchia inin problema mitzmaca yancuic entusiasmo
4   tiqilihqueh nochin tlen nihin tequitl
5   yehhua amo quilih xamoquepazquia o amo
```

Nota. La Imagen Describe la Forma del Contenido del Corpus en Náhuatl, que es la Base que se Tomará para el Entrenamiento del Modelo (AmericasNLP, 2024).

El corpus que es el equivalente en español se muestra en la **Figura 5**, es una traducción del náhuatl, que será con el cual se va a comparar el resultado de la traducción.

² [americasnlp2024/ST1_MachineTranslation/data/nahuatl-spanish at master · AmericasNLP/americasnlp2024 · GitHub](https://americasnlp2024/ST1_MachineTranslation/data/nahuatl-spanish)

Figura 5
Texto Escrito en Náhuatl

1 **T**ener un jardín no es todo diversión y juegos, pero yo lo disfruto.
2 **M**e enfadaría saber que habían financiado la corporación.
3 **E**spero que este problema te haya dado un nuevo entusiasmo.
4 **L**e dijimos a todo el mundo todo acerca del asunto.
5 **E**lla no mencionó si iba a regresar o no.

Nota. La Imagen Describe la Forma del Contenido del Corpus en Español para Comparar el Resultado del Modelo al Hacer la Traducción (AmericasNLP, 2024).

- **Procesamiento del Lenguaje:** Se planea aplicar técnicas de procesamiento como la tokenización, stemming, y lematización, que ayudarán a descomponer y normalizar el texto en unidades manejables, facilitando el análisis lingüístico y el entrenamiento del modelo.
- **Entrenamiento del Modelo:** El modelo será entrenado utilizando frameworks de aprendizaje profundo como TensorFlow y PyTorch, aprovechando la tecnología Word2Vec para generar representaciones vectoriales de las palabras. Se anticipa que este enfoque permitirá captar las relaciones semánticas y contextuales entre las palabras en náhuatl y español.
- **Evaluación y Ajustes:** Se propone evaluar el modelo utilizando métricas estándar como BLEU, que permitirá medir la precisión y fidelidad de las traducciones propuestas.

OBJETIVO GENERAL

Desarrollar un modelo de traducción automática Náhuatl-Español utilizando técnicas de aprendizaje automático, con el fin de facilitar la comunicación entre hablantes de ambas lenguas y contribuir a la preservación y difusión de la cultura lingüística náhuatl.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Desarrollar un algoritmo para la extracción automatizada de características lingüísticas relevantes del idioma Náhuatl.
- Validar un conjunto de datos bilingüe Náhuatl-Español para entrenamiento y pruebas de modelos de traducción automática.
- Implementar y entrenar un modelo de aprendizaje automático para la traducción Náhuatl-Español.
- Realizar pruebas de rendimiento en los modelos de traducción automática utilizando alguna métrica estándar como la puntuación BLEU para evaluar la calidad de las traducciones de bajo recursos.

OBJETO DE ESTUDIO

DESARROLLO DE UN MODELO DE TRADUCCIÓN AUTOMÁTICA QUE PERMITA TRADUCIR TEXTOS DE NÁHUATL A ESPAÑOL, UTILIZANDO TÉCNICAS DE APRENDIZAJE AUTOMÁTICO.

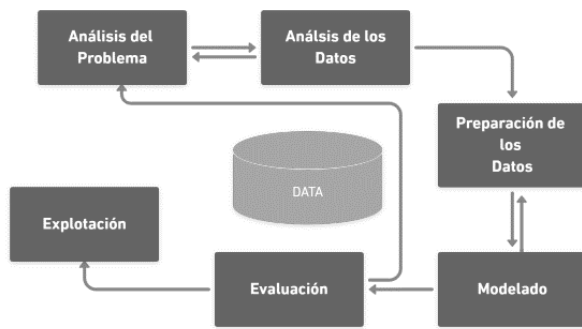
Este modelo tiene como propósito principal facilitar la comunicación entre hablantes de ambas lenguas, así como contribuir a la preservación y difusión de la cultura lingüística náhuatl, una lengua indígena en riesgo de extinción debido a la marginación y la falta de recursos tecnológicos que promuevan su uso y preservación.

METODOLOGÍA

A continuación, se menciona las etapas de la investigación, basándome en la metodología **CRISP-DM** como base para describir los puntos esenciales en el la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** para el desarrollo del modelo.

La metodología **CRISP-DM (Cross-Industry Standard Process for Data Mining)** es un estándar ampliamente reconocido en el campo de la minería de datos, esta metodología se enfoca alrededor de los datos. Desarrollada a finales de los años 90 por un consorcio de empresas líderes en tecnología e industria, esta metodología ofrece un marco estructurado para llevar a cabo proyectos de minería de datos de manera efectiva (Zúñiga, 2020).

Figura 6
Etapas de la Metodología CRISP-DM

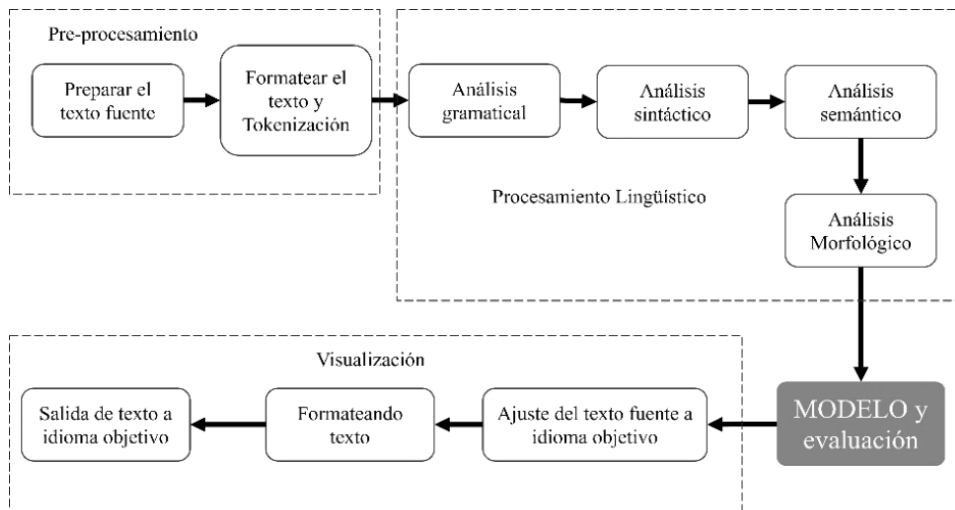


Nota. Visualización simplificada de la metodología CRISP-DM, destacando la importancia de la preparación de datos y la evaluación de modelos. (DECIDATA 2024)

Partiendo de la metodología descrita anteriormente se propone ajustar el flujo de la **Figura 6** al proceso de traducción automática, para llevar un orden para el análisis de los datos, creación del modelo y entrenamiento.

- Revisión bibliográfica
- Análisis lingüístico del Náhuatl
- Análisis de un corpus Náhuatl
- Pruebas y evaluación del modelo
- Evaluación del modelo
- Implementación del modelo de PLN para la traducción automática

Figura 7
Proceso de Traducción Automática



Nota. La Imagen Muestra un Diagrama de Flujo Lineal Representando los Pasos de un Proceso de Traducción Automática. (La imagen es de mi autoría)

- Pre-procesamiento: Los datos se preparan para el proceso de traducción. Esto podría incluir limpieza de datos, preparar el texto fuente, tokenización, etc.
- Procesamiento lingüístico: Esta etapa nos permitirá que el modelo pueda entender y trabajar con texto de la misma manera en que lo haría un ser humano.

MODELO Y EVALUACIÓN

- Desarrollo del modelo: Selección y entrenamiento de un modelo de traducción automática, en nuestro caso será un modelo de inteligencia artificial como las redes neuronales.
- Ajuste del modelo: Afinar el modelo con un conjunto de datos específico para mejorar su precisión y manejo del contexto y las sutilezas del lenguaje.
- Evaluación de la traducción: Utilizar alguna métrica de evaluación para bajos recursos, como BLEU (Bilingual Evaluation Understudy), para medir la calidad de las traducciones del modelo comparándolas con una referencia humana.
- Retroalimentación para mejora: Basándonos en los resultados de la evaluación, se realiza una iteración sobre el modelo para optimizarlo y mejorar su rendimiento. Esto puede incluir cambios en la arquitectura del modelo, el entrenamiento con más datos o la modificación de los algoritmos de preprocesamiento y post-procesamiento.

Visualización

- Ajustes del texto: Los datos traducidos se refinan, lo cual podría implicar corrección de errores, ajuste de estilo, etc.
- Formateo y visualización: Se evalúa la calidad de la traducción.
 - Este paso podría incluir revisión humana o evaluación automática de la precisión, además los resultados de la evaluación pueden usarse para mejorar el modelo de traducción.

Salida: En esta etapa tendremos la traducción completa del texto

DISCUSIÓN

El desarrollo de un sistema de traducción automática para el náhuatl representa un desafío computacional significativo debido a la escasez de datos etiquetados y a las particularidades lingüísticas de esta lengua indígena. Sin embargo, este proyecto demuestra la viabilidad de aplicar técnicas de aprendizaje profundo, como los modelos Transformers, para abordar estos desafíos.

Este trabajo representa un avance significativo en el campo de la traducción automática al proponer desarrollar un sistema de traducción neuronal especializado para el náhuatl, no obstante, se abre un abanico de oportunidades para revitalizar esta lengua y fortalecer la identidad cultural de las comunidades indígenas. Además de facilitar la comunicación entre hablantes de náhuatl y español, este sistema podría utilizarse en la creación de materiales educativos bilingües, la traducción de documentos históricos y literarios, y el desarrollo de herramientas de aprendizaje automático para otras lenguas indígenas.

BIBLIOGRAFÍA

- Abdul Gafar Manuel Meque, J. A. (2021). Traducción automática entre lenguas indígenas de México y el español. *Research in Computing Science*, 9.
- AmericasNLP. (Febrero de 2024). <https://github.com/AmericasNLP>. Obtenido de [https://github.com/AmericasNLP/americasnlp2024/tree/master/ST1_MachineTranslation/data/nahuatl-spanish](https://github.com/AmericasNLP/https://github.com/AmericasNLP/americasnlp2024/tree/master/ST1_MachineTranslation/data/nahuatl-spanish)
- Coseriu, E. a. (1986). Introducción a la lingüística. *Gredos Madrid*, 65.
- Documentation, W. L. (2023). Use Transformer Neural Nets.
- Gelbukh, A. (2010). Procesamiento de lenguaje natural y sus aplicaciones. *Komputer Sapiens*, 5.
- Huerta, A. I.-S. (2015). Primera experiencia de traducción automática de voz en lengua de signos. 8.
- INEGI. (08 de Agosto de 2022). *INEGI*. Obtenido de inegi.org.mx: https://www.inegi.org.mx/contenidos/saladeprensa/aproposito/2022/EAP_PueblosInd22.pdf
- Jesús Manuel Mager Hois, C. B. (2016). Traductor estadístico wixarika - español usando descomposición morfológica . *Universidad Inca Garcilaso de la Vega*, 6.
- LibreTexts. (2023). Towards a definition of corpus linguistics.
- Mandelbaum, A. a. (2016). Word Embeddings and Their Use In Sentence Classification Tasks . *ar5iv.org*, 16.
- Mireles, L. L. (10 de Febrero de 2022). *Unesco declara Decenio Internacional de las Lenguas Indígenas 2022-2032*. Obtenido de www.gaceta.unam.mx: <https://www.gaceta.unam.mx/unesco-declara-decenio-internacional-de-las-lenguas-indigenas-2022-2032/#:~:text=Ante%20esta%20emergencia%2C%20Naciones%20Unidas,urgentes%20a%20nivel%20nacional%20e>
- Myriam Beatriz H., J. M. (2013). Aplicaciones de procesamiento de lenguaje natural. *Revista Politécnica*, 13.
- Rampirez, J. D. (2021). Aprendizaje Automático y Aprendizaje Profundo. *Ingeniare. Revista chilena de ingeniería*, 180 - 181.
- República, S. d. (11 de Marzo de 2021). *Respalda el Pleno reconocimiento oficial de 68 lenguas indígenas*. Obtenido de comunicacion.senado.gob.mx: <http://comunicacion.senado.gob.mx/index.php/informacion/boletines/50490-respalda-el-pleno-reconocimiento-oficial-de-68-lenguas-indigenas.html>
- Ruiz de Villa, G. (2023). Introducción a Word2Vec: Skip-Gram Model.
- SIC México, R. N. (12 de Febrero de 2020). *Nahuatl*. Obtenido de [gob.mx](http://sic.gob.mx): http://sic.gob.mx/ficha.php?table=inali_li&table_id=5
- Thang Luong, H. P. (2015). Effective Approaches to Attention-based Neural Machine Translation. *Association for Computational Linguistics*, 1412–1421.
- Vasilica, M. M. (2023). La productividad de la traducción asistida y automática en los textos del área estadística: una evaluación de la traducción del inglés al español. *dspace.uvic.cat*, 61.
- Vaswani, A. a. (2017). Attention is all you need. *arxiv*, 5998--6008.
- Vilca, H. D. (2009). Traductor automático en línea del español a quechua, basado en la plataforma libre y código abierto apertium. *Revista de Investigaciones*, 19.
- Ximena Gutierrez Vasques, G. S. (2016). Axolotl: a Web Accessible Parallel Corpus for Spanish-Nahuatl. *European Language Resources Association*, 4210–4214.
- Yonghui Wu, M. S. (2016). Google's Neural Machine Translation System: Bridging the Gap between Human and Machine Translation. *arXiv*, 23.
- Zacarias, D. y. (2021). Zacarias, D., & Meza, I. *Research in Computing Science*, 10.
- Zúñiga, J. J. (2020). Aplicación de metodología CRISP-DM para segmentación geográfica de una base de datos pública. *Ingeniería, investigación y tecnología*, 17.

Sistema Seis Sigma como estrategia de mejora en empresa automotriz en el área de ventas.

Alma Monserrat Arce Salgado¹, Carlos Daniel Reyes Sandoval², Daniel Chapa Núñez³,
David Sáenz Zamarrón⁴, Nancy Ivette Arana De las Casas⁵

¹Tecnológico Nacional de México Campus Cd. Cuauhtémoc: aarcesalgado@gmail.com

²Tecnológico Nacional de México Campus Cd. Cuauhtémoc: cd.reyes.sandoval@gmail.com

³Tecnológico Nacional de México Campus Cd. Cuauhtémoc: dchapa@itcdcuauhtemoc.edu.mx

⁴Tecnológico Nacional de México Campus Cd. Cuauhtémoc: dsaenz@itcdcuauhtemoc.edu.mx

⁵Tecnológico Nacional de México Campus Cd. Cuauhtémoc: aranancy@itcdcuauhtemoc.edu.mx

Línea de investigación: Industrial, Casos, Ventas, Administración y Optimización de Procesos

Resumen

La metodología Six Sigma ha demostrado ser una herramienta poderosa para la mejora continua y el control de calidad en procesos industriales complejos. Este artículo presenta una aplicación del Sigma bajo el enfoque DMAIC (Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar) dentro de la empresa GB.

La investigación que se presenta aborda la problemática de la variabilidad en el peso de las piezas manufacturadas mediante el proceso de High Pressure Die Casting (HPDC) en GB. Para este caso, la discrepancia entre el peso real de las piezas y el peso registrado en los sistemas administrativos estaban generando inconsistencias en costos de producción y facturación, afectando directamente los márgenes operativos y la relación con los clientes. Este problema se agrava debido a la volatilidad del precio del aluminio, un insumo clave en la manufactura de componentes automotrices. Para analizar esta situación, se implementó la metodología Six Sigma bajo el enfoque DMAIC. A lo largo de esta investigación, se recopiló datos de más de 120 piezas representativas, evaluando la variabilidad en su peso con respecto a los registros administrativos. Los resultados obtenidos evidenciaron que la variación promedio en el peso de las piezas era del 11.94%, lo que resultaba en una pérdida acumulada superior a 71,000 kg de aluminio. A partir de estos hallazgos, se implementaron diversas acciones correctivas, tales como la actualización de registros en SAP, la estandarización del proceso de auditoría de peso y la optimización del flujo de comunicación entre las áreas de ingeniería y ventas para asegurar la correcta actualización de los costos de producción y cotización.

Palabras clave: DMAIC, eficiencia operativa, fundición HPDC, six sigma, variabilidad.

Abstract

The Six Sigma methodology has proven to be a powerful tool for continuous improvement and quality control in complex industrial processes. This article presents an application of Six Sigma using the DMAIC approach (Define, Measure, Analyze, Improve, and Control) within the company GB.

This research addresses the issue of weight variability in aluminum parts manufactured through the High Pressure Die Casting (HPDC) process at GB. In this case, the discrepancy between the actual weight of the parts and the weight recorded in administrative systems was generating inconsistencies in production costs and invoicing, directly affecting operating margins and customer relationships. The situation was further exacerbated by the volatility of aluminum prices, a key input in the manufacture of automotive components. To analyze this issue, the Six Sigma methodology under the DMAIC framework was implemented. Data were collected from more than 120 representative parts to evaluate weight variability in relation to administrative records. The results showed that the average variation in part weight was 11.94%, which resulted in an accumulated loss of over 71,000 kg of aluminum. Based on these findings, several corrective actions were implemented, such as updating records in SAP, standardizing the weight audit process, and optimizing the communication flow between the engineering and sales departments to ensure accurate updates of production costs and quotations.

