

CIENCIA**ICEST**

01

Desarrollo de un resistivímetro controlado a través de una aplicación móvil

02

Diseño, desarrollo e implementación de un control de videojuegos adaptativo para personas con amputaciones utilizando la plataforma esp32 (adaptplay)

03

Evaluación de la eficiencia al personal de servicios de ingeniería y topografía

04

Implementación de exoesqueleto controlado en el área de terapia de rehabilitación de la marcha

05

Página web especializada para la enseñanza aprendizaje acerca de la discalculia con enfoque a niños de nivel básico

1.- Editorial.....	I
2.- Desarrollo de un resistivímetro controlado a través de una aplicación móvil.....	2
3.- Diseño, desarrollo e implementación de un control de videojuegos adaptativo para personas con amputaciones utilizando la plataforma esp32 (adaptplay)	6
4.-Evaluación de la eficiencia al personal de servicios de ingeniería y topografía.....	9
5.- Implementación de exoesqueleto controlado en el área de terapia de rehabilitación de la marcha.....	12
6.- Página web especializada para la enseñanza aprendizaje acerca de la discalculia con enfoque a niños de nivel básico.....	16
7.-Instrucciones para los autores.....	15

Comité Editorial

EDITOR

Ing. Hugo Ortiz González M.C.C.

MIEMBROS DEL COMITÉ EDITORIAL

Ing. Eduardo Cardiel Reyes M.C.C.

Instituto De Ciencias Y Estudios Superiores De Tamaulipas, A. C. Investigador Y Docente De Nivel Superior

Dr. Julio Laria Menchaca SNI nivel I

Universidad Autónoma De Tamaulipas SNI, Doctor En Tecnología Avanzada, Docente E Investigador De Nivel Superior

Dr. Marco Antonio Díaz Martínez

Instituto Tecnológico Superior De Pánuco, SNI-Candidato, Docente - Investigador

Ing. Raul Villareal Piña M.E.

Instituto De Ciencias Y Estudios Superiores De Tamaulipas Docente De Nivel Superior. Especialista En Perforación Petrolera

Ing. Edgar Alberto González Morales M.D.H.D.

Universidad Tecnológica De Altamira - Presidente De Academia En Ingeniería Mecatrónica

Q.F.B. Maria Elena Nava Diguero M.E.

Socio Fundador Del Colegio De Químicos Clínicos De Tamaulipas A.C.

Ing. Ruben Amado Loredó M.I.E.

Universidad Tecnológica De Altamira - Docente De Tiempo Completo - Perfil Deseable PRODEP

Ing. Emilio Rafael Benavides Osorio

Presidente Del Colegio Mexicano De Ingenieros Y Arquitectos A.C.

Directorio

Instituto de Ciencias y Estudios Superiores de Tamaulipas, A. C.

Lic. Carlos L. Dorantes del Rosal, D.E.

Fundador y Rector Emérito

Lic. Sandra L. Avila Ramírez, M.E.

Rectora

Lic. Carlos Dorantes Acosta, M.D.C.

Vicerrector

Lic. María del Socorro Moreno González, M.C.A.

Directora General de Desarrollo Académico

Dra. Mireya Gochicoa Acosta.

Directora de Investigación

Arq. Francisco Alfonso Navarrete Sámano M.A.D.A.

Jefe de carrera de Arquitectura y Diseño gráfico Campus Tampico 2000

Dr. Antonio Jiménez Balderas M.E.

Jefe de carrera Mecatrónica y Sistemas Computacionales Campus Tampico 2000

Dr. Enrique González Sosa M.E.

Jefe de carrera Industrial, Petrolera y Químico Industrial Campus Tampico 2000

Q.F.B. María Elena Nava Diguero M.E.

Jefa de carrera de Químico Farmacobiólogo



Editorial

Estimados lectores:

El Instituto de Ciencias y Estudios Superiores de Tamaulipas, A.C., da la bienvenida al año 2025 reafirmando su compromiso de innovar y mantenerse en constante crecimiento en materia de educación e investigación, compromiso que ha sostenido a lo largo de más de 45 años desde su fundación. En esta edición inaugural de CienicalCEST, presentamos cinco investigaciones que abarcan diversas áreas de gran relevancia, promoviendo la difusión y divulgación del conocimiento:

1. Desarrollo de un resistivímetro controlado a través de una aplicación móvil.
2. Diseño, desarrollo e implementación de un control de videojuegos adaptativo para personas con amputaciones utilizando la plataforma esp32. (adaptplay)
3. Evaluación de la eficiencia al personal de servicios de ingeniería y topografía.
4. Implementación de exoesqueleto controlado en el área de terapia de rehabilitación de la marcha.
5. Página web especializada para la enseñanza aprendizaje acerca de la discalculia con enfoque a niños de nivel básico.

A través de esta publicación, exploramos temas que promueven la difusión del conocimiento y contribuyen al desarrollo científico y profesional, reafirmando nuestro compromiso con la excelencia educativa.

Nos sentimos profundamente agradecidos con todos los autores y colaboradores que han hecho posible esta edición, así como con nuestros lectores, cuyo interés y apoyo fortalecen nuestra misión de generar y compartir conocimiento. Juntos, seguimos impulsando una cultura de investigación que transforma y enriquece a nuestra comunidad.

Respetuosamente
Ing. Hugo Ortiz González M.C.C.
Editor CienicalCEST

Artículo de difusión

Desarrollo de un resistivímetro controlado a través de una aplicación móvil

Cardiel Reyes Eduardo¹, Laria Menchaca Julio², Ponce Flores Mirna Patricia³, Ibarra Martínez Salvador⁴, Castán Rocha José A.⁵, Terán Villanueva Jesús D.⁶, Treviño Berrones Mayra G.⁷, Santiago Alejandro⁸.

Resumen:

Los resistivímetros son instrumentos de gran importancia en las investigaciones geológicas; sin embargo, su precio en el mercado mexicano es bastante elevado. Por ello, este trabajo presenta el desarrollo de un resistivímetro que permite la medición de la resistividad del suelo utilizando diferentes configuraciones.

En el desarrollo del equipo se emplearon componentes de bajo costo. El dispositivo es controlado a través de una aplicación móvil y sus características técnicas son similares a las de los equipos comercializados en el mercado.

Palabras clave: Aplicación móvil, Resistivímetros, Procesamiento de datos, Thingspeak IoT.

Introducción:

En las últimas décadas, los resistivímetros han tenido una amplia aplicación en investigaciones geológicas, principalmente para el desarrollo de mediciones 2D y 3D de la resistividad del suelo. Estos estudios ayudan a resolver problemas frecuentemente enfrentados por los geólogos, tales como el grado de contaminación, su evolución a lo largo del tiempo y la causa del agravamiento del agua subterránea [1].

En el desarrollo de equipos para estudios geológicos, se pueden encontrar dos grupos de dispositivos. El primer grupo incluye equipos que solo miden la corriente y el potencial, y a partir de estos valores calculan la resistividad aparente del suelo. El segundo grupo proporciona una tomografía, ya sea en 2D o 3D, del subsuelo.

Entre los equipos del primer grupo, se encuentra el que se muestra en [2]. En ese trabajo, los autores desarrollaron un equipo para medición geoeléctrica que utiliza un multímetro para medir los valores de la corriente de inyección y la diferencia de potencial. Entre otras características, el equipo tiene un diseño simplificado, es fácil de usar y mantener, y tiene un bajo consumo de energía, lo cual facilitó una mayor duración de las baterías externas. Además, el equipo puede alimentarse a través de un generador eléctrico, una batería de automóvil o corriente alterna.

El equipo presentado por García et al. [3] es similar al propuesto en [2], pero a diferencia de este, se trata de un sistema automático con una fuente de alimentación de corriente continua de mayor voltaje.