Keywords: DMAIC, operational efficiency, HPDC casting, Six Sigma, variability

INTRODUCCIÓN

La industria automotriz ha sido un motor clave en el desarrollo económico mundial, con estrictos estándares de calidad y eficiencia en todos sus procesos. Dentro de esta industria, la precisión y consistencia en la elaboración de componentes juegan un papel crucial para garantizar la funcionalidad y seguridad de los vehículos. Entre los materiales más utilizados en la fabricación de componentes automotrices se encuentra el aluminio, un metal que combina propiedades de ligereza y resistencia, los cuales son fundamentales para la reducción de peso en los vehículos y la mejora en el rendimiento energético. Uno de los procesos más destacados para la producción de piezas de aluminio es el High Pressure Die Casting (HPDC), un método que permite la producción a gran escala de componentes con alta precisión. Sin embargo, este proceso también puede presentar desafíos relacionados con la variabilidad en el peso de las piezas. Estas variaciones pueden tener repercusiones significativas en el costo de producción, dado que el precio del aluminio, materia prima clave, está sujeto a fluctuaciones en los mercados internacionales y es un factor auditado por los clientes.

Para los problemas abordados en este proyecto de investigación, se ha decidido implementar la metodología Six Sigma bajo el enfoque DMAIC (Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar), una estrategia de mejora continua que ha demostrado ser efectiva en la identificación y reducción de la variabilidad en procesos de producción. Six Sigma nació en la década de los ochenta, inicialmente desarrollado por Motorola, con el objetivo de mejorar los procesos mediante la reducción de defectos y la variabilidad, lo que llevó a significativos ahorros de costos y mejoras en la calidad (Severiche et al., 2018).

A partir del año 2000, la filosofía Lean Six Sigma ha ganado relevancia al combinar los principios de Six Sigma con los de la manufactura esbelta, lo que permite no solo reducir la variabilidad en los procesos, sino también eliminar desperdicios y mejorar la eficiencia en general (Zimmermann et al., 2020). Esta metodología resulta particularmente adecuada para la industria automotriz, donde los requisitos de precisión, eficiencia y reducción de costos son imperativos. El enfoque DMAIC se estructura en cinco fases bien definidas. La primera fase, Definir, busca identificar y comprender el problema, así como las implicaciones económicas del mismo. Luego, en la fase de Medir, se recopilan y analizan datos que permitan cuantificar la magnitud y severidad del problema. En la fase de Analizar, se identifican las causas principales que originan las desviaciones en el proceso (Montgomery, 2019; Antony et al. y Biz, 2019).

La industria automotriz es un sector altamente competitivo y exigente, que opera bajo estrictos estándares de calidad y eficiencia. Una de las tendencias más importantes en los últimos años ha sido la adopción de materiales ligeros, como el aluminio, en la producción de componentes. El aluminio es un material fundamental debido a sus propiedades de ligereza, durabilidad y capacidad de reciclaje, características que lo convierten en un recurso clave para mejorar el rendimiento energético de los vehículos y reducir sus emisiones de CO₂. Estos factores han impulsado su uso extensivo en la fabricación de piezas automotrices, particularmente mediante el proceso de fundición a alta presión o High Pressure Die Casting (HPDC). Factores como la temperatura del molde, la velocidad y la presión de inyección son críticos para garantizar la consistencia de las piezas, y cualquier variación en estos factores puede resultar en discrepancias de peso entre las piezas producidas y lo registrado en el Proceso de Aprobación de Partes de Producción (PPAP) (Breyfogle, 2003; Garvin, 1988; Gejdos, 2015).

Diversos estudios y casos de éxito en la industria automotriz han demostrado la eficacia de la metodología Six Sigma en la reducción de variabilidad en procesos de producción. Por ejemplo, General Electric adoptó Six Sigma en la década de 1990, logrando una significativa reducción en los defectos de producción, lo que permitió a la empresa cumplir con los estrictos requisitos de calidad de los OEMs. En la industria automotriz brasileña, un estudio de 2018 mostró que la metodología DMAIC de Six Sigma ayuda a reducir defectos y mejorar la eficiencia en la producción de piezas de aluminio mediante HPDC (Linderman et al., 2003; Meredith y Mantel, 2009). En dicho estudio se identificaron las principales causas de variación en el peso de las piezas y se optimizaron los parámetros clave como la presión de inyección y el tiempo de ciclo, demostrando que la implementación de Six Sigma puede conducir a mejoras sustanciales en la estabilidad del proceso y en la reducción de pérdidas económicas (ASQ, 2008; Davis, 1993; Karlsson, 1996; Pyzdek, 2016; Shokri et al., y Vidal, 2018).

DESARROLLO

El problema central que enfrenta la empresa GB radica en la discrepancia entre el peso de las piezas de aluminio registrado en el Proceso de Aprobación de Partes de Producción (PPAP) y el peso real de las piezas producidas. Esta variación afecta directamente los costos de producción y genera incertidumbre tanto en la empresa como en los clientes. GB no obtiene ganancias por la venta del aluminio como materia prima, sino por la comercialización de piezas de aluminio terminadas, cuyo precio incluye el peso del material. Por esta razón, es esencial que el peso de las piezas sea exacto, ya que el costo del aluminio es pagado por el cliente y su precio fluctúa con base en índices internacionales. La falta de control sobre esta variable puede derivar en pérdidas económicas significativas y sanciones por parte de auditores externos, además de afectar la confiabilidad de los registros administrativos y la relación comercial con los clientes.

La variabilidad en el peso impacta de manera directa en la rentabilidad, calidad percibida por el cliente, y sostenibilidad del proceso. Por ello, se planteó el uso de la metodología Six Sigma bajo el enfoque DMAIC, con el objetivo de identificar las causas raíz, implementar acciones correctivas y establecer controles estandarizados que aseguren una producción confiable, eficiente y económicamente viable.

OBJETIVO GENERAL Y OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Objetivo general: Aplicar la metodología Six Sigma para reducir la variabilidad en el peso de las piezas de aluminio manufacturadas en GB durante el segundo semestre de 2024, como estrategia de mejora en la reducción de costos en productos de aluminio que se proveen.

Objetivos específicos: 1) Definir y comprender el problema y sus implicaciones económicas; 2) Medir las variables clave a través de la recopilación y análisis de datos para determinar la magnitud del problema; 3) Analizar los resultados obtenidos para identificar las causas raíz de las variaciones en el peso; 4) Proponer e implementar mejoras efectivas que permitan corregir las variaciones; y 5) Controlar las variables críticas para asegurar que las mejoras se mantengan a lo largo del tiempo.

OBJETO DE ESTUDIO

El objeto de estudio es la gestión administrativa relacionada con la validación del peso y cotización de piezas en GB. La importancia radica en el impacto a la rentabilidad y competitividad de la empresa.

El alcance del proyecto se centrará en las plantas más afectadas por la variación de peso de las piezas, priorizando los clientes y productos que han generado mayor impacto económico. Aunque GB cuenta con varias plantas y cientos de números de parte en su proceso de producción, se define una muestra representativa para la investigación. El objeto de estudio incluye tanto los registros administrativos como los parámetros técnicos del proceso, considerando variables como tolerancias dimensionales, densidad del material, desgaste de moldes y actualización de información técnica. La finalidad es evaluar el desempeño del sistema actual y proponer mejoras sostenibles mediante herramientas de calidad y la metodología Six Sigma, que permitan reducir la variabilidad, optimizar la trazabilidad de los datos y asegurar la consistencia entre la operación productiva y los registros administrativos.

METODOLOGÍA

El enfoque metodológico de esta investigación es cuantitativo, explicativo y aplicado, ya que busca identificar las causas que originan la variabilidad en el peso de las piezas en GB. Este caso afecta directamente la rentabilidad operativa, la calidad del producto, y la satisfacción del cliente.

Se optó por la aplicación de la metodología Six Sigma, utilizando el modelo DMAIC (Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar), reconocido por su enfoque estructurado y orientado a la solución de problemas. Esta metodología permite reducir la variabilidad, identificar causas raíz de defectos, y establecer controles robustos para garantizar mejoras sostenibles. La elección de DMAIC se fundamenta en su capacidad para analizar datos complejos, generar soluciones concretas, y fomentar una cultura de mejora continua tanto en procesos administrativos como productivos (Lakhal y Pasin, 2008).

La investigación se centró en la discrepancia entre el peso real de las piezas y el peso registrado en los sistemas administrativos. Se emplearon herramientas como el diagrama de Ishikawa, el análisis de Pareto y la técnica 5W2H, lo que permitió una evaluación integral del proceso, considerando variables técnicas y humanas como el desgaste de moldes, cambios de ingeniería no comunicados, densidad del aluminio y rotación del personal (Carrasco, 2008).

El presente estudio se basa en un diseño de investigación conocido como *action-research*, acuñado por el psicólogo de origen alemán Kurt Lewin en los años 40 (Lewin, 1946). La investigación-acción (*action-research* o *recherche-action*) es un modo de investigar que combina un proceso de intervención sobre la realidad investigada con la generación de conocimientos nuevos. Se apoya en la idea de que todo lo relacionado con el factor humano y lo social, cuando se convierte en objeto de estudio, presenta una serie de características específicas que necesitan de una metodología diferente de aquella que se ha seguido tradicionalmente en las ciencias “duras” (Carrasco, 2008). En este caso, el tipo de problemas exige soluciones activas que impliquen la colaboración y cooperación de los investigadores y de los miembros que conforman la organización objeto de análisis, como es el caso de la metodología seis sigma (De Mast y Lokkerbol, 2012; Kotter, 2019). Quienes trabajan en el proceso (partes interesadas) y los clientes posteriores al proceso deben estar de acuerdo sobre la idoneidad potencial del proyecto (Montgomery y Woodall, 2008).

El diseño de investigación es no experimental y de corte transversal, ya que las variables no fueron manipuladas deliberadamente, sino observadas en su contexto natural. Se recolectaron datos durante periodos determinados en condiciones reales de operación. Las variables se definieron de la siguiente manera:

Variable Independiente: El proceso de manufactura HPDC.

Variable Dependiente: La variación en el peso de las piezas comparada con los registros en SAP.

Variables Intervinientes: Factores como la densidad del aluminio, desgaste de moldes, cambios de ingeniería y rotación de personal que afectan la consistencia en el peso de las piezas.

Finalmente, el uso de Six Sigma en este estudio se fundamenta también en los trabajos de McClusky (2000), Lin et al. (2008), quienes distinguen claramente el enfoque DMAIC para procesos existentes frente al modelo DMADV para diseño de procesos nuevos.

El estudio se demostró que DMAIC permite definir con claridad el problema, medir con precisión los indicadores críticos, analizar las causas raíz, mejorar con soluciones basadas en evidencia, y controlar con procedimientos que garantizan la sostenibilidad del cambio. La metodología six sigma utiliza dos tipos diferentes de metodologías, DMAIC y DMADV, que tienen como objetivo analizar aspectos complementarios de los procesos de negocio. Las diferencias entre estas metodologías apuntan a alcanzar diferentes sectores de negocio simultáneamente, pero enfocándolos de manera diferente. Esta metodología consta de los siguientes cinco pasos: Definir el problema y los requisitos del cliente; Medir el rendimiento y defectos del proceso; Analizar los datos recopilados y el mapa de procesos para determinar las causas fundamentales de los defectos y las oportunidades de mejora; y Mejorar el proceso mediante el diseño de soluciones creativas para solucionar y prevenir problemas; y Controlar las mejoras para mantener los procesos en el nuevo rumbo (Lin, et al., 2013). Ver tabla 1.

Tabla 1.
Definición de los Procesos de la Metodología DMAIC.

	Procesos clave
Definir	Definir los requisitos y expectativas del cliente Definir los límites del proyecto. Definir el proceso mediante el mapeo del flujo de negocios.
Medida	Medir el proceso para satisfacer las necesidades del cliente, desarrollar un plan de recopilación de datos. Recopilar y comparar datos para determinar problemas y deficiencias.
Analizar	Analizar la causa de los defectos y las fuentes de variación, Determinar las variaciones en el proceso Priorizar las oportunidades de mejora futura
Mejorar	Analizar la causa de los defectos y las fuentes de variación, determinar las variaciones en el proceso y Priorizar las oportunidades de mejora.
Control	Diseño controles: hacer mejoras, implementar y monitorear.

FASES DEL DESARROLLO

Caso de estudio: Control de variabilidad de peso en las piezas de aluminio.

- Definición: Se detectaron inconsistencias entre el peso real y el registrado, generando pérdidas económicas.
- Medición: Se midieron más de 120 piezas con básculas certificadas; se calculó una variación promedio del 11.94%.
- Análisis: Se utilizaron herramientas como el diagrama de Ishikawa y Pareto para identificar causas raíz, destacando fallas en actualización de SAP y cambios no comunicados.
- Mejora: Se implementaron auditorías, capacitaciones y sincronización interdepartamental.
- Control: Se definieron controles mensuales con indicadores de cumplimiento y registros digitales.

Definir (Define): En esta fase, se identificaron los problemas clave relacionados con la variación del peso. Se determinó que esta variación afectaba la planta en San Luis Potosí, especialmente en las piezas de Rack and Pinion, donde el peso registrado no coincidía con el peso real. Esta discrepancia comprometía los márgenes de ganancia debido al incremento del 59% en el costo del aluminio entre 2020 y 2022. Ver figura 1.

Figura 1
Incremento del Aluminio del 2020-2022.

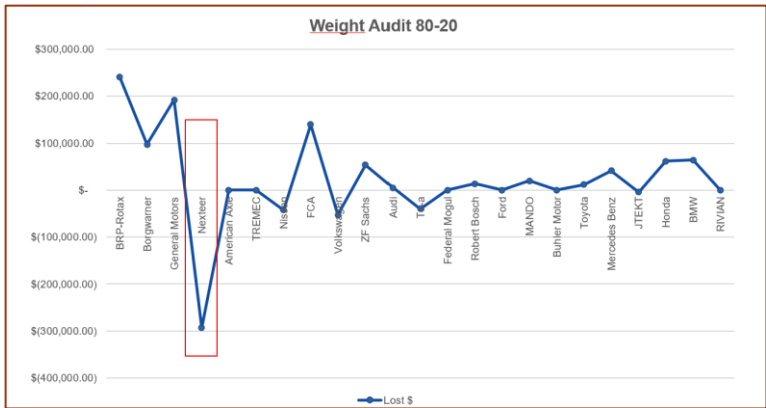


Se utilizó la metodología 5W's y 2H's para estructurar y definir el problema, respondiendo a las preguntas clave:

- What (Qué): Variación del peso en piezas de aluminio.
- Why (Por qué): Discrepancias en los registros de peso.
- Where (Dónde): En la planta de San Luis Potosí.
- Who (Quién): Personal de producción, ventas e ingeniería.
- How (Cómo): Medición incorrecta o cambios de ingeniería no comunicados.
- How Much (Cuánto): Pérdidas acumuladas de \$2,426,000 USD.

Auditoría 80-20: Se identificó esta pieza como crítica al realizar un análisis 80-20 enfocando la investigación en las piezas más impactantes desde el punto de vista económico. Bajo esta metodología se analizaron las piezas de todas las plantas, una vez que se tenía toda la información de cada planta, se realizó el análisis por cliente, llegando así primero a la definición de que el cliente con mayor afectación negativa que teníamos en ese momento era Nr. Una vez definido el cliente, con ayuda de la información que se tenía de cada planta, se determina cuáles eran las piezas que mayor afectación tenían de Nr, llegando a la conclusión de que este proyecto se enfocaría en el Rack and Pinion T3. Figura 2.

Figura 2
Resultados de la Auditoría 80-20 por Cliente.



Medir (measure). Se llevó a cabo un análisis para determinar específicamente cuanto era la variación que se tenía del peso versus lo que estaba pagando el cliente. Figura 3.

Figura 3
Peso Registrado en Sistema del Cliente N.

Base Line Value Add	Weight (Kg)	New Metal Market Price	New Metal Cost	Piece Price (Value add + Metal Cost)	Piece Price Reduction	Price After Discount	Currency Exchange (Convert to USD)	Final Piece Price (USD)	New Base Line for Next Quarter
11.0929	2.5920	2.5690	6.6588	17.7517		17.7517	1.0000	17.7517	11.0929
11.0929	2.5920	2.6533	6.8773	17.9702		17.9702	1.0000	17.9702	11.0929
11.0929	2.5920	3.0489	7.9028	18.9957		18.9957	1.0000	18.9957	11.0929
11.0929	2.5920						1.0000		11.0929
11.0929	2.5920						1.0000		11.0929

Peso total = 2.5920 kg

- 5% dross = .1296 kg

Peso pieza = 2.4624 kg

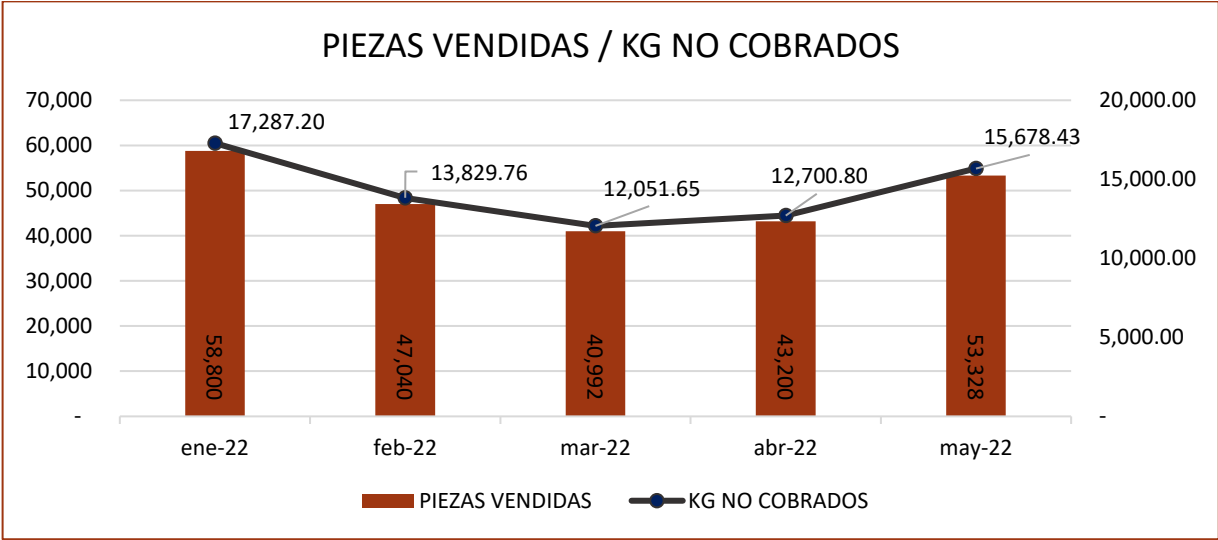
El peso registrado de la PO, considerando el Dross era de 2.4612 Kg, pero, pesando más de 100 piezas maquinadas sin ningún ensamble, se confirmó que el peso real de la pieza era de 2.7545, teniendo así una variación del 11.94%. Tabla 2.

Tabla 2
Resumen Variación Peso Nr contra el Real.

PRODUCT	Peso PO Kgs/pza	Peso Planta Kg/pza	Delta Kg	% Variación	Index 2021- 2023	Index 2024- 2026
Rack and Pinion T3	2.4624	2.7545	-0.2906	11.94%	Variable por trimestre	\$2.59

Una vez confirmada la variación, considerando un Index promedio de \$2.59 del 2024 al 2026, se cuantificó el total de kilogramos de aluminio que no habían sido cobrados debido a discrepancias en los registros de SAP y PO.

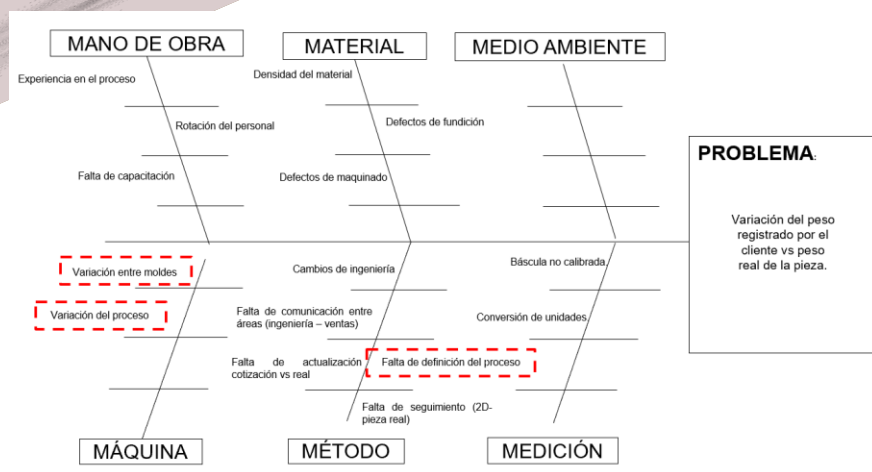
Figura 4
Resumen de Afectación 2024.



Luego, se determinó que la diferencia acumulada en el peso no facturado equivalía a más de 71,000 kg de aluminio durante el período de estudio. La pérdida financiera estimada debido a este aluminio no cobrado ascendió a \$400K USD, considerando el precio promedio del aluminio en el mercado durante el año. Estas mediciones permitieron dimensionar el impacto del problema y justificar la implementación de estrategias correctivas en las fases siguientes del proyecto.

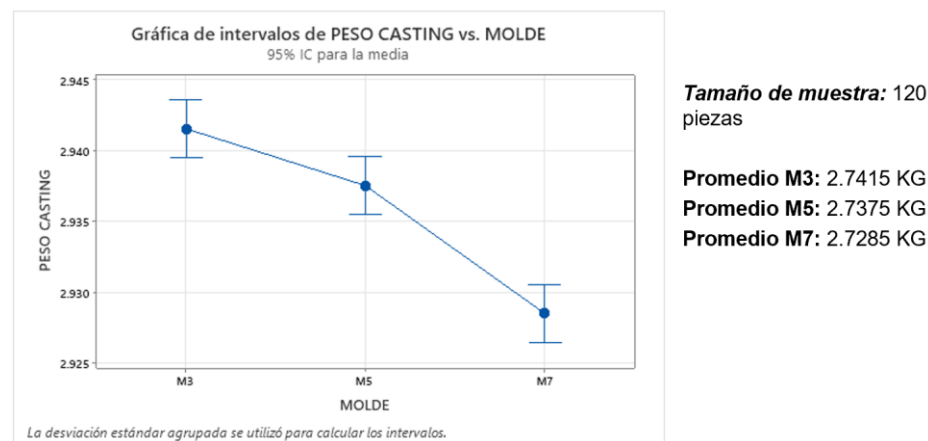
Analizar (Analyze). Con el diagrama de Ishikawa se identificó las posibles causas raíz de la variación, clasificadas en las categorías de máquina, método, material, mano de obra, medición y medio ambiente. El diagrama organiza las posibles causas en categorías (como las 6M: Materiales, Mano de obra, Métodos, Máquinas, Mediciones y Medio ambiente) y las conecta con la "espina dorsal", que representa el problema o efecto principal. Este enfoque facilita la identificación de las causas raíz y permite estructurar el análisis para abordar problemas de manera sistemática (Ishikawa, 1990). Figura 5.

Figura 1
Gráfico de Ishikawa.



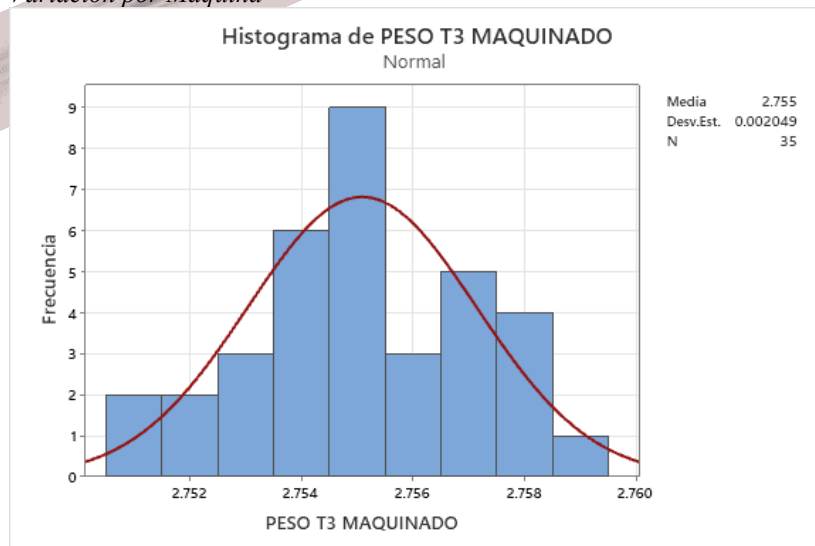
En cuanto al análisis en la máquina y moldes, se recolectaron datos de 120 piezas producidas con distintos moldes (M3, M5 y M7) y se compararon los pesos reales con los registrados en SAP y PO. Se observa que Peso promedio M3: 2.7415 kg; Peso promedio M5: 2.7375 kg; y Peso promedio M7: 2.7285 kg. Donde ocurre una variación promedio entre moldes: 0.45%. se utilizaron básculas calibradas para medir los pesos reales de 120 piezas seleccionadas. Se concluyó que el cambio de molde no afectaba significativamente el cambio del peso de la pieza, por lo que sin importar el molde el peso era constante. Ver figuras 6 y 7 respectivamente.

Figura 6
Variación por Molde.



En cuanto al análisis en el sistema Máquina – proceso, se recolectaron datos de 120 piezas producidas en diferentes máquinas y se compararon los pesos: Peso promedio: 2.755 kg; Peso máximo: 2.759 kg; Peso mínimo: 2.751 kg; Variación promedio por máquina: 0.15%. Los instrumentos que se utilizaron fueron las básculas calibradas se utilizaron para medir los pesos reales de 120 piezas seleccionadas. Como conclusión, el cambio de máquina no afectaba significativamente el cambio del peso de la pieza, por lo que sin importar el molde el peso era constante. Ver figura 7.

Figura 7
Variación por Máquina



Para el análisis Método – definición del proceso, se analizó todo el proceso que se lleva a cabo desde el proceso de cotización hasta el proceso en planta y se encontró con una grave pérdida de información. Previo a que se “gane” un proyecto, cualquier cambio que solicite el cliente e integre ingeniería, debe ser notificado al departamento comercial para que éste evalúe, como afecta el costo/ precio de la pieza. Sin embargo, una vez que se “gana” un proyecto, es muy probable que las piezas sigan teniendo cambios, estos cambios ya no son revisados por el equipo de ingeniería central, sino por el equipo de ingeniería de cada planta a la que le corresponde el proyecto ganado, y el equipo de ingeniería de planta, difícilmente hace las notificaciones correspondientes al equipo comercial, por lo que cualquier cambio o variación de peso que las piezas tengan, ya no es registrado por el área comercial ni de GB ni del cliente. En cada fase se desarrolló con el respaldo de herramientas estadísticas y procedimientos estandarizados.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados de la aplicación de Six Sigma fueron medibles y consistentes en ambas fases del estudio. En la primera fase se logró alinear el peso real de las piezas con el registrado en SAP, lo que representó una recuperación económica estimada en \$400,000 USD y mejoró la trazabilidad interna. El problema identificado en esta investigación consistió en resolver la discrepancia entre el peso real de las piezas fabricadas mediante High Pressure Die Casting (HPDC) y el peso registrado en los sistemas administrativos de GB. Esta variabilidad generaba inconsistencias en la facturación y costos de producción, lo que impactaba directamente en los márgenes de rentabilidad. A través de la implementación de la metodología Six Sigma bajo el enfoque DMAIC, el proyecto logró alcanzar su objetivo, reduciendo la variabilidad del peso a menos del 1% y mejorando la precisión en la facturación del aluminio utilizado.

Estas mejoras validan la efectividad del enfoque DMAIC en contextos administrativos. El principal resultado obtenido fue la reducción de la discrepancia en el peso registrado, lo que permitió una facturación más precisa y una reducción significativa de las pérdidas económicas asociadas al aluminio no cobrado. Esto representó una mejora sustancial en la gestión de costos y una alineación adecuada de los datos administrativos con la producción real.

Como resultado secundario, el proyecto se centró en una sola pieza clave, Rack and Pinion T3 fabricada para un proveedor automotriz. El uso de herramientas como SAP, diagramas de causa-efecto y procedimientos de auditoría cruzada refuerzan la capacidad de Six Sigma como metodología transversal. Además, se estableció una cultura de mejora continua con procedimientos replicables y sostenibles. La investigación demostró que la metodología Six Sigma, aplicada bajo el enfoque DMAIC, es efectiva para mejorar procesos diversos dentro de una empresa automotriz. En GB se logró reducir la variabilidad en peso de las piezas de aluminio y estandarizar procedimientos de control. Queda en evidencia la importancia de contar con datos confiables, equipos interdepartamentales colaborativos y seguimiento estructurado. El uso de herramientas avanzadas y el compromiso organizacional permitieron resolver problemas complejos, consolidar buenas prácticas y generar ahorros económicos significativos. Se recomienda realizar auditorías periódicas de peso en todas las piezas críticas para asegurar la consistencia en los registros y evitar discrepancias futuras. También se sugiere actualizar el software de cotización para integrar automáticamente los datos de peso reales y mejorar la precisión en la determinación de costos. Entre las posibles aplicaciones, las acciones correctivas implementadas pueden replicarse en otras piezas manufacturadas mediante HPDC en GB, mejorando la gestión de costos y la relación con otros clientes. Futuras investigaciones podrían enfocarse en la automatización del control de peso en línea durante la producción y en el uso de inteligencia artificial para predecir y prevenir desviaciones de peso, optimizando aún más el proceso de manufactura y facturación.

CONCLUSIÓN

La presente investigación demostró que la metodología Six Sigma, aplicada bajo el enfoque DMAIC, es una herramienta eficaz para abordar y resolver problemas relacionados con la variabilidad de peso en procesos industriales complejos como la fundición a presión (HPDC). A través del análisis estructurado de datos de producción y registros administrativos, se evidenció una discrepancia significativa entre el peso real de las piezas y el peso documentado en SAP y PPAP, lo cual generaba impactos directos en los costos de producción, la facturación y la rentabilidad operativa de la empresa.

La aplicación rigurosa de las fases de definición, medición, análisis, mejora y control permitió no solo identificar las causas raíz del problema, sino también implementar soluciones orientadas a estandarizar procesos, fortalecer la comunicación interdepartamental y mejorar la trazabilidad de la información crítica. Entre los resultados más relevantes se destaca la reducción de la variabilidad promedio en el peso de las piezas, así como la mejora en la precisión de los datos utilizados para cotización y control de materiales.

En conjunto, esta experiencia valida la utilidad de Six Sigma como una metodología aplicable no solo en el control de calidad del producto, sino también en la optimización de sistemas administrativos vinculados al proceso de manufactura. La estandarización de prácticas, el uso de herramientas estadísticas y el compromiso interfuncional fueron clave para alcanzar resultados sostenibles, replicables y alineados con los objetivos estratégicos de eficiencia y satisfacción del cliente.

BIBLIOGRAFÍA

- American Society for Quality. (2020). *Six Sigma in the Automotive Industry: Case Studies*. ASQ. https://asq.org/quality-resources/articles/case-studies?srltid=AfmBOoqu72C_Ai-s4IKztHZG3eG2sxl80MViDY_S7NS4iFQTYLvwvuz
- Antony, J., Sony, M., Dempsey, M., Brennan, A., Farrington, T., & Cudney, E. (2019). An evaluation into the limitations and emerging trends of Six Sigma: An empirical study. *TQM Journal*, 31(2), 205–221. <https://doi.org/10.1108/TQM-12-2018-0191>.
- Biz M. (2019). Companies that have successfully implemented lean six sigma. Retrieved September 5, 2024, from MBizM: <https://www.mbizm.com/companies-that-have-successfully-implemented-lean-six-sigma/>.
- Breyfogle, F. W. (2003). *Implementing Six Sigma: Smarter Solutions Using Statistical Methods*. John Wiley & Sons. https://www.mdthinducollege.org/ebooks/statistics/Implementing_Six_Sigma.pdf
- Carrasco G.R. (2008). Metodologías para la Investigación en Gestión de Operaciones. Monografía. *E.T.S.I. Industriales (UPM)*, Madrid, España. [oa:oa.upm.es:1143](http://oa.upm.es/1143)
- Davis J.R. (1993). Aluminium and aluminium alloys, in *ASM specially Handbook*, ASM international, Metal Parts, Ohio.
- De Mast, J. and Lokkerbol, J. (2012). An Analysis of the Six Sigma DMAIC Method from the Perspective of Problem Solving. *International Journal of Production Economics*, 139, 604-614. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2012.05.035>
- Garvin, D. A. (1988). *Managing Quality: The Strategic and Competitive Edge*. New York: The Free Press.
- Gejdos, P. (2015). Continuous quality improvement by statistical process control. *Procedia Economics and Finance*, 34, 565–572. [https://doi.org/10.1016/S2212-5671\(15\)01669-X](https://doi.org/10.1016/S2212-5671(15)01669-X).
- Karlsson, C. y Ahlstrom, P. (1996). “The difficult path to lean product development”. *The Journal of Product Innovation Management*, vol.13 (4), pp. 283-95. <https://doi.org/10.1111/1540-5885.1340283>
- Kotter, J. P. (2019). *Leading Change*. Massachusetts: Harvard Business Review Press.