Por otro lado, y como parte del segundo grupo de equipos mencionado anteriormente, en [4] el autor describió el proceso de construcción de un equipo electrónico para prospección geológica utilizando tomografía eléctrica. Este equipo es de potencia media y permite realizar estudios a mayor profundidad que los mencionados anteriormente. Además, posee una fuente de alimentación de corriente continua de 500 V que suministra una corriente máxima de 1 amperio. Finalmente, integra un circuito para compensar el potencial natural del subsuelo.

Abstract:

The Resistimeters are instruments of great importance in geological investigations, however, the price of these in the Mexican market is quite high. Therefore, this work shows the development of a Resistimeter that allows the measurement of soil resistivity using different configurations.

Low-cost components were used in the development of the equipment. It is controlled through a mobile application and its technical characteristics are like those of the equipment sold in the market.

Key words: Mobile Application, Resistivimeter, Data processing, Thingspeak IoT.

El proceso de diseño de un resistivímetro de suelos alimentado por baterías, con protección contra sobretensión y cortocircuito, y un circuito generador PWM mediante un microcontrolador ADuC832 de la familia Analog Devices se describe en [5].

El resistivímetro tiene un ADC de resolución de 12 bits y contiene una pantalla y un teclado matricial para configurar los parámetros de entrada. Se comunica mediante una interfaz RS232 con una computadora y un programa escrito en LabVIEW.

Choquehuanca [6] muestra un equipo de prospección geoeléctrica con selección de la frecuencia de operación de la señal cuadrada del generador del inversor.

El equipo cuenta con un módulo de control y procesamiento basado en una tarjeta Arduino Uno, medidores de voltaje y corriente, un circuito compensador de potencial espontáneo y una pantalla.

Sevilla et al. [7] presentaron otro equipo de prospección geofísica en el cual se utilizó un dispositivo programable CY8C29466 de la familia PSoC de Cypress.

El equipo emplea tres botones y una pantalla para la configuración de los parámetros de medición y la presentación de los resultados.

Sin embargo, aunque este tipo de equipos continúa desarrollándose, no se han encontrado diseños en la literatura donde se utilicen aplicaciones móviles.

Además, la adquisición de este tipo de equipos en el mercado es difícil debido a su alto costo.

Por tanto, el presente trabajo muestra el desarrollo de un resistivímetro controlado mediante una aplicación móvil, y en su diseño se utilizaron componentes electrónicos de bajo costo y fácilmente disponibles en el mercado.

Metodología

Para la medición de la resistividad eléctrica, el método más utilizado es la disposición de cuatro electrodos, colocados uno

al lado del otro en línea recta, como se muestra en la Fig. 1.

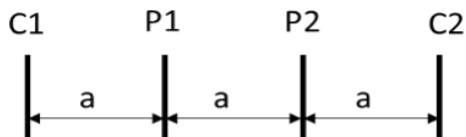


Fig. 1. La distribución de los electrodos en la disposición de cuatro electrodos para la medición de la resistividad del suelo.

En esta disposición de cuatro electrodos, se aplica típicamente una corriente alterna entre los dos electrodos extremos (C1 y C2), y se mide el potencial entre los dos electrodos centrales (P1 y P2). Existen varios métodos de configuración para la disposición de los cuatro electrodos, que difieren en la distancia entre ellos y, por lo tanto, en la forma de calcular la resistividad aparente. Entre estos métodos, los más utilizados son: el método de Wenner, Schlumberger, Wenner-Schlumberger y Dipolo-Dipolo. Estos son también los métodos implementados en el equipo que se presenta en este trabajo.

Método Wenner (alfa)

En este método, la distancia entre los electrodos es igual, como se muestra en la Fig. 1. El cálculo de la resistividad aparente se determina mediante la Ecuación (1).

$$\rho = k(V/I) \quad (1)$$

Donde: ρ es la resistividad aparente en ohmios-metro ($\Omega \cdot m$), I es la corriente eléctrica en amperios (A), V es la diferencia de potencial en milivoltios (mV), k es una constante proporcional a la distancia (a) entre los electrodos, y se calcula como:

$$k = 2\pi a \quad (2)$$

Método Schlumberger

En este método, la distribución de los electrodos es similar a la mostrada en la Fig. 1, pero la distancia entre los electrodos C1-P1 y C2-P2 varía en n veces la distancia a . El cálculo de la resistividad aparente se determina mediante la Ecuación (3)

$$\rho = k(V/I) \quad (3)$$

$$k = \pi a((n+1)^2 - 0.25) \quad (4)$$

$$n = \text{numero}(1, 2, \dots) \quad (5)$$

Método Wenner-Schlumberger

En este método, la distribución de los electrodos y las distancias entre ellos son similares al método Schlumberger, pero la resistividad aparente se determina mediante la Ecuación (6).

$$\rho_a = k(V/I) \quad (6)$$

$$k = \pi n(n+1)a \quad (7)$$

Método Dipolo-Dipolo

En este método, la distribución de los electrodos se muestra en la Fig. 2, y el cálculo de la resistividad aparente se determina mediante la Ecuación (8).

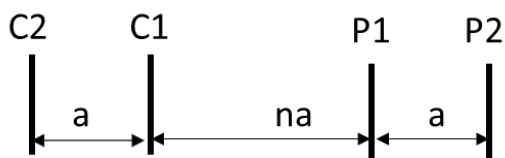


Fig. 2. Distribución de los electrodos en el método Dipolo-Dipolo.

$$\rho = k(V/I) \quad (8)$$

$$k = \pi n(n+1)(n+2)a \quad (9)$$

Para el desarrollo de los circuitos de control, es posible encontrar en el mercado diversas variantes de tarjetas electrónicas de bajo costo. Entre estas tarjetas se encuentran los diferentes modelos de placas Arduino, las placas Raspberry y otras. Sin embargo, entre todas estas opciones, para el desarrollo del equipo se eligió un modelo denominado NodeMCU ESP32.

Esta tarjeta se caracteriza por su bajo consumo, bajo costo y por incorporar un microprocesador Tensilica Xtensa LX6 de doble núcleo con una frecuencia de 240 MHz. Además, entre sus características destacan: conectividad Wi-Fi 802.11, interfaz Bluetooth, memoria SRAM de 520 KB para datos e instrucciones, 18 entradas analógicas de 12 bits y 24 entradas/salidas digitales.

El diseño de los circuitos electrónicos del resistivímetro se realizó utilizando componentes de bajo costo, de fácil adquisición en el mercado local. El software del resistivímetro está compuesto por el algoritmo del módulo de control, escrito mediante el entorno de desarrollo Arduino IDE, y por el algoritmo de la aplicación móvil. La aplicación móvil fue desarrollada en App Inventor, una plataforma que utiliza un lenguaje por bloques basado en JavaScript, Scheme y Kawa.

Resultados

El diagrama en bloques del resistivímetro se muestra en la Fig. 3.

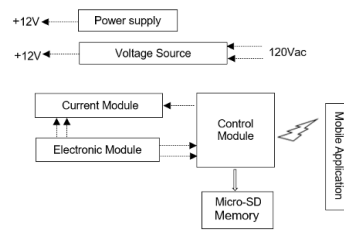


Fig. 3. Diagrama de bloques del resistivímetro

El resistivímetro está compuesto por los módulos electrónicos de corriente y control. El módulo de control se conecta por Bluetooth a un teléfono móvil. El resistivímetro puede alimentarse mediante una batería de 12 V o por una fuente de alimentación conectada a la red eléctrica.

El módulo de corriente suministra la corriente al terreno a través de los electrodos de corriente (C1, C2).