- Lakhal, L., & Pasin, F. (2008). The direct and indirect impact of product quality on financial performance: A causal model. *Total Quality Management*, 19(10), 1087–1099. <https://doi.org/10.1080/14783360802264293>. [Google Scholar](https://scholar.google.com/citations?view_op=view_citation&hl=es&user=9383360802264293)
- Lewin, K. (1946) Action Research and Minority Problems. *Journal of Social Issues*, 2, 34-46. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1540-4560.1946.tb02295.x>
- Lin, C., Chen, F. F., Wan, H. D., Chen, Y. M., & Kuriger, G. (2013). Continuous improvement of knowledge management systems using Six Sigma methodology. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 29(3), 95-103. <https://doi.org/10.1016/j.rcim.2012.04.018>
- Linderman, K., Schroeder, R. G., Zaheer, S., & Choo, A. S. (2003). Six sigma: A goal-theoretic perspective. *Journal of Operations Management*, 21(2), 193–203. [https://doi.org/10.1016/S0272-6963\(02\)00087-6](https://doi.org/10.1016/S0272-6963(02)00087-6).
- McClusky, R. (2000) ‘The rise, fall, and revival of Six Sigma’, *Measuring Business Excellence*, Vol. 4, No. 2, pp. 6-17. <https://www.proquest.com/docview/208744470?sourcetype=Scholarly%20Journals>
- Meredith, J. R., & Mantel, S. J. (2009). *Project Management A Managerial Approach Seventh Edition*. New Jersey: John Wiley & Sons Inc.
- Montgomery, D. C. (2019). *Introduction to Statistical Quality Control*. John Wiley & Sons. <https://www.wiley.com/en-us/Introduction+to+Statistical+Quality+Control%2C+8th+Edition-p-9781119399308>
- Montgomery, D. C., & Woodall, W. H. (2008). An overview of six sigma. *International Statistical Review*, 76(3), 329–346. <https://doi.org/10.1111/j.1751-5823.2008.00061.x>
- Pyzdek, T., & Keller, P. (2018). *The Six Sigma Handbook*. 5th Ed. New York: McGraw Hill.
- Severiche, C. A., Gómez, F. A., & Rodríguez, E. (2018). *Aplicación de Six Sigma en procesos de manufactura*. *Revista Latinoamericana de Ingeniería*.

- Shokri, A., Waring, T. S., & Nabhani, F. (2016). Investigating the readiness of people in manufacturing SMEs to embark on Lean Six Sigma projects: An empirical study in the German manufacturing sector. *International Journal of Operations & Production Management*, 36(8), 850–878. <https://doi.org/10.1108/IJOPM-11-2014-0530>.
- Vidal, M., Celis, J., & García, R. (2018). *Six Sigma en la industria automotriz: Un enfoque práctico*. Revista Iberoamericana de Calidad.
- Voehl, F., Harrington, H. J., Mignosa, C., & Charron, R. (2014). *The Lean Six Sigma Black Belt Handbook Tools and Methods for Process Acceleration*. Florida: CRC Press.
- Zimmermann, H., Müller, K., & Becker, F. (2020). *Lean Six Sigma: Strategies for Process Improvement in the Automotive Industry*. Springer. <https://www.springerprofessional.de/en/lean-six-sigma-for-the-automotive-industry-through-the-tools-and/19890674>

Aplicación para la Gestión de Datos Inteligente

Claudia Yadira Luna Carrasco¹, Cupertino Luna Trejo², Sabdiel Cruz Luna³

¹Tecnológico Nacional de México-Instituto Tecnológico Superior de Huauchinango/claudia.lc@huauchinango.tecnm.mx

²Tecnológico Nacional de México-Instituto Tecnológico Superior de Huauchinango/cupertino.lt@huauchinango.tecnm.mx

³Tecnológico Nacional de México-Instituto Tecnológico Superior de Huauchinango/sabdiel.cl@huauchinango.tecnm.mx

Línea de investigación: Software

Resumen

La aplicación para gestión de datos inteligente *CRUMAR*, es una aplicación orientada a la gestión inteligente de datos en el contexto de una tienda de abarrotes. La solución fue diseñada con el objetivo de optimizar procesos administrativos y operativos mediante el uso de herramientas tecnológicas accesibles y eficientes.

CRUMAR permite llevar un control preciso del inventario, administrar proveedores, registrar movimientos y generar reportes automatizados, facilitando la toma de decisiones basada en datos actualizados y confiables. La aplicación fue construida bajo principios de diseño centrado en el usuario, priorizando la simplicidad en la interfaz y la funcionalidad en cada uno de sus módulos.

Palabras clave: Base de Datos, Gestión, Procedimientos Almacenados.

Abstract (En esta sección se traduce al inglés el resumen anterior)

The *CRUMAR* intelligent data management application is designed for intelligent data management in the context of a grocery store. The solution was designed to optimize administrative and operational processes through the use of accessible and efficient technological tools. *CRUMAR* enables accurate inventory control, supplier management, transaction recording, and automated report generation, facilitating decision-making based on up-to-date and reliable data. The application was built using user-centered design principles, prioritizing simplicity in the interface and functionality in each of its modules.

Keywords: DataBases, Management, Stored Procedures.

INTRODUCCIÓN

En la era digital actual, los datos se han convertido en uno de los activos más valiosos para las organizaciones de todos los sectores. Empresas, instituciones gubernamentales y organizaciones sin fines de lucro generan y gestionan grandes volúmenes de información diariamente. La capacidad de administrar estos datos de manera eficiente y efectiva determina en gran medida el éxito de una organización en el entorno competitivo global.

Sin embargo, la administración de datos tradicional enfrenta numerosos desafíos, como la redundancia de información, la falta de integridad en los datos, problemas de seguridad y dificultades para extraer información valiosa a partir de conjuntos de datos complejos. En este contexto, la administración de datos inteligente emerge como una solución clave para abordar estos desafíos y mejorar la eficiencia operativa y estratégica de las organizaciones.

Para SAP México (2025), los datos son esenciales para las operaciones y el funcionamiento de un negocio. Las empresas deben dar sentido a los datos y encontrar los que son relevantes entre el ruido creado por los diversos sistemas y tecnologías que dan soporte a las economías globales altamente conectadas de hoy. En este sentido, los datos ocupan un lugar central. Por sí solos, los datos son inútiles. Las empresas necesitan una estrategia, gobernanza y modelo de gestión eficaces para aprovechar todas las formas de datos para su uso práctico y eficiente en cadenas de suministro, redes de empleados, ecosistemas de clientes y socios, y mucho más.

Para Oracle (2021), la gestión de datos consiste en recopilar, mantener y utilizar datos de manera segura, eficiente y rentable. El objetivo de la gestión de datos es ayudar a las personas, las organizaciones y las cosas conectadas a optimizar el uso de los datos dentro de los límites de las políticas y normativas, para que puedan tomar decisiones y tomar medidas que maximicen el beneficio para la empresa. Contar con una estrategia de gestión de datos sólida nunca ha sido tan importante, sobre todo ahora que las organizaciones recurren cada vez más a los activos intangibles para crear valor.

Según RedHat (2022), la gestión de los datos es el proceso de recopilación, almacenamiento y uso de los datos que suelen proporcionar los sistemas de software de gestión. Le permite estar al tanto de los datos que posee, conocer su ubicación y propietario, y saber quién puede verlos y cómo se accede a ellos. Permite que las empresas implementen los sistemas y las aplicaciones importantes de manera segura y rentable, y que tomen decisiones estratégicas.

Los sistemas de gestión de datos facilitan que las organizaciones proporcionen información relevante a los usuarios adecuados en el momento preciso. Al incorporar controles efectivos y procesos bien estructurados, estos sistemas permiten obtener análisis valiosos que apoyan la toma de decisiones informadas. Además, son fundamentales para asegurar la protección, disponibilidad y adaptabilidad de los datos empresariales críticos (Silberschatz, Korth & Sudarshan, 2011).

La gestión de datos es fundamental para el funcionamiento eficiente y estratégico de las organizaciones, ya que permite organizar, proteger y analizar grandes volúmenes de información de manera efectiva. Una adecuada gestión de datos mejora la toma de decisiones, incrementa la productividad, y garantiza el cumplimiento de normativas de seguridad y privacidad. Además, proporciona una base sólida para iniciativas de inteligencia empresarial y transformación digital (Laursen & Thorlund, 2016).

De acuerdo con Otto (2011), la gestión de datos no solo respalda las operaciones cotidianas de una organización, sino que también impulsa la innovación y el crecimiento sostenible a largo plazo. Sin una estrategia clara para gestionar sus datos, una organización corre el riesgo de tomar decisiones erróneas, incurrir en pérdidas económicas y quedar rezagada frente a la competencia.

Entonces, por todo lo anterior, la gestión de datos se ha convertido en un pilar crucial para el éxito y competitividad de las organizaciones y los datos representan un recurso estratégico que, si se administra adecuadamente, permite optimizar procesos, pero sobre todo mejorar la toma de decisiones y generar ventajas competitivas que sean sostenibles.

DESARROLLO

OBJETIVO GENERAL Y OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Objetivo General.

Desarrollar una aplicación para la gestión inteligente de datos que apoye la toma de decisiones estratégicas en una tienda de abarrotes, priorizando la eficiencia en el uso de recursos computacionales.

Objetivos Específicos.

Diseñar la estructura de base de datos que sustente el funcionamiento de la aplicación para la gestión inteligente de datos, garantizando eficiencia, integridad y escalabilidad.

Implementar procedimientos almacenados que realicen las operaciones en la Aplicación para la gestión inteligente de datos para la tienda de abarrotes con el fin de fortalecer la seguridad de la base de datos y asegurar el encapsulamiento de las transacciones.

Implementar las capas funcionales necesarias para la aplicación de gestión inteligente de datos, con el propósito de optimizar el uso de los recursos de la base de datos y mejorar la eficiencia del sistema.

OBJETO DE ESTUDIO

El objeto de estudio de este proyecto es el desarrollo e implementación de una aplicación para la gestión inteligente de datos en el contexto operativo de una tienda de abarrotes. Esta aplicación tiene como propósito central facilitar la recopilación, organización, procesamiento y análisis eficiente de la información relacionada con inventarios, ventas, pedidos, proveedores y empleados, con el fin de optimizar la toma de decisiones administrativas y comerciales. Asimismo, se enfoca en el aprovechamiento de tecnologías que permitan minimizar el consumo de recursos computacionales, garantizando un desempeño eficiente, seguro y escalable.

METODOLOGÍA

Para el desarrollo de la Aplicación para la gestión inteligente de datos se optó por la metodología ágil de desarrollo de software Scrum, debido a su enfoque flexible y adaptativo, que la convierte en una alternativa idónea para enfrentar los constantes desafíos y cambios del mercado. En el desarrollo de soluciones tecnológicas modernas, la elección de una metodología adecuada es fundamental para garantizar la calidad, eficiencia y adaptabilidad del producto final. En este contexto, la metodología ágil Scrum ha cobrado gran relevancia debido a su capacidad para responder de manera efectiva a entornos cambiantes y demandas emergentes. Scrum promueve una gestión iterativa e incremental del desarrollo de software, permitiendo entregas continuas y una mejora constante del producto mediante la retroalimentación frecuente del cliente y la colaboración activa del equipo de trabajo (Schwaber & Sutherland, 2020).

Una de las principales fortalezas de Scrum radica en su enfoque centrado en el usuario y en su flexibilidad para ajustar los requerimientos del proyecto durante el ciclo de desarrollo. Este enfoque no solo mejora la satisfacción del cliente, sino que también permite mitigar riesgos de manera temprana y adaptarse rápidamente a nuevas prioridades (Pressman & Maxim, 2020).

Además, al dividir el trabajo en iteraciones cortas denominadas sprints, Scrum facilita la identificación de fallos, el control de calidad progresivo y la incorporación de mejoras constantes, contribuyendo así a la entrega de productos más robustos y funcionales. Este dinamismo resulta especialmente valioso en sectores donde los cambios son frecuentes y la innovación es constante, como en el comercio minorista y la gestión de datos (Highsmith, 2013).

En general, la metodología Scrum no solo optimiza los procesos de desarrollo, sino que también fomenta una cultura de colaboración, transparencia y mejora continua, factores clave para el éxito de proyectos tecnológicos en entornos competitivos.

La metodología ágil Scrum no se estructura en fases como en modelos de metodologías de desarrollo de software tradicionales, sino en un proceso iterativo e incremental compuesto por eventos, roles y artefactos. Sin embargo, dentro de su marco de trabajo, se pueden identificar fases clave o etapas que se desarrollan de forma cíclica en cada iteración (sprint). Estas fases son:

La primera fase se denomina Planificación del Sprint (Sprint Planning) y en esta etapa, el equipo Scrum define qué trabajo se realizará durante el sprint. Se seleccionan elementos del Product Backlog (lista priorizada de funcionalidades) y se trasladan al Sprint Backlog. El equipo acuerda el objetivo del sprint (Sprint Goal) y divide el trabajo en tareas concretas.

Ejecución del Sprint (Sprint Execution) es la segunda fase y en ella el equipo desarrolla las funcionalidades planificadas. Se realizan reuniones diarias (Daily Scrum) para coordinar esfuerzos, identificar obstáculos y ajustar el plan de trabajo.

La siguiente etapa es Revisión del Sprint (Sprint Review), al finalizar el sprint, el equipo presenta el incremento de producto desarrollado a los interesados (stakeholders). Se demuestra el funcionamiento del producto y se recopila retroalimentación para mejorar futuras iteraciones.

La cuarta fase es llamada Retrospectiva del Sprint (Sprint Retrospective), y esta fase se centra en la mejora continua. El equipo reflexiona sobre lo que funcionó bien, lo que no, y cómo pueden mejorar su colaboración y proceso en el próximo sprint.

Por último, Creación del Product Backlog (fase continua), el Product Owner mantiene actualizado y priorizado el Product Backlog, incorporando nuevas funcionalidades, mejoras y cambios según la retroalimentación obtenida durante las revisiones.

Estas fases se repiten en cada sprint, promoviendo una entrega continua de valor, adaptación constante a los cambios y mejora progresiva del equipo y del producto.

FASES DEL DESARROLLO

Para el desarrollo de la Aplicación de Gestión del Mantenimiento de Equipos de Cómputo, se optó por emplear la plataforma Microsoft Visual Studio, haciendo uso del lenguaje de programación C#. Asimismo, se seleccionó Microsoft SQL Server como el Sistema Gestor de Base de Datos, garantizando así una integración eficiente y robusta entre los componentes del sistema.

A continuación, se presentan algunos de los productos generados durante las distintas fases del desarrollo:

Análisis

En esta etapa, entre las diversas actividades realizadas, se definieron los requerimientos funcionales y no funcionales necesarios para el desarrollo de la Aplicación para la Gestión Inteligente de Datos CRUMAR. Esta aplicación fue diseñada específicamente para satisfacer las necesidades operativas de una tienda de abarrotes.

En la Tabla 1 se presentan algunos de los requerimientos funcionales necesarios para el desarrollo de la aplicación CRUMAR, mientras que en la Tabla 2 se detallan los requerimientos no funcionales correspondientes.

Tabla 1.

Lista de Requerimientos Funcionales

CLAVE	NOMBRE	DESCRIPCIÓN
ReqF01	Nuevo Producto	El usuario podrá registrar nuevos productos.
ReqF02	Nueva Venta	El usuario podrá registrar nuevas ventas.
ReqF03	Nuevo Proveedor	El usuario podrá registrar nuevos proveedores.
ReqF04	Nuevo Pedido	El usuario podrá registrar nuevos pedidos.
ReqF05	Nuevo Perfil	El usuario podrá registrar nuevos perfiles, y de acuerdo a los roles establecidos, se le otorgarán los permisos correspondientes.
ReqF06	Eliminar Empleado	El usuario podrá eliminar un empleado existente.
ReqF07	Actualizar Proveedor	El usuario podrá modificar los datos de un proveedor existente.
ReqF08	Listado de Proveedores	El usuario podrá obtener un listado de proveedores, que podrá ser exportado a un archivo .pdf.
ReqF09	Listado de Productos	El usuario podrá obtener un listado de los productos y sus existencias (Inventario), que podrá ser exportado a un archivo .xlsx.
ReqF10	Impresión de Tickets	El usuario podrá realizar la acción de impresión de tickets de las ventas realizadas.

Nota: Fuente propia

Tabla 2.

Lista de Requerimientos No Funcionales

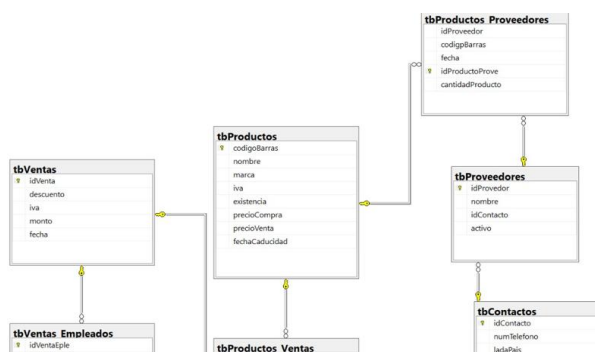
CLAVE	NOMBRE	DESCRIPCIÓN
ReqNF01	Medidas de Seguridad	El sistema debe implementar la seguridad adecuada, como control de acceso, sesiones seguras, protección contra inyecciones SQL y validación de datos, garantizando la integridad y confidencialidad de la información.