La Fig. 4 muestra los componentes y partes de este módulo. Está constituido por un generador de dos señales cuadradas, ambas con diferentes fases y una frecuencia de 60 Hz. Estas señales pasan al circuito de potencia, cuya salida entrega $\pm 180 \text{ V} / 0.5 \text{ A}$.

La tensión de salida del circuito de potencia pasa por un conmutador de polaridad, el cual puede invertir las polaridades de los electrodos para evitar que se polaricen. Este conmutador de polaridad es controlado por el módulo de control.

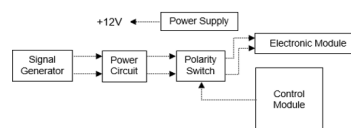


Fig. 4. Diagrama de bloques del módulo de corriente.

El diagrama en bloques del módulo electrónico se muestra en la Fig. 5. Este módulo está conformado por el circuito de medición de corriente suministrada al terreno a través de los electrodos de corriente, y por el circuito de medición de potencial entre los electrodos de potencial.

Ambos circuitos tienen como primera etapa un amplificador de instrumentación modelo INA114. Posteriormente, se incluye un filtro pasa bajos de segundo orden, seguido por una etapa de amplificación con ajuste de voltaje de offset.

Dado que el convertidor analógico-digital (ADC) del módulo de control solo acepta entrada de voltaje positivo, al final de los circuitos de medición de corriente y voltaje se implementó una etapa rectificadora, basada en amplificadores operacionales. Además de entregar la señal rectificada, este circuito proporciona una señal digital que indica al módulo de control si la polaridad de la señal de entrada es negativa.

El módulo de control está basado en una placa NodeMCU ESP32, la cual se comunica con un teléfono móvil mediante una interfaz Bluetooth. Por tanto, el software del resistivímetro incluye un algoritmo para el módulo de control y un algoritmo denominado RESGO, que se ejecuta en el teléfono móvil. El menú principal de la aplicación RESGO se muestra en la Fig. 6.

Como primer paso, debe establecerse la comunicación vía Bluetooth entre el teléfono móvil y el módulo de control del resistivímetro. Una vez establecida la conexión, se debe ejecutar la aplicación RESGO. A través del menú principal, es posible seleccionar el método de medición (disposición de electrodos), ya sea Wenner, Schlumberger, Wenner-Schlumberger o Dípolo-Dípolo.

Con base en el método de electrodos seleccionado, se deben introducir la distancia (a) en metros entre los electrodos y el parámetro n. Asimismo, se selecciona el tiempo de espera, que corresponde al tiempo de activación del módulo de corriente, y el tiempo de medición. Estos tiempos pueden configurarse entre 0.5 s y 60 s, con incrementos de un segundo.

Una vez que se han seleccionado todos los parámetros, se puede iniciar la medición presionando “encender medición” en el menú de RESGO. El resistivímetro comienza midiendo el potencial espontáneo del suelo y almacena el promedio de cinco mediciones realizadas cada 2 s. Posteriormente, se inyecta corriente al terreno y se mide la diferencia de potencial. Con los valores de corriente, potencial espontáneo y diferencia de potencial, el algoritmo del resistivímetro calcula la constante k y la resistividad aparente.

Todo este proceso se ejecuta durante el tiempo de medición seleccionado, y los resultados se almacenan en una memoria micro-SD, se envían a la nube para su almacenamiento, y se visualizan en el dispositivo móvil, como se muestra en la Fig. 7.

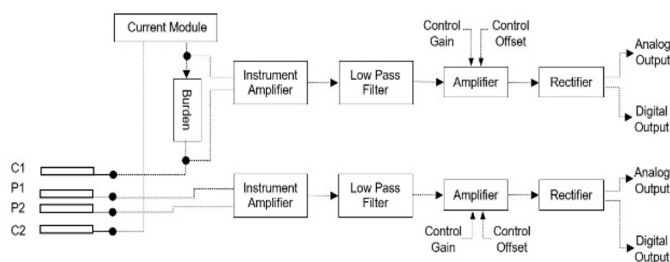
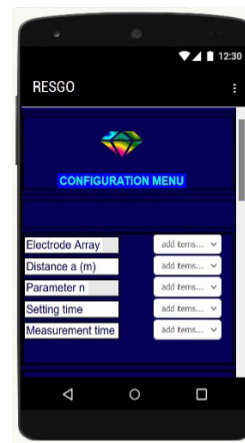


Fig. 5. Diagrama de bloques del módulo electrónico.



Para la validación del equipo desarrollado, se realizaron mediciones comparativas entre los resultados obtenidos utilizando un equipo SYSCAL Kid de Iris Instruments y los obtenidos con el equipo desarrollado.

En ambas mediciones, los electrodos se mantuvieron fijos en la misma ubicación. Se seleccionó un suelo de composición conocida, compuesto por arcilla y conglomerado arenoso con presencia de sal. Se realizaron mediciones comparativas utilizando los tres métodos que permite el equipo desarrollado; sin embargo, por cuestiones de espacio, solo se presentan los resultados correspondientes al método Schlumberger, manteniendo la distancia entre los electrodos P1 y P2 en 3 metros.

La Tabla 1 muestra los resultados obtenidos con el equipo SYSCAL Kid, y la Tabla 2, los resultados obtenidos con el equipo desarrollado. Los resultados obtenidos con los otros métodos de medición mostraron un comportamiento similar entre las respuestas de ambos equipos.

Los resultados de la medición muestran dos curvas tipo KH, de acuerdo con [8], donde se cumple el patrón $Pa_1 < Pa_4 > Pa_6 < Pa_8$. Este tipo de comportamiento es característico de suelos estratificados en cuatro capas.

Los valores de resistividad aparente obtenidos se encuentran en un rango de $2.81 \Omega \cdot m$ a $112.5 \Omega \cdot m$, lo cual es coherente con la naturaleza del suelo seleccionado para el estudio, compuesto por arcilla mezclada con arena y lodo, similar a la composición real del terreno donde se realizaron las mediciones.

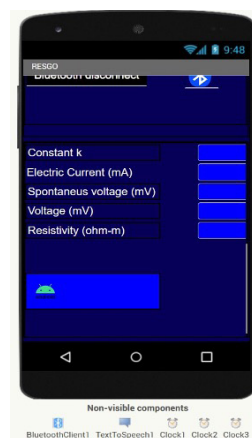


Fig. 7. Resultados de las mediciones.

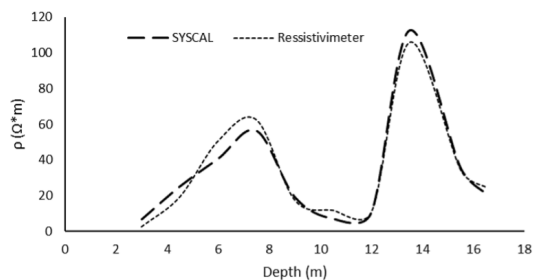


Fig. 8. El comportamiento de la resistividad aparente del suelo medida con respecto a la profundidad.

No	C1C2 (m)	n	Depth (m)	K	Vsp (mV)	V (mV)	I(mA)	Pa (Ω m)
1	6	2	3	54.17	5.87	1.88	31.53	6.854
2	9	3	4.5	73.01	-15.2	13.46	82.74	25.29
3	12	4	6	91.85	-32.87	17.14	112.59	40.8
4	15	5	7.5	110.69	-27.97	23.26	100.6	56.37
5	18	6	9	129.53	-6.48	9.46	107.07	19.28
6	21	7	10.5	148.37	-2.27	2.38	96.51	7.149
7	24	8	12	167.21	3.47	7.23	60.25	10.44
8	27	9	13.5	186.05	-35.63	23.01	96.96	112.5
9	30	10	15.5	204.89	-6.52	15.01	123.11	35.83
10	33	11	16.5	223.73	1.68	19.41	188.1	21.09

Tabla 1. Mediciones obtenidas con el equipo Syscal Kid

No	C1C2 (m)	n	Depth (m)	k	Vsp (mV)	V (mV)	I(mA)	Pa(Ω m)
1	6	2	3	54.16	4.56	2.96	30.86	2.81
2	9	3	4.5	73.01	-10.65	10.58	79.59	19.48
3	12	4	6	91.85	-29.42	25.12	98.68	50.77
4	15	5	7.5	110.69	-19.36	31.45	89.87	62.58
5	18	6	9	129.53	-6.26	7.96	103.96	17.72
6	21	7	10.5	148.37	-1.23	6.02	89.65	12.00
7	24	8	12	167.21	2.14	5.98	58.69	10.94
8	27	9	13.5	186.05	-29.68	21.47	89.88	105.88
9	30	10	15.5	204.89	-5.82	12.54	109.2	34.45
10	33	11	16.5	223.73	0.98	17.89	152.51	24.81

Tabla 2. Mediciones obtenidas con el resistivímetro desarrollado

Conclusiones

Los resultados de este trabajo muestran el desarrollo de un resistivímetro controlado mediante una nueva aplicación móvil. Su diseño se llevó a cabo utilizando componentes electrónicos de bajo costo y disponibles en el mercado.

Los resultados de medición obtenidos con el equipo desarrollado muestran una alta similitud con los resultados obtenidos con el equipo SYSCAL Kid, lo cual valida el buen desempeño del resistivímetro propuesto.

Agradecimientos

Los autores desean agradecer a la Universidad Autónoma de Tamaulipas y al CONACYT, México, por el apoyo brindado para la realización de este proyecto.

Referencias Bibliográficas

1. Arias, S. (2011). La prospección geoelectrica y electromagnética en dos dimensiones y su aplicación en la hidrogeología. Revista Geológica de América Central, No. 27, pp. 21-26, doi: 10.15517/rgac.v0i27.7801.
2. Sepúlveda-Escalera, E. L. (2009). Diseño de un Resistivímetro de corriente directa para realizar estudios geoelectricos en los Valles Centrales. p. 200.
3. García-Gutiérrez, C., Norzagaray-Campos, M., Muñoz-Sevilla, P. (2012). Diseño y aplicación de un equipo para el monitoreo de la salinidad en el subsuelo. Ra Ximhai, vol. 8, 143-147.
4. Giraldo-Sánchez, H. F., Sendoya-Losada, D. F. (2012). Diseño y Construcción de Equipo para Realizar Prospección Geofísica Aplicando el Método VDE Tomografía Eléctrica.
5. Barrero-Pérez, J. C., Amaya-Palacio, J. A., Angulo-Julio, C. A., Fiallo- Arias, J. A., Núñez-Gualdrón, O. L. (2003). Diseño y construcción de un prototipo de un medidor de resistividad del suelo para el laboratorio de corrosión de la escuela de ingeniería metalúrgica. Revista UIS Ingenierías, vol. 2, no. 2, 121-133.
6. Choquehuanca-Corimanya, M. Y. (2019). Diseño y elaboración de un resistivímetro para prospección eléctrica de resistividad. <http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/8753/GFchcomy.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
7. Sevilla, R. M., Montes, J. R. (2014). Diseño y construcción de un prototipo para la medición de la resistividad del suelo usando dispositivos programables en un chip. Ingenium, vol. 8, no. 20, p. 39, doi: 10.21774/ing.v8i20.401.
8. Figuerola, J. C. (1978). Tratado de Geofísica Aplicada.

Artículo de difusión

Diseño, desarrollo e implementación de un control de videojuegos adaptativo para personas con amputaciones utilizando la plataforma esp32 (adaptplay)

Avedaño De la Rosa Alexis Eduardo¹

Resumen

En la actualidad, los videojuegos se han consolidado como una de las formas más influyentes de entretenimiento y expresión cultural a nivel global. Sin embargo, la accesibilidad en este ámbito sigue representando un desafío, particularmente para personas con discapacidades físicas. Entre estas, la amputación de un brazo plantea barreras considerables debido al diseño tradicional de controles que requieren el uso de ambas manos. Este proyecto propone el diseño y desarrollo de un control de videojuegos adaptativo, dirigido específicamente a personas con amputación de un miembro superior.

Utilizando la placa de desarrollo Esp32, se busca ofrecer una solución tecnológica que facilite la inclusión y permita una experiencia de juego satisfactoria, equitativa y plenamente inmersiva. De esta manera, se pretende no solo eliminar las limitaciones físicas, sino también fomentar la participación activa de un sector históricamente marginado en la cultura digital contemporánea.

Palabras clave: Accesibilidad en videojuegos, Amputación de brazo, Control adaptativo, Inclusión digital, Diseño de hardware, Esp32.

Abstract

Currently, video games have established themselves as one of the most influential forms of entertainment and cultural expression worldwide. However, accessibility within this field continues to present challenges, particularly for individuals with physical disabilities. Among these, arm amputation creates significant barriers due to the traditional design of controllers, which require the use of both hands.

This project proposes the design and development of an adaptive video game controller, specifically aimed at individuals with upper limb amputation. By utilizing the versatile Esp32 development board, the objective is to provide a technological solution that facilitates inclusion and enables a satisfactory, equitable, and fully immersive gaming experience. In doing so, the project seeks not only to eliminate physical limitations but also to promote the active participation of a historically marginalized group within contemporary digital culture.

Key words: Video game accessibility, Arm amputation, Adaptive controller, Digital inclusion, Hardware design, Esp32.

Introducción

La industria de los videojuegos ha experimentado un crecimiento exponencial, generando ingresos superiores a los 300 mil millones de dólares anuales [1], [2]. No obstante, la accesibilidad sigue siendo una limitante crítica, especialmente para usuarios con amputación de miembros superiores. Según datos recientes, aproximadamente 1.6 millones de personas viven con amputaciones de brazos a nivel mundial [3].

Los controles de videojuegos convencionales están diseñados para ser operados con dos manos, requiriendo la manipulación simultánea de múltiples botones y palancas [4]. Esta configuración excluye a individuos con amputaciones, quienes enfrentan dificultades técnicas sustanciales para interactuar con las interfaces estándar [5].

La ausencia de dispositivos adaptativos específicos reduce no solo la calidad de la experiencia de juego, sino también la oportunidad de participar en actividades de rehabilitación motora, que utilizan videojuegos como plataformas de entrenamiento funcional [6].

Actualmente, existen alternativas como adaptadores comerciales, pero su costo elevado, limitada disponibilidad y escasa personalización restringen su adopción efectiva [7].

La tecnología basada en microcontroladores, como el ESP32, ofrece un medio viable para desarrollar soluciones de control adaptativo personalizadas, gracias a su bajo costo, capacidad de comunicación inalámbrica y procesamiento de señales en tiempo real [8], [9].

Sin embargo, persisten desafíos técnicos asociados al diseño ergonómico, la latencia de transmisión y la compatibilidad con plataformas comerciales de videojuegos [10].

En consecuencia, se plantea la necesidad de diseñar, desarrollar y evaluar un prototipo de control adaptativo basado en ESP32 que permita a usuarios con amputación de un brazo acceder de manera efectiva al entorno de videojuegos.

Este desarrollo busca superar las barreras físicas mediante soluciones técnicas que optimicen la precisión, el desempeño y la comodidad del dispositivo, promoviendo así la inclusión tecnológica de este sector poblacional.