ReqNF02	Facilidad de Uso	El sistema debe ser fácil de usar, con un diseño simple y orientado a la experiencia del usuario, minimizando la curva de aprendizaje y permitiendo una interacción fluida y eficiente con la plataforma.

Nota: Fuente propia

Diseño

El primer paso en esta etapa consistió en el diseño de la base de datos, empleando el modelo relacional. Para ello, se definieron las tablas que la integrarían, así como los campos correspondientes a cada una. Posteriormente, se determinaron las relaciones existentes entre dichas tablas, con el fin de asegurar la coherencia e integridad de la base de datos. En la figura 1, se visualizan algunas de las tablas generadas dentro de la base de datos.

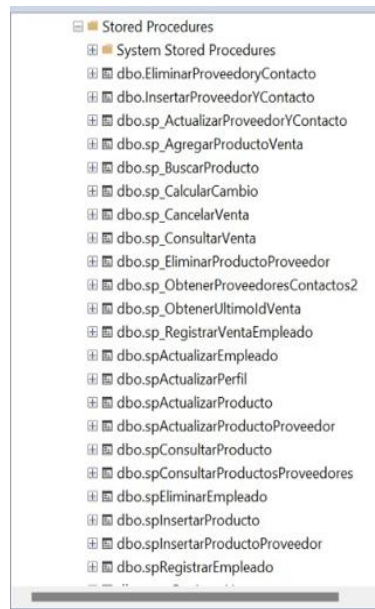
Figura 1
Estructura de la Base de Datos de CRUMAR



Nota: Fuente propia

Una vez concluido el diseño estructural de la base de datos, se procedió a la elaboración de los procedimientos almacenados correspondientes, los cuales fueron desarrollados para dar soporte y respuesta a cada uno de los requerimientos funcionales identificados. Algunos de estos procedimientos se muestran en la figura 2.

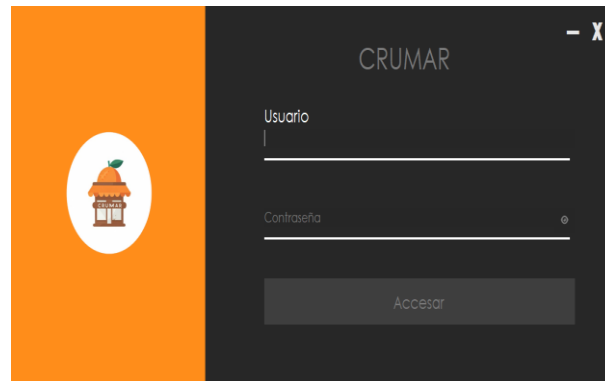
Figura 2
Procedimientos Almacenados de CRUMAR



Nota: Fuente propia

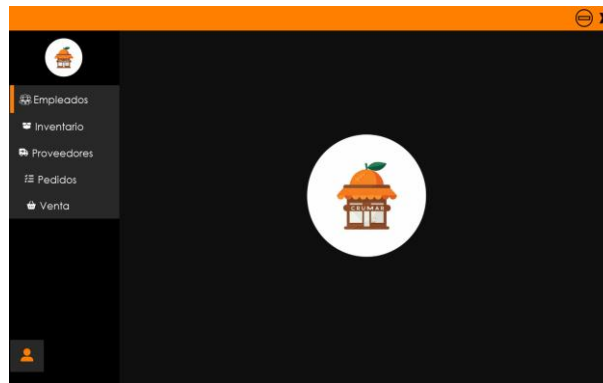
Con el diseño completo de la base de datos, el siguiente paso consistió en la elaboración de las interfaces que serían implementadas en la aplicación CRUMAR. Dichas interfaces fueron concebidas con un enfoque en la simplicidad de uso, priorizando la facilidad de interacción y una experiencia de usuario intuitiva y eficiente. En las figuras 3 y 4 se pueden observar algunas de las interfaces desarrolladas para la aplicación.

Figura 3
Interfaz para Autenticación CRUMAR



Nota: Fuente propia

Figura 4
Interfaz principal CRUMAR



Nota: Fuente propia

En las figuras 5 y 6 se presentan los fragmentos de código correspondientes a algunos de los procedimientos almacenados implementados en la base de datos CRUMAR.

Figura 5
Procedimiento Almacenado para Actualizar Pedidos

```
--ACTUALIZAR PEDIDOS
ALTER PROCEDURE [dbo].[spActualizarProductoProveedor]
    @IdProveedor int,
    @codigoBarras int,
    @fecha date,
    @IdProductoProve int,
    @cantidadProducto int
AS
BEGIN
    IF NOT EXISTS (SELECT 1 FROM tbProductos_Proveedores WHERE idProductoProve = @IdProductoProve)
    BEGIN
        RAISERROR ('El pedido especificado no existe.', 16, 1)
        RETURN
    END
    IF @cantidadProducto IS NULL
    BEGIN
        RAISERROR ('La cantidad de producto es obligatorio', 16, 1)
        RETURN
    END
    IF @cantidadProducto < 0
    BEGIN
        RAISERROR ('La cantidad de producto no puede ser negativa', 16, 1)
        RETURN
    END
    IF @cantidadProducto <= 0
    BEGIN
        RAISERROR ('La cantidad de producto deben ser mayores a 0', 16, 1)
        RETURN
    END
    UPDATE dbo.tbProductos_Proveedores
    SET idProveedor = @IdProveedor,
        codigoBarras = @codigoBarras,
        fecha = @fecha,
        cantidadProducto = @cantidadProducto
    WHERE idProductoProve = @IdProductoProve
END
```

Nota: Fuente propia

Figura 6
Procedimiento Almacenado para Eliminar un Proveedor

```
ALTER PROCEDURE [dbo].[EliminarProveedoryContacto]
    @Idproveedor INT
AS
BEGIN TRY
    BEGIN TRANSACTION;
    -- Primero guardamos el idContacto que necesitamos eliminar
    DECLARE @idContacto INT;
    SELECT @idContacto = idContacto
    FROM tbProveedores
    WHERE idProveedor = @Idproveedor;
    -- Eliminamos referencias en la tabla de productos
    DELETE FROM tbProductos_Proveedores
    WHERE idProveedor = @Idproveedor;
    -- Eliminamos el proveedor
    DELETE FROM tbProveedores
    WHERE idProveedor = @Idproveedor;
    -- Finalmente eliminamos el contacto usando el ID guardado
    DELETE FROM tbContactos
    WHERE idContacto = @idContacto;
    COMMIT TRANSACTION;
END TRY
BEGIN CATCH
    ROLLBACK TRANSACTION;
    THROW;
END CATCH
END;
```

Nota: Fuente propia

Asimismo, se procedió a la codificación de las interfaces gráficas previamente diseñadas, con el objetivo de dotarlas de funcionalidad. En las figuras 7 y 8 se muestran algunos de los módulos y funciones desarrollados para el sistema CRUMAR.

Figura 7
Función agregarProducto CRUMAR

```
1 referencia
public bool agregarProducto(String codigoBarras, string nombre, string marca)
{
    try
    {
        conexion.Open();
        comando.Connection = conexion;
        comando.CommandText = "spInsertarProducto";
        comando.CommandType = CommandType.StoredProcedure;

        comando.Parameters.AddWithValue("@codigoBarras", codigoBarras);
        comando.Parameters.AddWithValue("@nombre", nombre);
        comando.Parameters.AddWithValue("@marca", marca);
        comando.Parameters.AddWithValue("@iva", iva);
        comando.Parameters.AddWithValue("@existencia", existencia);
        comando.Parameters.AddWithValue("@precioCompra", precioC);
        comando.Parameters.AddWithValue("@precioVenta", precioV);
        comando.Parameters.AddWithValue("@fechaCaducidad", fechaCad);

        if (comando.ExecuteNonQuery() != -1)
        {
            return true;
        }
        else
        {
            return false;
        }
    }
    catch (Exception ex)
    {
        MessageBox.Show(ex.Message);
        comando.Parameters.Clear();
    }
    finally
    {
        conexion.Close();
    }
    return false;
}
```

Nota: Fuente propia

Figura 8
Función agregarVenta CRUMAR

```
void btnAgregar_Click(object sender, EventArgs e)
{
    // Validar que el campo de código de barras no esté vacío
    if (String.IsNullOrEmpty(txtCodigo.Text))
    {
        MessageBox.Show("Debe ingresar un código de barras.", "Error", MessageBoxButtons.OK, MessageBoxIcon.Warning);
        return;
    }

    // Validar que la cantidad sea mayor a 0
    if (nuoCantidad.Value == 0)
    {
        MessageBox.Show("La cantidad debe ser mayor a 0.", "Error", MessageBoxButtons.OK, MessageBoxIcon.Warning);
        return;
    }

    // Validar que el precio sea un número válido
    if (!decimal.TryParse(txtPrecio.Text, out decimal precio))
    {
        MessageBox.Show("El precio del producto no es válido.", "Error", MessageBoxButtons.OK, MessageBoxIcon.Warning);
        return;
    }

    // Crear un nuevo DetalleVenta
    DetalleVenta detalle = new DetalleVenta()
    {
        codigoBarras = txtCodigo.Text,
        cantidad = (int)nuoCantidad.Value,
        precioVenta = precio,
        subtotal = (int)nuoCantidad.Value * precio,
        nombre = txtProducto.Text,
    };

    // Agregar el detalle a la lista global
    listaDetalles.Add(detalle);

    // Agregar una nueva fila al DataGridView
    dgvDetalles.Rows.Add(detalle.codigoBarras, detalle.nombre, detalle.cantidad, detalle.precioVenta, detalle.subtotal);
}
```

Nota: Fuente propia

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación, se expone una descripción parcial del funcionamiento de la aplicación para la gestión inteligente de datos CRUMAR. Una vez finalizado el proceso de diseño y completado el desarrollo de la funcionalidad de cada una de las interfaces del sistema. La presentación de esta sección permite evidenciar cómo las interfaces, previamente estructuradas bajo criterios de usabilidad y eficiencia, interactúan con la base de datos y los distintos módulos, dando lugar a una experiencia de usuario integral y operativa.

En primera instancia, se presenta en la figura 9 la interfaz correspondiente al módulo de gestión de inventario (productos). Esta interfaz permite al usuario realizar diversas operaciones esenciales, tales como el registro de nuevos productos, la eliminación de aquellos que ya no se requieran, así como la actualización de la información existente.

Adicionalmente, la interfaz incluye una funcionalidad de búsqueda avanzada que facilita la localización de productos específicos dentro del inventario actual. Dicha búsqueda puede realizarse mediante distintos criterios de filtrado, lo que permite acotar los resultados de forma eficiente. Asimismo, se incorpora la opción de exportar la información mostrada a un archivo en formato Excel, lo cual resulta de gran utilidad para fines de análisis, respaldo o gestión administrativa externa.

Figura 9
Interfaz Productos CRUMAR

Codigo de Barras	Nombre	Marca	Iva	Existencia	Precio de Compra	Precio de Venta	Fecha de Caducidad
1000	Sprite	CocaCola	11	170	40,000	45,000	23/01/2025
1500	Sabrole	RedCola	0	5	12,000	15,000	31/12/2024
2000	Mayonesa	Helmans	9	90	50,000	60,000	10/02/2025
3000	Chiles	La Costena	5	100	8,000	12,000	10/02/2026
4000	Shampoo	Head Shoulders	16	30	40,000	50,000	10/11/2025
5000	Aceite	1-2-3	16	100	35,000	45,000	10/04/2025
6000	Leche	Santa Clara	16	120	23,000	29,000	20/02/2025
7000	Doritos	Sabritas	16	50	12,000	17,000	01/01/2025
8000	Chips	Barcel	16	50	12,000	17,000	22/12/2024
9000	Chokis	Gamesa	16	60	15,000	18,000	10/12/2024
10000	Pan Blanco	Bimbo	16	20	36,000	45,000	30/12/2024

Nota: Fuente propia

En la figura 10 se muestra un ejemplo del archivo en formato Excel que se genera al seleccionar la opción correspondiente dentro de la interfaz de gestión de productos, previamente presentada en la figura 9. Esta funcionalidad permite la exportación automática del inventario de productos, brindando al usuario un recurso adicional para el análisis, la organización y el respaldo de la información almacenada en el sistema.

El archivo generado contiene un registro detallado de todos los productos incluidos en el inventario, presentando de manera estructurada los datos relevantes de cada uno, tales como nombre, código, marca, cantidad disponible, precios, entre otros. Esta herramienta resulta especialmente útil para la elaboración de reportes, auditorías internas y seguimiento de existencias, facilitando la toma de decisiones informadas en la gestión del inventario.

Figura 10
Archivo de Inventario CRUMAR

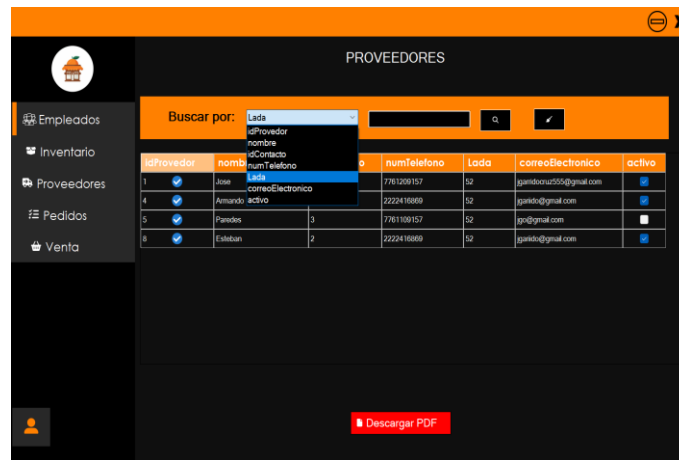
	A	B	C	D	E	F	G	H
1	Codigo de	Nombre	Marca	Iva	Existencia	Precio de	Precio de	Fecha de Cadu
2	1000	Sprite	CocaCola	11	170	40,000	45,000	23/01/2025
3	1500	Sabrole	RedCola	0	5	12,000	15,000	31/12/2024
4	2000	Mayonesa	Helmans	9	90	50,000	60,000	10/02/2025
5	3000	Chiles	La Costena	5	100	8,000	12,000	10/02/2026
6	4000	Shampoo	Head Sho	16	30	40,000	50,000	10/11/2025
7	5000	Aceite	1-2-3	16	100	35,000	45,000	10/04/2025
8	6000	Leche	Santa Clar	16	120	23,000	29,000	20/02/2025
9	7000	Doritos	Sabritas	16	50	12,000	17,000	01/01/2025
10	8000	Chips	Barcel	16	50	12,000	17,000	22/12/2024
11	9000	Chokis	Gamesa	16	60	15,000	18,000	10/12/2024

Nota: Fuente propia

De manera similar al módulo de gestión de productos, la aplicación para la gestión de datos inteligente CRUMAR dispone de una interfaz destinada a la administración de proveedores. Esta funcionalidad permite al usuario realizar operaciones fundamentales como el registro de nuevos proveedores, la actualización de la información de aquellos ya registrados, así como la eliminación y búsqueda de proveedores existentes.

En la figura 11 se ilustra la opción de búsqueda dentro de esta interfaz, la cual muestra un listado completo de los proveedores almacenados en la base de datos. Esta lista puede ser segmentada mediante diversos criterios de búsqueda, lo que facilita la localización rápida y precisa de registros específicos. La incorporación de filtros por campos determinados como nombre, contacto o correo electrónico contribuye a una gestión más eficiente de la información, optimizando así los procesos administrativos relacionados con la cadena de suministro.

Figura 11
Interfaz Proveedores CRUMAR



Nota: Fuente propia

Al igual que en el módulo de gestión de productos, la interfaz de proveedores incorpora la opción de descarga del listado de registros almacenados (véase figura 12). Sin embargo, a diferencia de la funcionalidad implementada para los productos, donde el archivo se exporta en formato de hoja de cálculo (Excel) con el propósito de permitir posteriores manipulaciones o análisis de datos, en el caso de los proveedores, la exportación se realiza en formato PDF.

Esta diferencia en el tipo de archivo responde a las necesidades específicas de cada módulo. En el caso de los productos, se prevé que el listado pueda ser utilizado para realizar diversas operaciones, tales como cálculos, clasificaciones o ajustes en los inventarios. Por el contrario, para los proveedores, el archivo PDF cumple una función principalmente informativa, actuando como un reporte formal que consolida la información esencial, permitiendo su consulta o impresión sin necesidad de modificaciones posteriores. Esta decisión de diseño fortalece la claridad y utilidad de cada módulo dentro de la aplicación, atendiendo a los distintos propósitos operativos que cumplen.

Figura 12
Listado de Proveedores CRUMAR

TIENDA DE ABARROTES CRUMAR Santa Dora, Juan Escutia Teléfono: (776) 120-9157 Email: contacto@tuempresa.com						
LISTADO DE PROVEEDORES						
Fecha: 13/06/2025 10:04						
idProveedor	nombre	idContacto	numTelefono	Lada	correoElectronico	activo
1	Jose	1	7761209157	52	jgarridocruz555@gmail.com	True
4	Armando	2	2222416869	52	jgarrido@gmail.com	True
5	Paredes	3	7761109157	52	jgo@gmail.com	False

Nota: Fuente propia

CONCLUSIÓN

La implementación de la aplicación CRUMAR representa un avance significativo en la gestión de datos inteligente, aplicada al contexto específico de una tienda de abarrotes. A través del desarrollo de una interfaz intuitiva y funcional, respaldada por una base de datos robusta y procedimientos almacenados, se ha logrado optimizar los procesos clave del negocio, tales como el control de inventarios, la administración de proveedores y la generación de reportes.

Esta solución tecnológica no solo mejora la eficiencia operativa y la toma de decisiones, sino que también promueve la digitalización de pequeños comercios, facilitando su adaptación a entornos cada vez más competitivos.

Además, se destaca la integración de formatos de exportación adaptados a las necesidades operativas, como hojas de cálculo para el manejo de productos y archivos PDF para reportes de proveedores, refleja una orientación clara hacia la usabilidad y la practicidad.

Los resultados evidencian una mejora sustancial en la organización y eficiencia del negocio, demostrando que la digitalización de procesos mediante soluciones inteligentes es viable y beneficiosa incluso en pequeñas unidades comerciales.

En suma, CRUMAR se posiciona como una herramienta valiosa para fortalecer la gestión comercial de negocios tradicionales, mediante el aprovechamiento de tecnologías de desarrollo ágil y principios de diseño centrados en el usuario. Su aplicación demuestra el potencial de la inteligencia de datos como un recurso accesible y estratégico para el crecimiento y sostenibilidad de las micro y pequeñas empresas.

BIBLIOGRAFÍA

- Highsmith, J. (2013). *Adaptive Software Development: A Collaborative Approach to Managing Complex Systems*. Addison-Wesley Professional.
- Laursen, G., & Thorlund, J. (2016). *Business Analytics for Managers: Taking Business Intelligence Beyond Reporting*. Wiley.
- Oracle Costa Rica. (14 de mayo de 2021). ¿Qué es la inteligencia de negocio?. Recuperado de <https://www.oracle.com/cr/database/what-is-data-management/#:~:text=Definici%C3%B3n%20de%20gesti%C3%B3n%20de%20datos,los%20requisitos%20de%20cumplimiento%20normativo>.
- Otto, B. (2011). Organizing data governance: Findings from the telecommunications industry and consequences for large service providers. *Communications of the Association for Information Systems*, 29(3), 45–66.
- Pressman, R. S., & Maxim, B. R. (2020). *Software Engineering: A Practitioner's Approach* (9th ed.). McGraw-Hill Education.
- RedHat. (4 de mayo de 2022). ¿Qué es la gestión de datos?. Recuperado de <https://www.redhat.com/es/topics/data-services/what-is-data-management>
- SAP México. (Junio de 2025). ¿Qué es la gestión de datos?. Recuperado de <https://www.sap.com/latinamerica/products/technology-platform/what-is-data-management.html#:~:text=La%20gesti%C3%B3n%20de%20datos%20es,eficiencia%20y%20toma%20de%20decisiones>.
- Schwaber, K. Sutherland, J. (Noviembre de 2020). *La Guía de Scrum. La guía definitiva de Scrum: Las reglas del juego*. Recuperado de <https://scrumguides.org/docs/scrumguide/v2020/2020-Scrum-Guide-Spanish-Latin-South-American.pdf>
- Scrum, (27 de septiembre de 2024). What is Scrum?. Recuperado de <https://www.scrum.org/learning-series/what-is-scrum/what-is-scrum>
- Silberschatz, Abraham., Korth H., Sudarshan S. (2019). *Fundamentos de Bases de datos*. McGraw-Hill.España.

Aplicación de realidad aumentada para divulgación de las especies que habitan la Laguna de las Ilusiones

Lizbeth Robles Hernández¹, Erika Yunuen Morales Mateos², Oscar Alberto González González³

¹Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, e-mail: liziobles20@gmail.com

²Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, e-mail: erika.morales@ujat.mx

³Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, e-mail: oscar.gonzalez@ujat.mx

Línea de investigación: Software

Resumen

Las aplicaciones móviles son parte esencial de la vida cotidiana de las personas que poseen un dispositivo móvil y acceso a internet, por lo tanto, es el medio principal al que acuden para aprender algo nuevo o informarse de algún tópico en específico. En el presente proyecto se desarrolla una aplicación móvil que implementa la realidad aumentada para la difusión cultural de especies que habitan en el ecosistema de la Laguna de las Ilusiones, ubicado en Villahermosa, Tabasco, México. El propósito es dar a conocer especies locales mediante el uso de una aplicación móvil que integra modelos 3D en un entorno real. También se difunden las problemáticas y amenazas que presenta esta reserva ecológica, lo cual impacta directamente a la fauna que habita en el lugar. La aplicación se llevó a cabo siguiendo la metodología Scrum, donde la fase de su desarrollo se dividió en análisis, diseño, construcción e implementación. Se hizo una investigación ardua de mano de investigadores y biólogos que proporcionaron la información necesaria para el desarrollo de la aplicación. El uso de la realidad aumentada como herramienta educativa es ideal para la divulgación cultural, el cual se aplica de una manera interactiva e inmersiva. Se concluye que esta tecnología contribuye a una mejor comprensión de temas importantes como la conservación ecológica de los ecosistemas.

Palabras clave: Aplicación Móvil, Ecosistema, Realidad Aumentada, Tecnología.

Abstract

Mobile applications are an essential part of the daily life of people who have a mobile device and internet access, therefore, it is the main way to learn something new or get information about a specific topic. This project develops a mobile application that implements augmented reality for the cultural dissemination of species that inhabit the ecosystem of the Laguna de las Ilusiones, located in Villahermosa, Tabasco, Mexico. The purpose is to raise awareness of local species through the use of a mobile application that integrates 3D models in a real environment. It also disseminates the problems and threats presented by this ecological reserve, which directly impacts the fauna that inhabits the place. The application was developed following the Scrum methodology, where the development phase was divided into analysis, design, construction and implementation. An arduous investigation was carried out by researchers and biologists who provided the necessary information for the development of the application. The use of augmented reality as an educational tool is ideal for cultural dissemination, which is applied in an interactive and immersive way. It is concluded that this technology contributes to a better understanding of important topics such as the ecological conservation of ecosystems.

Keywords: Augmented Reality, Ecosystem, Mobile Application, Technology.

INTRODUCCIÓN

La Laguna de las Ilusiones es ícono de identidad cultural de la ciudad de Villahermosa y patrimonio ecológico intangible del estado de Tabasco, representa una reserva natural urbana que guarda las características endémicas naturales propias de Tabasco (Zequeira y Castillo, 2015).

Cuenta con una importancia cultural al ser un espacio de recreación y atractivo turístico. Su importancia ecológica abarca su denominación como zona de refugio de varias especies de animales, con 40 especies de aves, 5 especies de mamíferos y 8 especies de reptiles, aparte de actuar como punto de llegada de aves migratorias. Además de actuar como un regulador del microclima, lo cual lo convierte en un ecosistema importante dentro del ciclo del agua.

Sin embargo, este ecosistema ha presentado varias problemáticas ecológicas de su entorno, como lo es el relleno de sus márgenes, contaminación por aguas negras y desechos sólidos, caza y pesca furtiva de las especies; todo esto desemboca en consecuencias importantes, como el desequilibrio de su ecosistema, la extinción de su flora y fauna silvestre y la pérdida de este espacio de recreación.

Debido a estas amenazas, una de las especies más importantes de la Laguna de las Ilusiones, el manatí, está actualmente catalogado como "vulnerable" por la Lista Roja de la UICN (Barnes, 2022). Los cocodrilos de pantano son también muy vulnerables y están amenazados por la cacería ilegal, la modificación de su hábitat, la reducción de los cuerpos de agua, la contaminación, el exceso de pesca con especies que lo alimentan, además del ataque que reciben de las personas.

Una de las acciones principales a tomar es la concientización de la situación actual de este espacio de recreación. Investigadores, biólogos y profesionistas en el área han recolectado información fundamental, pero que no ha podido ser difundida de manera masiva a la población. Muchas personas no tienen conocimiento sobre la importancia ecológica que tiene la Laguna de las Ilusiones, así como el riesgo que tienen la mayoría de las especies en el hábitat. También se desconoce qué tipo de especies habitan en el espacio.

Parte de lo que es la preservación ambiental de la laguna es la difusión y divulgación de las investigaciones que han hecho investigadores y biólogos especializados, y que sobre todo sea de información pública para la población. Esta información puede ser divulgada utilizando tecnología de vanguardia, que tenga como enfoque a diferentes generaciones poblacionales. Mayormente se utiliza un portal web para seccionar toda la información investigada, de esta forma hay un fácil acceso para cualquier persona que cuente con internet y un dispositivo tecnológico.

Debido a esta evolución tecnológica, ya no hay un solo método para aplicar en la enseñanza y aprendizaje de conocimientos. Una herramienta que ha causado mucho de qué hablar es la Realidad Aumentada.

La *Realidad Aumentada (RA)* amplía las imágenes de la realidad, a partir de su captura por la cámara de un equipo informático o dispositivo móvil avanzado que añade elementos virtuales para la creación de una realidad mixta a la que se le han sumado datos informáticos (Fombona, Sevillano, Ángeles y Madeira, 2012).

Esta herramienta puede ser utilizada para proyectos de divulgación que implementa modelos o imágenes 3D que se visualizan en tiempo real y en espacios reales, lo cual hacen que la experiencia sea más dinámica e interactiva.

El uso de esta tecnología puede ayudar a divulgar la investigación que se ha realizado sobre las especies de la laguna, además de interactuar con los modelos 3D realistas de cada especie. Esto hace que la experiencia del usuario sea más inmersiva e interesante, además de que concientizamos sobre el cuidado de cada especie que habita en el ecosistema.

DESARROLLO

OBJETIVO GENERAL Y OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Objetivo general

Desarrollar una aplicación móvil de realidad aumentada para la difusión cultural de las especies que habitan en el ecosistema de la Laguna de las Ilusiones, ubicada en Villahermosa, Tabasco, México.

Objetivos específicos

- Investigar e identificar las especies distintivas que habitan en la Laguna de las Ilusiones.
- Diseñar modelos 3D a través de Blender de las especies seleccionadas.
- Construir una interfaz accesible y amigable con el usuario para el manejo de la aplicación.
- Implementar realidad aumentada para dar interactividad en la aplicación.

OBJETO DE ESTUDIO

La realidad aumentada como herramienta de educación, aprendizaje y difusión tiene la capacidad de transmitir visualmente conceptos abstractos y presentar información 3D en contexto con objetos reales (Westerfield, Mitrovic, y Billingham, 2015). Esta tecnología nos permite dar un enfoque más interactivo y dinámico a la hora de difundir conocimiento, ya que podemos interactuar con el entorno combinando elementos virtuales y reales.

La realidad aumentada ha sido usada para la explicación y la enseñanza de diversos tópicos, entre ellos está el medio ambiente y su cuidado, así como las especies que habitan en cada ecosistema. Actualmente existen varias aplicaciones móviles enfocadas en la interacción con modelos 3D en planos físicos, además de contar con información complementaria sobre lo que se está mostrando.

Según las Naciones Unidas (2023) el 78% de la población mundial de diez años en adelante tiene un teléfono celular y más del 65% usa el internet. Por lo tanto, la mayoría de las personas se informan a través de sus dispositivos móviles, usando aplicaciones como las redes sociales.

El ámbito de las aplicaciones móviles ha sido cada vez más rentable, sobre todo cuando se usan tecnologías emergentes como la realidad aumentada. Suele ser una señal de innovación y avance, lo que hace que sea más llamativo para las personas que buscan aprender e informarse. Aplicar la RA puede ayudar a que la difusión cultural de las especies y ecosistemas sea más visual y agregue interactividad en el uso de las aplicaciones móviles, por lo que la concientización del tema puede ser más entendible para los usuarios.

METODOLOGÍA

La metodología Scrum, según la definición de Schwaber y Sutherland (2020), es un marco de trabajo liviano que ayuda a las personas, equipos y organizaciones a generar valor a través de soluciones adaptativas para problemas complejos. También mencionan que Scrum emplea un enfoque iterativo e incremental para optimizar la previsibilidad y controlar el riesgo.

En Scrum se van realizando entregas regulares y parciales del trabajo final, de manera prioritaria y en función del beneficio que aportan dichas entregas a los receptores del proyecto (Ramos, Cavadas & Horcajada, 2024).

Esta metodología es flexible y óptima en los proyectos de desarrollo de software, móvil o cualquier proyecto de tecnología. Permite a los equipos responder de forma más rápida ante los requisitos cambiantes, sin permitir que los costos o los presupuestos se desborden (AWS, 2024).

La metodología Scrum es importante en el desarrollo de software por los siguientes motivos: tiene la capacidad de mantener la calidad en situaciones que plantean desafíos, hay un mayor rendimiento de la inversión, promete tener equipos más felices y productivos, en el que se crea un entorno de apoyo y confianza, por último, las métricas relevantes mejoran las estimaciones (AWS, 2024).

Una metodología Scrum funciona gracias a los miembros del equipo que conforman el proyecto. Schwaber y Sutherland (2020) definen un Scrum Team, el cual está conformado por un Scrum Master, un Product Owner y los Developers. Los equipos deben ser multifuncionales, además de que son responsables de todas las actividades relacionadas con el producto.

Un Scrum Master es responsable de lograr efectividad, y establece la metodología para que sea comprensible en el equipo, por lo que podemos llamarlos líderes del Scrum; por otra parte, el Product Owner se responsabiliza en maximizar el valor del producto que resulte del equipo, y los Developers son aquellos que crean cualquier aspecto de un Increment que se usa en un Sprint.

El Scrum gira alrededor de sus eventos que hacen posible la planeación y la ejecución de las tareas del equipo. El evento principal es un Sprint, en el cual se asigna una tarea o proceso a realizar dentro de un mes o menos. Para evaluar cada Sprint en el proyecto debe hacerse un Sprint Planning, este ayuda a establecer el trabajo que realizará cada Sprint. El Scrum Team deberá realizar un Daily Scrum, con el fin de inspeccionar el progreso hacia el objetivo de los Sprint.

Para el desarrollo y construcción de este proyecto se implementó la metodología Scrum en todas sus facetas. Se manejaron Sprints para cada etapa de análisis, diseño y construcción de la aplicación de RA. La programación de la aplicación se construyó por módulos, de las cuales se adjuntaron a pequeños Sprints para realizarse en un lapso de tiempo corto. Una vez terminaba un Sprint uno comenzaba inmediatamente, luego de haber evaluado y aceptado el anterior.

FASES DEL DESARROLLO

En esta parte del proyecto se implementaron cuatro grandes etapas de desarrollo para la aplicación móvil de realidad aumentada con enfoque a la difusión cultural de las especies que habitan en la Laguna de las Ilusiones, en Villahermosa, Tabasco. Primero se contempló un análisis para conocer los elementos que tendría la aplicación, después se hizo un diseño general sobre su interfaz y su funcionamiento principal, para concluir con la construcción e implementación de la aplicación de RA, donde se utilizaron diversas tecnologías de programación.

Análisis

Para comenzar con el desarrollo de la aplicación móvil se empezó por la investigación del ecosistema de la Laguna de las Ilusiones, principalmente por las especies que habitan en el lugar.

A partir de la información oficial que proporciona el Ayuntamiento de Centro sobre la laguna y su importancia ecológica, se describe el número y el tipo de especies que habitan en el ecosistema, así como las problemáticas que presenta el hábitat, sus consecuencias y las acciones que se han tomado para salvaguardar esta reserva ecológica.

Parte del análisis e investigación sobre la problemática fue identificar las especies que necesitan ser difundidas para conocimiento de la población. Se consultó a biólogos e investigadores sobre la fauna y sus posibles riesgos ante las consecuencias de contaminación, deforestación y caza.

A partir de un portal web oficial de la Laguna de las Ilusiones, el cual se muestra en la Figura 1, se recaudó información sobre las especies seleccionadas que serían parte de la aplicación móvil de RA, las cuales fueron las siguientes: cocodrilo, manatí, tilapia, bagre, pejelagarto, mojarra y pez diablo.

Para cada especie se investigó sobre sus características generales, su alimentación, su hábitat y algunos datos relevantes que serían de ayuda para el diseño y construcción de la aplicación. Se guardaron fotos y referencias sobre cada especie para su análisis, lo cual ayudó al modelado 3D que fue usado para la realidad aumentada.

Figura 1
Página Web Oficial de la Laguna de las Ilusiones.



Diseño

En la fase de diseño se realizaron bocetos iniciales de la aplicación móvil, haciendo uso de wireframes de baja y alta fidelidad. Además de hacer el diseño de botones de acción, diseño de interfaz de la pantalla de inicio de la aplicación, diseño de elementos visuales llamativos, entre otros. También se realizaron esquemas y diagramas que ayudaron a entender el flujo de interactividad del usuario con la aplicación, como es el caso de los diagramas de flujo. Se aplicaron principios de diseño UX/UI a la hora de construir las interfaces y botones.