Consideraciones éticas

El desarrollo de dispositivos adaptativos para personas con discapacidad motriz exige un compromiso ético riguroso. Es fundamental garantizar que el diseño y las pruebas del control de videojuegos respeten la dignidad, autonomía y privacidad de los usuarios.

La participación voluntaria, el consentimiento informado y la confidencialidad de los datos recopilados deben ser asegurados durante toda la investigación.

Además, se debe evitar cualquier forma de discriminación o estigmatización, promoviendo activamente la inclusión. Estas consideraciones éticas son esenciales para validar la integridad y el impacto social positivo del proyecto.

Metodología

El desarrollo del control adaptativo para videojuegos orientado a personas con amputación de un brazo se llevó a cabo mediante un enfoque técnico basado en ingeniería mecatrónica, accesibilidad universal y diseño centrado en el usuario.



Fig. 1. Diseño prototipo control

La primera etapa consistió en el análisis funcional y ergonómico, considerando las limitaciones motrices y la necesidad de interacción fluida con videojuegos de consola o computadora. Se eligió como plataforma principal el microcontrolador ESP32 por sus capacidades de procesamiento de doble núcleo, conectividad inalámbrica, bajo consumo energético y compatibilidad con interfaces HID [11].

Componente	Función principal	Características clave
ESP32	Microcontrolador principal	Doble núcleo, WiFi/Bluetooth, bajo consumo
Joystick analógico	Control de movimiento en el juego	Ejes X-Y, salida analógica
Push Buttons (x8)	Entrada de acciones (disparo, salto, selección)	Interruptores momentáneos, montaje en PCB
Shield para ESP32	Facilita la conexión de sensores y actuadores	Pines de expansión y alimentación integrados
Filamento PLA	Material para impresión 3D del chasis del control	Biodegradable, fácil de imprimir, resistente
Cables Dupont	Conexión de señales entre módulos	Tipo macho-hembra, reutilizables
Protoboard / PCB	Prototipado del circuito	Uso en pruebas preliminares / Ensamblado final
Software Arduino IDE	Programación del firmware del control	Compatible con ESP32, lenguaje C++

Tabla 1. Características técnicas de los componentes.

La entrada del sistema se resolvió mediante dos joysticks analógicos y una matriz de pulsadores tipo push button, integrados en una estructura física que permite al usuario operar el dispositivo con una sola extremidad. El diseño físico del control fue modelado en entorno CAD y fabricado con tecnología de impresión 3D utilizando filamento PLA, material biodegradable, accesible y de adecuada resistencia mecánica [12], [13]. La estructura se optimizó para permitir el montaje sobre una superficie plana y la personalización de la orientación del mando.

La programación del sistema se realizó en el entorno Arduino IDE utilizando lenguaje C++, incluyendo rutinas para la lectura de señales analógicas y digitales, algoritmos de debouncing, y calibración de sensibilidad para mejorar la experiencia del usuario [14], [15]. La señal de control se transmite al sistema host como dispositivo HID simulado, emulando un control tradicional de videojuegos mediante interfaz USB.

El prototipo fue ensamblado inicialmente en protoboard para facilitar las pruebas de validación y posteriormente migrado a una placa perforada para mayor robustez y durabilidad

estructural [16]. Para la validación preliminar se realizaron sesiones de prueba con usuarios sin discapacidad a fin de evaluar la latencia, estabilidad del sistema y precisión en la respuesta del control. Posteriormente, se contempló una etapa de validación funcional con usuarios reales con amputación de miembro superior, con la supervisión de especialistas en terapia ocupacional y rehabilitación [17], [18].

El proceso de diseño consideró además la sostenibilidad ambiental mediante la elección de componentes reciclables, pinturas acrílicas base agua, y dispositivos electrónicos de bajo consumo energético, alineándose con criterios de responsabilidad ecológica [19].

Parámetro evaluado	Valor observado	Método de medición	Resultado esperado
Latencia de respuesta	~28 milisegundos	Temporización de comandos en simulador	< 50 ms (valor aceptable en videojuegos)
Consumo eléctrico promedio	68 mA	Multímetro digital durante uso continuo	Bajo consumo para uso prolongado
Tiempo de autonomía estimado	20-24 horas	Cálculo con batería de 2000 mAh	Uso diario sin recarga constante
Durabilidad de botones	> 500 ciclos de presión	Prueba mecánica manual	Resistencia funcional bajo uso prolongado
Compatibilidad HID	Compatible (detectado como gamepad)	Prueba con PC y emuladores	Reconocimiento inmediato en múltiples sistemas
Facilidad de uso (prueba piloto)	< 5 min para aprender uso básico	Encuesta y observación directa	Alta usabilidad e intuición de diseño

Tabla 2. Parámetros técnicos de validación funcional

Desde el punto de vista económico, el costo estimado de fabricación del control fue de aproximadamente 2090 pesos mexicanos, asegurando su viabilidad como solución accesible frente a tecnologías comerciales similares que superan los 5000 pesos [20], [21].

Finalmente, el sistema fue diseñado con miras a su replicabilidad y mejora, utilizando hardware de código abierto y una arquitectura modular que facilita su adaptación a otros tipos de discapacidad, promoviendo así una cultura de inclusión tecnológica y democratización del acceso al entretenimiento digital [22].

Resultados

Los resultados obtenidos en esta investigación evidencian tanto el estado actual de conocimiento sobre controles adaptativos entre personas con discapacidad motriz como la valoración del prototipo desarrollado. Se encuestó a una muestra de 31 personas con amputación de una extremidad superior. El 71 % de los participantes tenía entre 18 y 24 años, siendo este el grupo etario predominante. En cuanto al nivel de conocimiento sobre controles adaptativos, el 61 % declaró tener un conocimiento bajo, lo que refleja una brecha informativa significativa.

Respecto a las preferencias de control, el 55 % manifestó interés en controles basados en movimientos corporales, por encima del seguimiento ocular (32 %) y el control por voz (13 %). Aunque el 48 % opinó que los controles adaptativos existentes son eficientes pero incómodos, un 39 % afirmó que estos son cómodos y funcionales. En relación con los beneficios percibidos, el 55 % destacó la inclusión como el aporte más significativo, seguido de mejoras en la experiencia de juego (29 %) y estimulación cognitiva y motora (16 %).

Al evaluar el impacto en la vida diaria, un 48 % indicó que estos controles favorecen el desarrollo de habilidades cognitivas y motoras, y un 42 % consideró que su principal beneficio es la promoción de la independencia y autonomía. Sin embargo, los

mayores desafíos identificados fueron la limitada disponibilidad en el mercado (42 %), los altos costos (35 %) y la falta de información (23 %).

Durante la prueba piloto, el prototipo demostró ser funcional, intuitivo y compatible con múltiples géneros de videojuegos. La latencia promedio fue inferior a los 30 ms y la autonomía energética superó las 20 horas continuas de uso con una batería de 2000 mAh. El cuestionario de validación reflejó alta aceptación en términos de ergonomía, accesibilidad y facilidad de uso.



Fig. 2. Impresión 3D prototipo

Estos hallazgos validan la pertinencia del desarrollo de un control adaptativo asequible, y destacan su potencial para mejorar la calidad de vida, la participación recreativa y la inclusión tecnológica de personas con discapacidad motriz.

Conclusiones

El presente proyecto logró diseñar, implementar y validar un control adaptativo funcional para personas con amputación de una extremidad superior, demostrando que es posible crear soluciones accesibles, personalizables y de bajo costo mediante tecnologías de código abierto como el ESP32. El prototipo resultante permitió a los usuarios interactuar con videojuegos de manera efectiva, promoviendo la autonomía, la inclusión y el bienestar emocional.

Los resultados de la encuesta evidenciaron una necesidad real en este sector: el 61 % de los participantes tenía bajo conocimiento sobre controles adaptativos, y el 55 % valoró su potencial inclusivo. A pesar de que el 48 % los consideró eficientes pero incómodos, la validación funcional del prototipo mostró mejoras notables en experiencia de juego y facilidad de uso.

Además, el análisis documental permitió identificar limitaciones del mercado actual, como altos costos y escasa disponibilidad. El control desarrollado representa una alternativa viable y sostenible que puede ser replicada o mejorada en futuras investigaciones.

Esta investigación aporta evidencia sólida sobre la viabilidad técnica y el impacto social de dispositivos accesibles, y refuerza la necesidad de impulsar el diseño inclusivo en la industria de los videojuegos.

Referencias Bibliográficas

1. Statista, "Video Game Industry - Statistics & Facts," 2024. [En línea]. Disponible: <https://www.statista.com/topics/868/video-games/>.
2. Newzoo, "Global Games Market Report," 2023.
3. D. Smith, "Amputee Statistics," Amputee Coalition, 2023.
4. S. Yuan et al., "Design Considerations for Gaming Controllers for Motor-Impaired Users," ACM SIGACCESS, vol. 133, pp. 1-8, 2022.
5. K. Jack et al., "Accessibility in Gaming: A Technical Review," Journal of Game Development Research, vol. 9, no. 2, pp. 45-59, 2021.
6. A. A. González et al., "Serious Games for Upper Limb Rehabilitation: Review and Future Prospects," Journal of Rehabilitation Research, vol. 58, no. 4, pp. 715-727, 2021.
7. P. Wulf, "Assistive Gaming Technologies: Market and Challenges," Assistive Technology Journal, vol. 33, no. 3, pp. 233-241, 2022.
8. Espressif Systems, "ESP32 Technical Reference Manual," 2024. [En línea]. Disponible: <https://www.espressif.com/en/products/socs/esp32/resources>
9. J. Lee et al., "Wireless Microcontrollers for Accessibility Devices," IEEE Access, vol. 11, pp. 34567-34575, 2023.
10. C. Nunes et al., "Optimizing Low-Cost Controllers for Accessibility," Sensors, vol. 23, no. 12, pp. 1-16, 2023.
11. J. Zhang et al., "Design and Development of a Low-Cost ESP32-Based Smart Controller," IEEE Access, vol. 8, pp. 45637-45645, 2020.
12. J. P. Kruth, "Material issues in additive manufacturing: A review," J. Manuf. Sci. Eng., vol. 138, no. 4, 2016.
13. H. Wang et al., "Mechanical and Biodegradable Properties of PLA for Assistive Devices," Materials, vol. 14, no. 2, 2021.
14. M. Kumar et al., "Design of HID-compatible Input Devices using Arduino," in Proc. IEEE HSI, 2021, pp. 91-96.
15. A. Nugroho et al., "Noise Filtering for Mechanical Switches in Embedded Systems," IEEE Trans. Ind. Electron., vol. 68, no. 6, pp. 4823-4831, 2021.
16. C. P. Lee and Y. H. Liu, "Prototyping with Breadboard and Perforated PCB for Assistive Devices," International Journal of Engineering Research and Technology, vol. 12, no. 5, 2023.
17. R. Cooper et al., "Evaluation of Low-Cost Adaptive Gaming Interfaces," Assistive Technology, vol. 34, no. 1, pp. 1-10, 2022.
18. M. A. Hossain et al., "Human-Centered Evaluation of Accessibility Controllers," IEEE Trans. Accessibility, vol. 3, pp. 57-68, 2020.
19. A. R. Aguirre, "Sustainable Engineering in Low-Cost Assistive Technology," IEEE Latin America Transactions, vol. 20, no. 7, pp. 1129-1135, 2022.
- [20] S. El-Tawab et al., "Customizable Gaming Controller for Accessibility using Arduino," in 2022 IEEE IEMCON, pp. 239-243.
- [21] K. Rawal et al., "Open-Source Technologies for Disability Inclusion: A Review," IEEE Access, vol. 9, pp. 133441-133459, 2021.
- [22] T. Story et al., "Inclusive Design Framework for 3D Printed Assistive Technologies," IEEE Trans. Human-Machine Systems, vol. 52, no. 1, pp. 65-76, 2022.

Artículo de difusión

Evaluación de la eficiencia al personal de servicios de ingeniería y topografía

González Saldaña Osman Rubén¹

Resumen:

Este artículo presenta un estudio de caso aplicado en una empresa de servicios de ingeniería y topografía, cuyo objetivo fue evaluar la eficiencia operativa del personal técnico mediante la técnica de muestreo del trabajo. La investigación se desarrolló durante un periodo de seis meses y se centró en cuantificar los tiempos productivos e improductivos de dos perfiles laborales: topógrafo y cadenero.

A través de un diseño estadístico fundamentado en la teoría de probabilidad y distribución normal, se definió el tamaño muestra necesario y se realizaron observaciones sistemáticas en campo. Los resultados obtenidos mostraron que, en promedio, el personal se encuentra activo entre el 83 % y el 89 % del tiempo laboral, identificando actividades críticas que impactan en la productividad como traslados frecuentes, instalación de equipo y tiempos de inactividad no planificados. El estudio concluye que la técnica empleada permite detectar oportunidades de mejora operativa con un bajo costo de implementación, siendo replicable en empresas similares del sector.

Palabras clave: Productividad laboral, Muestreo del trabajo, Ingeniería industrial, Estudio de tiempos, Eficiencia operativa, Servicios topográficos.

Abstract:

This article presents a case study conducted at an engineering and topographic services company, aiming to assess the operational efficiency of field personnel through the application of work sampling. The study was carried out over a six-month period and focused on quantifying productive and non-productive time for two job roles: surveyor and rodman.

Using a statistical design based on probability theory and the normal distribution, the required sample size was calculated, and systematic field observations were conducted. Results indicated that staff were active between 83% and 89% of the time, with critical inefficiencies identified in frequent equipment relocation, setup procedures, and unplanned inactivity. The study concludes that work sampling is a low-cost, effective methodology to detect productivity gaps and is easily replicable in similar service-oriented technical environments.

Key words: Labor productivity, Work sampling, Industrial engineering, Time study, Operational efficiency, Topographic services.

Introducción:

En un entorno empresarial cada vez más orientado a la eficiencia y la mejora continua, resulta fundamental contar con herramientas que permitan evaluar objetivamente el desempeño del personal operativo. La ingeniería industrial ofrece diversas metodologías enfocadas en la optimización de recursos, entre las cuales destaca el muestreo del trabajo, una técnica estadística útil para determinar la proporción de tiempo que un trabajador dedica a actividades productivas e improductivas durante su jornada laboral [1].

Este artículo presenta un estudio realizado en la empresa Servicios de Ingeniería y Topográficos, con sede en Tampico, Tamaulipas, especializada en levantamientos topográficos, cálculos volumétricos, nivelaciones y otros servicios afines al ramo de la ingeniería civil y estructural. La necesidad de mejorar la gestión del tiempo en campo llevó a la implementación de un análisis por muestreo, enfocado en dos perfiles clave: topógrafo y cadenero, cuyas actividades fueron observadas durante múltiples jornadas para identificar desviaciones operativas y oportunidades de mejora.

El muestreo del trabajo, fundamentado en principios de probabilidad y distribución normal, permite realizar un número representativo de observaciones sin necesidad de seguimiento continuo, lo que lo convierte en una técnica rentable y poco invasiva [1], [2]. En este caso, la metodología permitió cuantificar de manera precisa las actividades más frecuentes realizadas por el personal, así como los factores asociados a tiempos improductivos, como traslados, reinstalaciones y pausas no programadas.