La experiencia de usuario UX/UI

La *experiencia de usuario (UX)* se centra en el usuario, en lo que este quiere hacer con la aplicación móvil o en la pantalla. Nos referimos a la experimentación antes, durante y después de interactuar con la pantalla del dispositivo móvil (Montes, 2021).

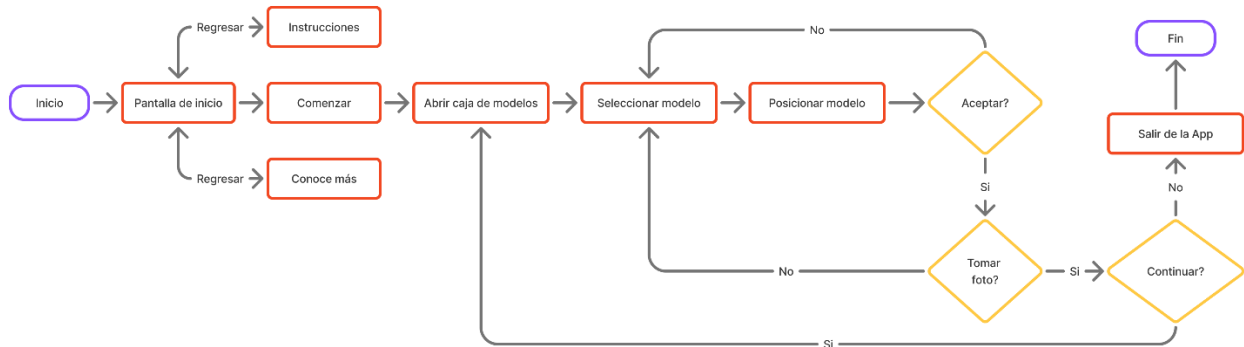
La *interfaz de usuario (UI)* se refiere a la interactividad, la apariencia y la experiencia de usuario de una pantalla de producto o página web. Una UI atractiva sienta las bases para una experiencia de usuario general positiva con un producto digital o sitio web (Figma, 2025).

En esta etapa del diseño se contemplaron las bases para desarrollar y diseñar una buena experiencia de usuario, aplicando principios de usabilidad. Según Figma (2025) la arquitectura de información se utiliza como un modelo visual que define la navegación esencial, la jerarquía del contenido, las funciones y las interacciones.

Una herramienta clave de la arquitectura de información es un diagrama de flujo. Los *diagramas de flujo* ayudan a los equipos a comprender de un vistazo cómo se espera que funcione el producto y dónde hay una deficiencia que pueda requerir funciones o actualizaciones adicionales (Figma, 2025).

Se realizó un diagrama de flujo para visualizar la experiencia de usuario al momento de navegar por la aplicación móvil, el cual se muestra en la Figura 2, teniendo en cuenta que los recuadros en rojo son las acciones o botones con las que puede interactuar el usuario, mientras que los rombos en amarillo son la toma de decisiones que puede hacer el usuario las cuales desembocan en otras acciones, o bien, en repetir una acción pasada, causando algo iterativo.

Figura 2
Diagrama de Flujo de la Aplicación Móvil de RA.



Un wireframe es un esquema visual que representa la estructura de una página web o aplicación móvil. Su propósito es solo definir el contenido y la posición de distintos elementos dentro de una aplicación digital. Esto incluye: navbar, header, botones, imágenes, videos, textos, footer o bloques (Gallegos, 2022).

Dentro de los wireframes vamos a encontrar distintos niveles: baja, media y alta fidelidad. El wireframe de baja fidelidad tan solo representa la estructura de una manera muy sencilla, no especifica estilos, imágenes o textos, tan solo es un bosquejo inicial del diseño, así como se muestra en la Figura 3.

Figura 3

Wireframe de Baja Fidelidad de la Pantalla de Inicio.



Nota: Wireframe de elaboración propia para el diseño de la pantalla principal realizado en Figma.

Mientras tanto, los wireframes de media fidelidad son aquellos a los que todavía se le pueden hacer cambios, ya que aún no es el producto final. Se empieza a diseñar un poco más a detalle las pantallas de usuario, por lo cual hay más claridad para poder realizar los diseños finales. En los wireframes de alta fidelidad se implementa el diseño final del proyecto, a los cuales también se les llama Mockups. Son los que tienen más alto nivel de detalle tanto a nivel de contenido como a nivel visual. Incluso puede considerarse como un primer prototipo del proyecto, antes de su construcción final.

Construcción e implementación

Gracias al proceso de diseño con los diagramas y los wireframes se pasó a la etapa de construcción, donde se decidió qué tecnologías usar para la programación de la aplicación móvil y la implementación de la realidad aumentada. Se definieron conceptos y se describieron los usos dados en cada tecnología, que ayudaron a la construcción final del proyecto.

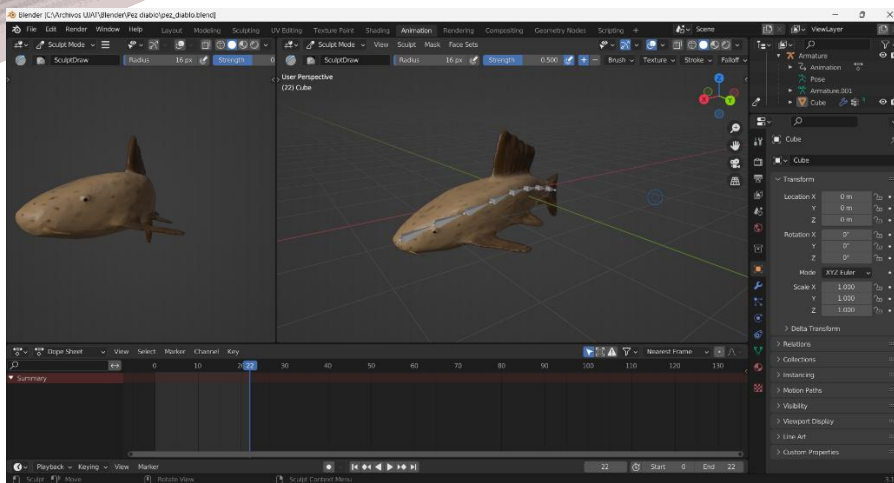
Herramienta usada para la creación de gráficos

Blender es un software de código abierto y gratuito que se utiliza principalmente para la creación de gráficos y animaciones en 3D (Nava, 2024a). Blender es una herramienta esencial para la creación de modelos 3D, el cual es utilizado en diversas ramas de la industria, incluyendo la realidad aumentada.

En base a las especies que se seleccionaron en la etapa de análisis, se hizo un modelo tridimensional de cada uno, tratando de representar sus características visuales más destacables. Se añadió color y algunas animaciones haciendo del modelo más interactivo. En la Figura 4 se muestra un ejemplo del modelado 3D realizado para la aplicación de RA.

Figura 4

Modelado 3D de un Ejemplar de Pez Diablo.



Nota: Elaboración propia de modelado 3D en Blender.

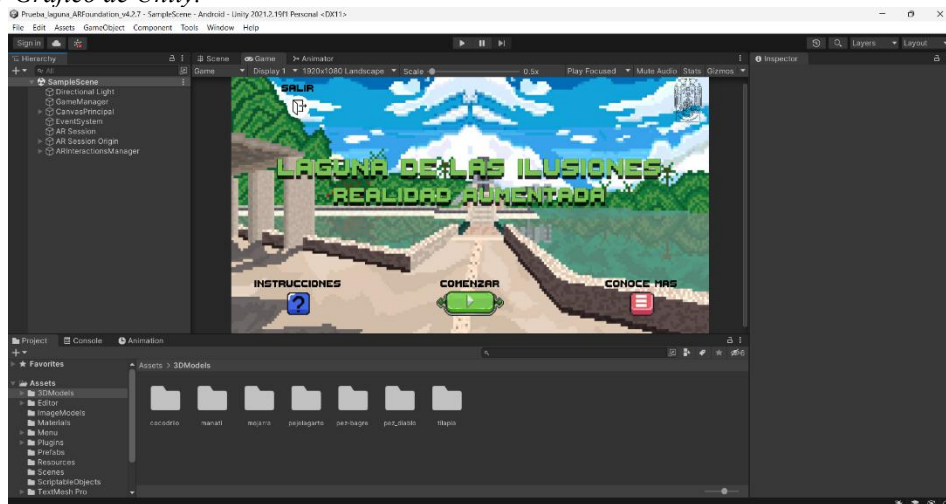
Plataforma para desarrollo de aplicaciones

Unity es un motor gráfico ampliamente utilizado para el desarrollo de videojuegos y otras aplicaciones interactivas en 2D, 3D, realidad aumentada (AR) y realidad virtual (VR) (Nava, 2024b). Esta plataforma nos permite construir aplicaciones móviles de una forma más intuitiva y fácil. Debido a este motor se construyeron todos los módulos necesarios para la aplicación, desde el diseño de la interfaz hasta el funcionamiento interno.

En la Figura 5 se puede observar la interfaz inicial de Unity, donde se diseñó y programó los componentes de la aplicación móvil. En la parte central se encuentra todo lo visual de la app, en la parte izquierda podemos encontrar las escenas y canvases que se aplicaron para cada pantalla, ordenados de manera secuencial. En la parte de abajo se encuentran las carpetas donde se almacenan los assets y los modelos 3D importados, además de los íconos e imágenes necesarios para el apartado visual de la aplicación.

Figura 5

Interfaz Inicial del Motor Gráfico de Unity.



Nota: Fase de programación y construcción de la aplicación de RA.

Entorno de desarrollo integrado

Visual Studio Code, al que conocemos también como VSCode, es un editor de código para programadores gratuito, de código abierto y multiplataforma. Es una herramienta que nos permite editar el texto plano de los archivos de código para programación (García, 2024).

Se utilizó VSCode para la programación de cada uno de los módulos que conforman la aplicación. Se manejaron scripts para el correcto funcionamiento de la interfaz de usuario, así como los botones y paneles de información.

Unity usa el lenguaje de programación C# como lenguaje de principal de creación de Scripts.

Lenguaje de programación

C# es un lenguaje orientado a objetos, derivado de C++ y Java. Los lenguajes orientados a objetos representan la metodología más reciente y exitosa en materia de programación. C# es completamente orientado a objetos (Douglas y Parr, 2010).

C# es más fácil de aprender que C++. Además, es un "lenguaje administrado", lo que significa que administra la memoria automáticamente por ti: asigna y cancela la asignación de memoria, cubre las fugas de memoria, entre otros (Unity, 2025).

Para el desarrollo de la aplicación se crearon 8 scripts utilizando el lenguaje de programación C#, los cuales fueron editados en VSCode. En los scripts se administraron los manejadores de datos, en el que se almacenaron los modelos 3D, por lo tanto, podían ser accionados de acuerdo a la lógica que se programó al código fuente.

Aquí es donde entra la lógica para implementar la RA en la aplicación. Uno de los scripts maneja la interacción y los triggers que hacen posible la visualización de los elementos virtuales en un entorno real.

Framework de RA

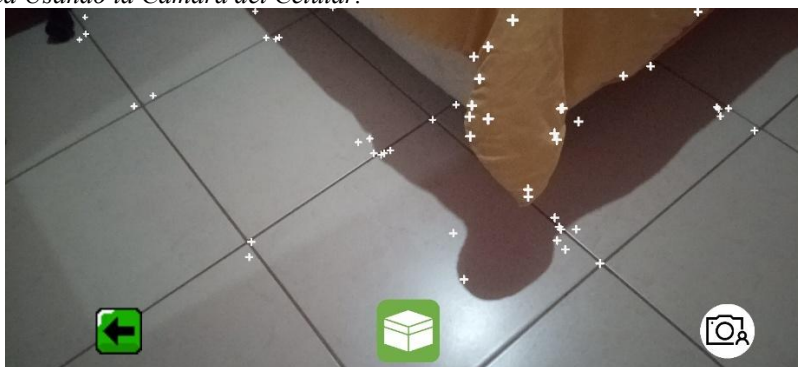
AR Foundation de Unity es un framework multiplataforma que te permite escribir experiencias de realidad aumentada una vez y, luego, compilarlas para dispositivos Android o iOS sin realizar cambios adicionales. El framework está disponible a través del paquete AR Foundation de Unity (Google, 2025).

Para este proyecto se usó la versión 4.2.7 de AR Foundation para el funcionamiento de la realidad aumentada en la aplicación. Utilizando esta herramienta se logró hacer la visualización de los modelos 3D en un área real, usando la cámara de un celular.

Una parte importante del desarrollo y programación de la aplicación era el funcionamiento de esta propiedad. Utilizando AR Foundation se logró hacer un rastreo de un área plana para la colocación del modelo seleccionado. En la Figura 6 se puede observar partículas en forma de cruz, las cuales indican que se está rastreando el área.

Figura 6

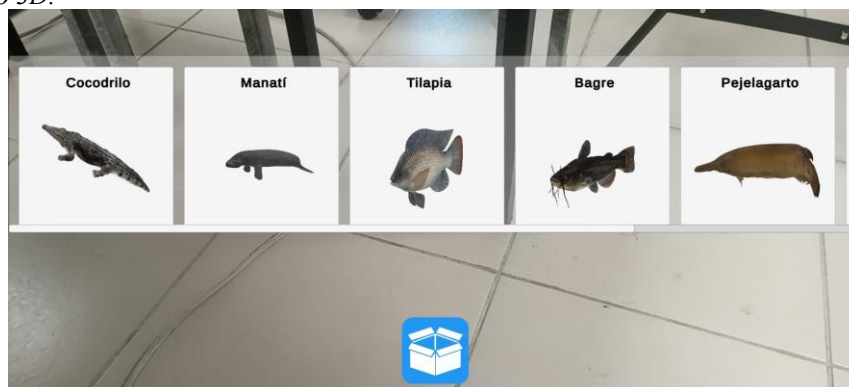
Partículas de Rastreo en un Área Usando la Cámara del Celular.



Como se observa en la Figura 7, se implementó un menú para seleccionar el modelo a posicionar en el área plana. El usuario puede seleccionar cualquier especie que se encuentra desplegado para pasar a la colocación del mismo.

Figura 7

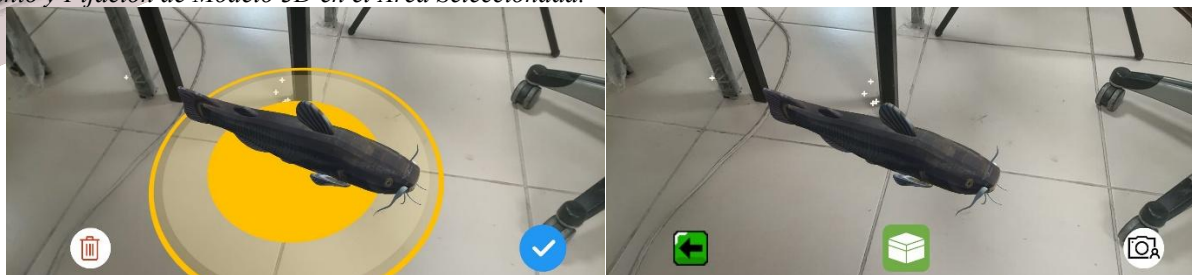
Menú de Selección de Modelo 3D.



En la Figura 8 se puede observar el posicionamiento de uno de los modelos 3D en el área plana seleccionada. Se puede cambiar la posición y la rotación del modelo usando dos dedos en la pantalla. Al momento de posicionar un modelo aparecen dos iconos en la pantalla, uno para eliminar y otro para aceptar el posicionamiento. Se pueden poner uno o más modelos en un mismo espacio. Otra interacción que se puede dar en la aplicación es tomar una foto, que en este caso funciona más bien haciendo una captura de pantalla sin la interfaz, quedando solo la foto con el modelo. Dicha foto puede subirse a alguna plataforma o guardarse en la galería del celular.

Figura 8

Posicionamiento y Fijación de Modelo 3D en el Área Seleccionada.



Todo este funcionamiento fue posible por la implementación de AR Foundation. Una de las ventajas es que puede usarse totalmente gratis y no hay un límite para los targets o modelados a funcionar en RA. Esta herramienta hace posible construir aplicaciones móviles que usen realidad aumentada, dando más interactividad y dinamismo en la experiencia de usuario.

Kit de desarrollo de software

ARCore es el SDK de realidad aumentada de Google que ofrece APIs multiplataforma para crear nuevas experiencias envolventes en Android, iOS, Unity y la Web (Google, s/f).

Para que las propiedades con realidad aumentada funcionen correctamente se debe descargar y activar el SDK de ARCore, un entorno hecho por Google para permitir estas experiencias en nuestros dispositivos móviles. Cuando se construye una aplicación en Unity se debe activar la propiedad de ARCore, para que pueda funcionar correctamente en los celulares.

Además de la interacción con la realidad aumentada en la aplicación móvil, se insertó una sección de “Conoce más” donde el usuario podrá leer e informarse sobre las especies que se encuentran en la Laguna de las Ilusiones. El usuario podrá presionar el ícono de cada especie donde aparecerán los datos característicos de cada uno, así como se muestra en la Figura 9.

Figura 9

Pantalla de la Sección “Conoce más” de la Aplicación de RA.



Nota: La información fue tomada del portal web oficial de la Laguna de las Ilusiones.

Se realizaron múltiples pruebas de rendimiento en diferentes modelos de dispositivos móviles, asegurando el correcto funcionamiento de la aplicación en la mayoría de estos. El proyecto culminó de manera exitosa y la aplicación móvil fue publicada en el portal web oficial de la Laguna de las Ilusiones.

En el apartado web se colocaron las especificaciones técnicas que deberá tener el dispositivo móvil para el correcto funcionamiento de la aplicación. Además, se adjuntaron imágenes que ayuda a previsualizar la aplicación antes de descargarla, de esta manera los usuarios pueden tener una idea de cómo se ve y para qué sirve la aplicación. En la Figura 10 se puede ver un mockup con la versión final de la pantalla inicial de la aplicación.

Para descargar la aplicación se adjuntó un Quick Response (QR) y un enlace, el cual baja inmediatamente la app en formato APK. La aplicación se puede visualizar y descargar en el siguiente enlace activo: <https://laguna-ilusiones.ujat.mx/app-ra.html>

Figura 10

Resultado Final de la Pantalla de Inicio de la Aplicación de RA.



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para la obtención de los resultados de la aplicación móvil de RA se realizaron una serie de pruebas con el fin de testear el funcionamiento de la aplicación, así como evaluar la usabilidad y la experiencia del usuario. Los tipos de prueba que se aplicaron son: pruebas unitarias, pruebas de integración, pruebas del sistema y pruebas de usabilidad.

La *prueba unitaria* es un bloque de código que verifica la precisión de un bloque más pequeño y aislado de código de aplicación, normalmente una función o un método (AWS, s/f).

Esto quiere decir que se debe probar y evaluar las piezas del código más pequeñas, por lo cual ayuda a detectar eficazmente posibles errores en la lógica de los bloques de código. Para este proyecto se verificaron los scripts que conforman cada módulo de la aplicación, probando y asegurando que los métodos y los estados funcionaran correctamente al momento de ejecutar el programa. Una vez culminado esta fase de la prueba, se continuó con las pruebas de integración.

Las *pruebas de integración* son un enfoque de pruebas de software en el que se unen y prueban varios componentes o módulos de aplicaciones para evaluar cómo funcionan juntos. Las pruebas de integración pretenden ayudar a garantizar que estas piezas ensambladas puedan comunicarse entre sí e interactuar con éxito (Powell y Smalley, 2025).

Para esta parte se realizaron varias pruebas de los módulos principales de la aplicación. En la Tabla 1 se desglosan los módulos seleccionados, la integración evaluada y los resultados.

Tabla 1
Resultados Obtenidos de las Pruebas de Integración

Módulo		Integración Evaluada	Resultados
Navegación pantallas	entre	Uso correcto de los botones de acción para navegar entre las pantallas y paneles.	La navegación entre el panel de instrucciones y la pantalla de Conoce más funcionaron eficazmente sin retrasos. También fue posible regresar a la pantalla anterior mediante otro botón de acción.
Carga de datos		Administrar los datos e ítems los cuales incluyen los modelos 3D y la información que se muestra de las especies.	Para la pantalla de Conoce más se muestra la información de cada especie de manera inmediata. Para el menú de las especies se obtiene de forma rápida los nombres e íconos de cada uno.
Detección marcador	de	Detectar las partículas de escaneo del área seleccionada para el posicionamiento de la realidad aumentada.	Se detecta el espacio y objeto cercanos con partículas en forma de cruz de forma casi inmediata. Se tiene que estar moviendo el celular para que se detecte mejor el espacio.
Interacción de RA		Seleccionar del menú los modelos 3D e interactuar con dichos modelos en el área.	Los modelos se muestran inmediatamente luego de ser presionados en el menú. Al tocar el modelo se puede desplazar y rotar en el entorno. Cargar varios modelos a la vez puede ralentizar la aplicación.
Posicionamiento modelo 3D	de	Borrar o dejar el modelo seleccionado y que se mantenga en la posición sin importar apuntar a otra dirección.	El modelo 3D se queda en su posición. Al tocar nuevamente el modelo se puede desplazar o eliminar del espacio.
Captura de pantalla		Tomar foto al presionar el botón indicado y guardar en la galería o ser compartido en otras plataformas.	Al apretar el botón se toma la captura y puede demorar unos milisegundos. La foto no se guarda automáticamente en la galería del celular, pero se puede compartir entre plataformas.

Las *pruebas de sistema* buscan probar el sistema en su conjunto y con otros sistemas con los que se relaciona, con el fin de verificar que las especificaciones, tanto técnicas como funcionales, se cumplen (Velasquez et al, 2019).

Para este tipo de prueba se verificaron varios puntos importantes para el funcionamiento de la aplicación:

1. La aplicación puede funcionar en versiones posteriores a Android Oreo (8.1).
2. Solo está en funcionamiento para dispositivos Android, dejando atrás al sistema operativo iOS.
3. Cualquier dispositivo menor a 4GB de RAM puede presentar problemas de rendimiento.
4. Los dispositivos móviles deben ser compatibles con ARCore para el funcionamiento de la RA.
5. La carga de arranque de la aplicación es de poco menos de cuatro segundos.

Las *pruebas de usabilidad* son una forma de medir que tan bien puede una persona usar un objeto hecho por el hombre, como puede ser una página web, una interfaz de usuario, un documento o un dispositivo (Rueda, 2008).

Esta prueba es una de las más importantes para saber si un proyecto realmente cumplió con su objetivo y brindó los resultados esperados. Al construir cualquier propiedad siempre debe tomarse en cuenta la experiencia del usuario, y la manera en que este va a interactuar con el producto final.

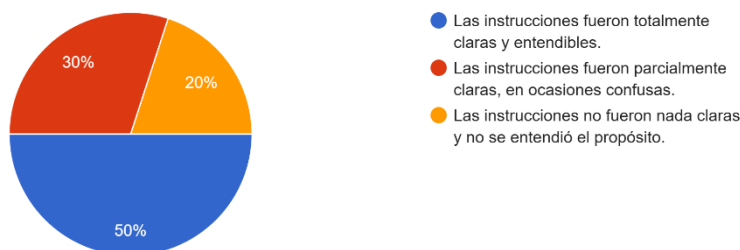
Para la realización de esta prueba, se seleccionaron diez usuarios pertenecientes a la División Académica de Ciencias y Tecnologías de la Información de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, los cuales interactuaron con la aplicación de RA por primera vez. Al terminar de probar la aplicación se les envió una encuesta de Google Forms para saber sus opiniones y sugerencias acerca de la usabilidad de la aplicación móvil.

Se seleccionaron tres principales preguntas de la prueba de usabilidad. La primera fue “¿Las instrucciones para usar la aplicación fueron claras?”. En la Figura 11 se puede observar la gráfica obtenida de esta respuesta, donde cinco personas entendieron bien las instrucciones, tres entendieron de manera parcial y dos señalaron que no fueron nada claras.

Figura 11

Gráfica del Entendimiento de las Instrucciones de la Aplicación.

¿Las instrucciones para usar la aplicación fueron claras?
10 respuestas

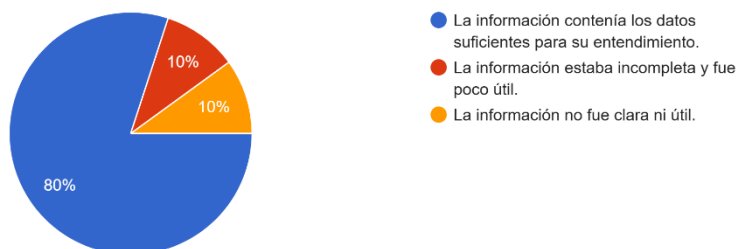


La segunda pregunta fue “¿La información de las especies fue clara y útil?”. Aquí se verifica si los usuarios consideraron si había información suficiente de cada especie y su claridad. En la Figura 12 se puede apreciar que a ocho personas les pareció que contenía los datos suficientes y eran claros, una persona le pareció información incompleta y poco útil y una persona consideró que no fue clara ni útil.

Figura 12

Gráfica Para Evaluar la Claridad de la Información de las Especies.

¿La información de las especies fue clara y útil?
10 respuestas

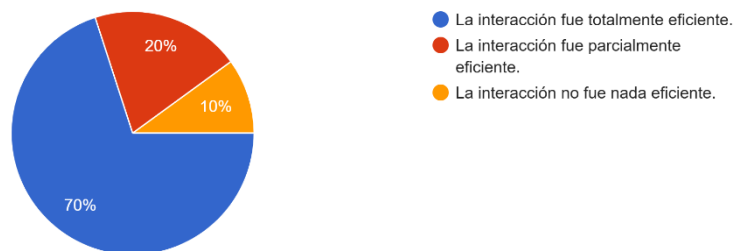


La tercera pregunta fue “¿La interacción con la realidad aumentada fue eficiente?”. En esta pregunta se puede verificar si realmente la implementación de la realidad aumentada en la aplicación fue la mejor. En la Figura 13 se puede observar que siete personas consideraron que la interacción de la RA fue eficiente, mientras que dos personas consideraron que fue parcialmente eficiente, solo una persona consideró que no fue eficiente.

Figura 13

Gráfica de la Interacción de la Realidad Aumentada.

¿La interacción con la realidad aumentada fue eficiente?
10 respuestas



De acuerdo a los resultados obtenidos se logró analizar los errores a corregir y los aspectos a mejorar para la aplicación móvil de RA. La mayoría de las personas encuestadas quedaron satisfechas con los resultados obtenidos de la aplicación. Las pruebas realizadas fueron de mucha ayuda a la hora de construir el proyecto, analizando así desde el bloque de código más pequeño hasta el módulo más esencial del funcionamiento de la aplicación.

CONCLUSIÓN

El objetivo general del proyecto se cumplió con éxito, siguiendo paso por paso las fases de desarrollo para lograr construir la aplicación. Se logró la implementación de la realidad aumentada en el proyecto, además de cumplir el propósito de difundir las especies que habitan en el ecosistema de la Laguna de las Ilusiones. La aplicación móvil se lanzó de manera oficial en la página web de la laguna, donde actualmente se puede visualizar y descargar para su uso en los dispositivos móviles.

Realizar proyectos de este tipo enfatiza en el desarrollo de las tecnologías emergentes. Cada vez es más relevante estar a la par con las tendencias tecnológicas, ya que es lo que los usuarios suelen recurrir y seguir. La importancia de la realidad aumentada va más allá de una simple herramienta, es un medio que nos permite explorar y combinar lo virtual con lo real. Esta tecnología se usa en varios campos de la industria, donde incluso puede ser relevante para capacitaciones profesionales en empresas.

Aplicando la realidad aumentada se pudo cumplir con los objetivos del proyecto, dando difusión cultural de las especies de una manera más interactiva e interesante. Aún hay varias actualizaciones que se pueden realizar a la aplicación móvil, como adaptarlo a otros sistemas operativos como iOS. Se pueden realizar más modelos 3D de otro tipo de especies que habiten en la Laguna de las Ilusiones y así tener mucha más variedad de animales que pueden ser visualizados con realidad aumentada. La sección de datos relevantes de las especies puede construirse de manera más interesante y con mejor interfaz de usuario.

Hay muchas oportunidades en el campo de la realidad aumentada. Dar un buen uso de esta tecnología puede llevar a resultados favorecedores y proyectos relevantes en la industria. Cada vez es más común usarlo para aprender de una manera más interactiva e inmersiva, información que antes se aprendía de forma más tradicional. Las grandes empresas ya han implementado esta tecnología en sus productos, por lo que le espera un gran futuro en la era de innovación.

BIBLIOGRAFÍA

- AWS. (2024). *¿En qué consiste Scrum?*, Amazon Web Services. Recuperado de: <https://aws.amazon.com/es/what-is/scrum/>
- AWS. (s/f). *¿Qué son las pruebas unitarias?*, Amazon Web Services. Recuperado de: <https://aws.amazon.com/es/what-is/unit-testing/>
- Barnes, E. (2022). *5 cosas que quizá no sabes sobre los manatíes*. World Wildlife Fund. <https://www.worldwildlife.org/descubre-wwf/historias/5-cosas-que-quiza-no-sabes-sobre-los-manaties>
- Douglas, B. & Parr, M. (2010). *C# para estudiantes*. Pearson Educación. Primera Edición. Recuperado de: <https://profesorezequielruizgarcia.files.wordpress.com/2013/08/c-sharp-para-estudiantes.pdf>
- Figma (2025). *¿Cuál es la diferencia entre UI y UX?*, Figma. Biblioteca de Recursos. Recuperado de: <https://www.figma.com/resource-library/difference-between-ui-and-ux/>
- Fombona Cadavieco, J., Pascual Sevillano, M. Á., & Ferreira Amador, M. F. M. (2012). *Realidad Aumentada, Una Evolución De Las Aplicaciones De Los Dispositivos Móviles*. Pixel-Bit. Revista de Medios y Educación, (41),197-210. ISSN: 1133-8482. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=36828247015>
- Gallegos, R. (2022). *¿Qué es un Wireframe en Diseño UX/UI?*, GLUO. Recuperado de: <https://www.gluo.mx/blog/que-es-un-wireframe-en-diseno-ux-ui>
- García de Zúñiga, F. (2024). *¿Qué es Visual Studio Code y cuáles son sus ventajas?*, Arsys. Recuperado de: <https://www.arsys.es/blog/que-es-visual-studio-code-y-cuales-son-sus-ventajas>
- Google. (2025). *Comienza a usar AR Foundation*. ARCore Google Developers. Recuperado de: <https://developers.google.com/ar/develop/unity-arf/getting-started-ar-foundation?hl=es-419>
- Google. (s/f). *ARCore*. Google for Developers. Recuperado de: <https://developers.google.com/ar?hl=es-419>
- Montes Serrador, A. (2021). *Diseño de apps: ¿Qué es UX, UI y IxD?*, YEEPLY. Recuperado de: <https://yeePLY.com/blog/disenio/disenio-de-apps-moviles-ux-ui-ixd>
- Naciones Unidas. (2023). *Más del 75% de la población mundial tiene un teléfono celular y más del 65% usa el internet*. Noticias ONU. Asuntos económicos. Recuperado de: <https://news.un.org/es/story/2023/12/1526712>
- Nava, J. (2024b). *¿Qué es Unity y para qué sirve este motor gráfico*. Empower Talent. Recuperado de: <https://empowertalent.com/que-es-unity/>
- Nava, J. (2024a). *¿Qué es blender? sus usos y beneficios*. Empower Talent. Recuperado de: <https://empowertalent.com/que-es-blender/>
- Powell, P. & Smalley, I. (2025). *¿Qué son las pruebas de integración?*, IBM. Recuperado de: <https://www.ibm.com/es-es/think/topics/integration-testing>
- Ramos, A., Cavadas, D., & Horcajada, L. (2024). *Cómo aplicar la metodología Scrum y qué es el método Scrum*. APD. Recuperado de: <https://www.apd.es/metodologia-scrum-que-es/>
- Rueda, A. (2008). *Plan de pruebas detallado sistema de notificación en línea*. Ministerio de comunicaciones: programa “Agenda de Conectividad”. Proyecto Sistema de Notificaciones y Comunicaciones Electrónicas. Recuperado de: https://apps.utel.edu.mx/syllabus/cloud/visor.php?container=O1AP307_1021_597_31272_0&object=Plan_de_Pruebas_tarea4.pdf
- Schwaber, K., & Sutherland, J. (2020). *La Guía de Scrum*. Scrum Guides. Recuperado de: <https://scrumguides.org/docs/scrumguide/v2020/2020-Scrum-Guide-Spanish-Latin-South-American.pdf>
- Velasquez, S. M., Monsalve Sossa, D. E., Zapata, M. E., Gómez Adasme, M. E. & Ríos, J. P. (2019). *Pruebas a aplicaciones móviles: avances y retos*. Lámpsakos, No. 21, pp. 39-50. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/journal/6139/613964508005/html/#B22>
- Westerfield, G., Mitrovic, A., & Billinghurst, M. (2015). *Intelligent Augmented Reality Training for Motherboard Assembly*. International Journal of Artificial Intelligence in Education, 25(1), 157–172.
- Zequeira Larios, C. & Castillo Acosta, O. (2015). *Programa de manejo y conservación de la reserva ecológica Laguna de las Ilusiones*. Villahermosa, Tabasco; México: División Académica de Ciencias Biológicas (DACBIOL), Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (UJAT); Secretaría de Energía, Recursos Naturales y Protección Ambiental (SERNAPAM), Gobierno del Estado de Tabasco. Recuperado de: http://sernapam.tabasco.gob.mx/sites/all/files/sites/sernapam.tabasco.gob.mx/files/Programa_Manejo_LagunaIlusiones.pdf