En la Tabla 1 se muestra un resumen de la distribución porcentual de tiempo dedicado a cada tipo de actividad por parte del topógrafo y el cadenero, lo cual evidencia que más

del 80 % del tiempo total fue empleado en labores productivas directas, aunque persisten márgenes de mejora en ciertos procesos logísticos y operativos.

Actividad	Topógrafo (%)	Cadenero (%)
Traslado de equipo	12	12
Instalación y reinstalación	14	14
Nivelación de equipo	7	–
Toma de lectura	51	56
Tiempo inactivo	14	10
Caminando	–	7
Hora de comida	1	1
Falla técnica	1	–

Consideraciones éticas

El presente estudio se llevó a cabo respetando la dignidad, privacidad y consentimiento informado de los trabajadores observados. Antes de iniciar el muestreo, se explicó el propósito del análisis al personal involucrado, asegurando su comprensión y participación voluntaria. No se recolectó información personal ni se emitieron juicios individuales, garantizando el anonimato de los participantes. Los datos obtenidos fueron utilizados exclusivamente con fines de mejora operativa, evitando cualquier uso que pudiera afectar negativamente la percepción, reputación o condiciones laborales de los empleados.

Metodología

El presente estudio empleó la técnica de muestreo del trabajo como herramienta principal para cuantificar el desempeño del personal operativo en una empresa dedicada a servicios topográficos. Esta técnica consiste en realizar un número significativo de observaciones aleatorias en el lugar de trabajo, con el propósito de estimar la proporción de tiempo que los trabajadores dedican a distintas actividades, tanto productivas como improductivas [1].

1. Planeación y diseño del estudio

El proceso inició con la identificación de las funciones específicas que desempeñan los operarios involucrados: el topógrafo y el cadenero. Posteriormente, se elaboró una hoja de registro adaptada a las necesidades del estudio, donde se clasificaron las actividades observadas en 12 categorías diferentes, incluyendo: traslado de equipo, instalación y reinstalación, nivelación, toma de lectura, inactividad, caminando, hora de comida y falla técnica [2].

Se eligió un nivel de confianza del 95 % con un margen de error de ± 6 %, lo que implicó el uso de la fórmula:

$$n = (z^2 \cdot p \cdot (1-p)) / h^2$$

donde z representa el valor de la distribución normal estándar, p la proporción estimada de actividad productiva, y h el margen de error aceptable. Con base en los valores obtenidos durante una prueba piloto ($P=0.84$ para el topógrafo y $P=0.89$ para el cadenero), se calculó un total de 143 observaciones necesarias para el primero y 104 para el segundo [1].

2. Recolección de datos en campo

Las observaciones se realizaron durante tres jornadas laborales (5, 6 y 7 de agosto de 2021), en intervalos aleatorios definidos previamente. Para evitar sesgos, el analista no anticipó el tipo de actividad antes de llegar al punto de observación. Se respetaron los principios de observación impersonal, minimizando la presencia del observador para no alterar el comportamiento de los trabajadores, de acuerdo con lo recomendado por la Norma NOM-030-STPS-2009 [4].

Asimismo, se tomaron en cuenta los lineamientos éticos y normativos establecidos por la Secretaría del Trabajo y Previsión Social (STPS) para el tratamiento del personal, garantizando condiciones laborales adecuadas durante la ejecución del estudio [5].

En total, se registraron 140 observaciones por perfil, lo que incrementó la precisión de los resultados y permitió validar la proporción observada de actividades productivas. Cada observación consistió en anotar la actividad realizada por el trabajador al momento de la inspección visual, con su posterior clasificación fuera del área de trabajo, siguiendo la metodología tradicional propuesta por Niebel y Freivalds [1].

3. Procesamiento de datos y análisis

Una vez completadas las observaciones, estas se clasificaron como actividades productivas (P) o improductivas (Q). Las frecuencias se transformaron en porcentajes relativos para cada perfil, y se contrastaron con los estándares esperados en empresas de servicios técnicos similares [3]. Esto permitió no solo detectar ineficiencias, sino también establecer puntos de control para rediseñar procesos de campo.

Finalmente, este enfoque se alinea con modelos de evaluación del desempeño respaldados por estándares de competencia laboral como los promovidos por CONOCER [6], los cuales fomentan una cultura de mejora continua dentro de los equipos de trabajo técnico-operativos.

Resultados

Durante el desarrollo del estudio de muestreo del trabajo, se aplicaron tres fases de observación en campo, cubriendo jornadas laborales completas de los días 5, 6 y 7 de agosto de 2021. El análisis se enfocó en dos perfiles operativos: topógrafo y cadenero, quienes fueron observados mediante técnicas de registro puntual no invasivas.

En la primera fase (Estudio 1), se realizaron 36 observaciones por operario; en la segunda (Estudio 2), 44; y en la tercera (Estudio 3), 60 observaciones. En total, se recopilaron 140 observaciones por perfil, rebasando el mínimo requerido (143 para el topógrafo y 104 para el cadenero) según el cálculo estadístico basado en una confianza del 95 % y un error del 6 %. Esta información puede visualizarse en la Tabla 2 del documento original (sección de resultados finales).

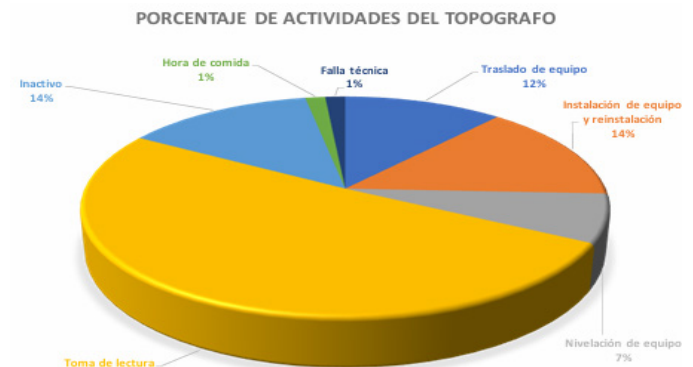


Fig. 1. Distribución de actividades observadas en el topógrafo.

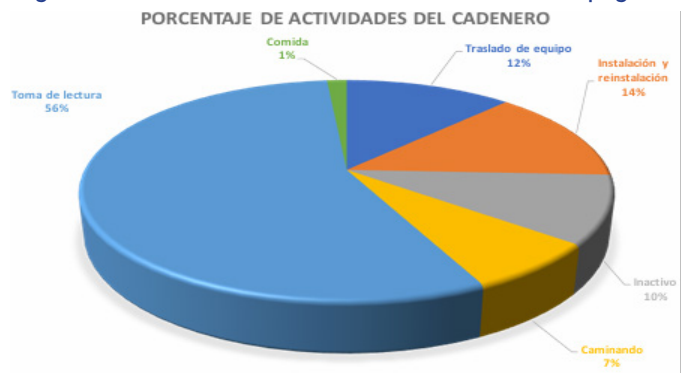


Fig. 2. Distribución de actividades observadas en el cadenero.

Los resultados obtenidos indican que el topógrafo tuvo un porcentaje promedio de 83.57 % de tiempo productivo y 16.43 % improductivo, mientras que el cadenero alcanzó 88.57 % productivo y 11.43 % improductivo. Estos datos validan un buen nivel de desempeño, aunque se identificaron áreas susceptibles de optimización.

El desglose específico por tipo de actividad, muestra lo siguiente:

- Toma de lectura fue la actividad más frecuente: 51 % en el topógrafo y 56 % en el cadenero.
- Instalación y reinstalación del equipo representó 14 % para ambos perfiles.
- Traslado de equipo registró 11 % (topógrafo) y 14 % (cadenero).
- Tiempo inactivo fue de 14 % (topógrafo) y 10 % (cadenero).
- Otras actividades menores incluyeron nivelación (7 %, sólo en el topógrafo), caminando (7 %, sólo en el cadenero), hora de comida (1 %) y fallas técnicas (1 %, sólo topógrafo).

La tendencia en los datos indica que, si bien la mayoría del tiempo se destina a labores directamente relacionadas con el levantamiento topográfico, los tiempos muertos derivados de traslados, reinstalaciones y pausas podrían optimizarse con mejoras en la logística de campo y en la planificación de las rutas de trabajo.

Estos hallazgos permiten establecer una línea base para futuros estudios de productividad dentro de la empresa, así como un modelo replicable en otras organizaciones de servicios técnicos.

Conclusiones

Los resultados obtenidos a partir del muestreo del trabajo aplicado al personal operativo de Servicios de Ingeniería y Topográficos ofrecieron una perspectiva precisa sobre el uso real del tiempo en campo. Si bien se constató que una proporción significativa de la jornada —superior al 83 %— se dedica a actividades productivas, el análisis también reveló zonas grises dentro del flujo operativo, donde las tareas se interrumpen o dilatan por razones logísticas o de organización.

Las actividades más frecuentes, como la toma de lecturas y la instalación de equipo, mostraron una buena distribución en relación con el propósito del trabajo. No obstante, la presencia de tiempos inactivos y traslados sin tarea específica, aunque menores en cantidad, sugiere un margen de mejora que no debe ignorarse, sobre todo si se consideran los efectos acumulativos a lo largo de semanas o meses de operación.

El uso de una técnica como el muestreo del trabajo resultó adecuado para el contexto observado. Fue posible obtener datos fiables sin interrumpir la dinámica habitual de trabajo, lo que refuerza su utilidad como herramienta de diagnóstico organizacional. Lejos de limitarse a cuantificar, este enfoque permitió identificar matices del comportamiento operativo que no siempre son visibles en informes administrativos o planillas de asistencia.

Los hallazgos no sólo validan el esfuerzo del personal, sino que también abren la puerta a intervenciones concretas para refinar procesos, mejorar la coordinación en campo y reducir el desgaste operativo que proviene de rutinas ineficientes. La experiencia adquirida aquí sienta las bases para futuras aplicaciones de esta metodología, tanto en esta empresa como en otras del sector que comparten condiciones similares de trabajo.

Referencias Bibliográficas

1. B. W. Niebel and A. Freivalds, Ingeniería industrial: métodos, estándares y diseño del trabajo, 12ª ed., México, D.F.: McGraw-Hill, 2009.
2. M. Montes de Oca, Topografía: representaciones y servicios de ingeniería, 3ª ed., México: Editorial Trillas, 1998.
3. ISO, Norma ISO 9001:2015: Sistemas de gestión de la calidad — Requisitos, Ginebra: Organización Internacional de Normalización, 2015.
4. Secretaría del Trabajo y Previsión Social, NOM-030-STPS-2009, Servicios preventivos de seguridad y salud en el trabajo — Funciones y actividades, México: STPS, 2009.
5. Secretaría del Trabajo y Previsión Social, Condiciones generales de trabajo y obligaciones patronales, México: Gobierno de México, 2020.
6. E. Ogliastri, Dirección estratégica en América Latina, Bogotá: Norma, 2001.
7. Consejo Nacional de Normalización y Certificación de Competencias Laborales (CONOCER), Estándares de competencia laboral, México: SEP, 2017.

Artículo de divulgación

Implementación de exoesqueleto controlado en el área de terapia de rehabilitación de la marcha

Colmenares Guzmán Tristan Alejandro¹

Resumen:

A lo largo de la historia, la concepción de la rehabilitación ha estado influenciada por una amplia variedad de enfoques terapéuticos. Desde los primeros métodos basados en masajes manuales hasta la implementación de ejercicios asistidos mediante dispositivos de apoyo, el campo de la rehabilitación ha evolucionado de manera continua, adaptándose a los avances científicos y tecnológicos de cada época.

En el contexto contemporáneo, la civilización occidental ha incorporado de manera significativa el uso de tecnologías avanzadas en los procesos de rehabilitación física, entre ellas el desarrollo de exoesqueletos robóticos. Estas innovaciones, en consonancia con el paradigma del positivismo científico, han permitido fortalecer las prácticas médicas, aumentando la eficiencia del personal clínico y mejorando la experiencia de recuperación de los pacientes.

A pesar de los avances existentes, persisten desafíos relevantes en la implementación de exoesqueletos para la rehabilitación de la marcha, particularmente en lo que respecta al control preciso del dispositivo, la autonomía del paciente y el seguimiento sistemático del progreso terapéutico. Ante esta necesidad, el presente proyecto de investigación propone el diseño y desarrollo de un nuevo prototipo de exoesqueleto para la terapia de rehabilitación de la marcha, el cual incorpora un sistema de control remoto integrado en andadores de apoyo.

Este enfoque busca no solo facilitar el seguimiento clínico de la evolución del paciente, sino también mejorar la autonomía del usuario, incrementar la precisión de las mediciones de avance y reducir la carga de trabajo del personal de salud. Así, se pretende contribuir al desarrollo de soluciones tecnológicas que promuevan una rehabilitación más eficiente, personalizada y centrada en la recuperación funcional integral.

Palabras clave: Rehabilitación de la marcha, Exoesqueletos, Sistemas de control remoto, Tecnología de asistencia, Recuperación motriz.

Introducción:

La investigación y el desarrollo de exoesqueletos orientados a la rehabilitación han experimentado un notable crecimiento en las últimas décadas.

Instituciones académicas, empresas tecnológicas y centros de investigación han centrado sus esfuerzos en perfeccionar estos dispositivos para mejorar la movilidad y calidad de vida de personas con afectaciones neurológicas o lesiones medulares [1].

Aunque los avances han sido significativos, el elevado costo de adquisición continúa siendo un obstáculo para su adopción masiva, limitando su disponibilidad a sectores poblacionales de mayores recursos [2].

Diversos estudios han evidenciado que la terapia asistida con exoesqueletos contribuye a mejorar la fuerza muscular, el equilibrio y la autonomía funcional, favoreciendo una recuperación más rápida y efectiva en pacientes con accidentes cerebrovasculares o daño espinal [3], [4].

Abstract:

Throughout history, the concept of rehabilitation has been influenced by a wide variety of therapeutic approaches. From early methods based on manual massages to the implementation of exercises assisted by support devices, the field of rehabilitation has continuously evolved, adapting to the scientific and technological advances of each era.

In the contemporary context, Western civilization has significantly incorporated the use of advanced technologies in physical rehabilitation processes, including the development of robotic exoskeletons. These innovations, aligned with the paradigm of scientific positivism, have strengthened medical practices, increasing the efficiency of clinical personnel and improving the recovery experience for patients.

Despite the existing advancements, significant challenges persist in the implementation of exoskeletons for gait rehabilitation, particularly regarding the precise control of the device, patient autonomy, and systematic monitoring of therapeutic progress. In response to this need, the present research project proposes the design and development of a new exoskeleton prototype for gait rehabilitation therapy, which integrates a remote-control system into support walkers.

This approach aims not only to facilitate the clinical monitoring of patient evolution but also to enhance user autonomy, improve the precision of progress measurements, and reduce the workload of healthcare personnel. Thus, it seeks to contribute to the development of technological solutions that promote more efficient, personalized, and functionally centered rehabilitation processes.

Key words: Gait rehabilitation, exoskeletons, remote control systems, assistive technology, motor recovery.

Sin embargo, el acceso limitado a esta tecnología plantea la necesidad de desarrollar alternativas más asequibles sin sacrificar la calidad y seguridad del tratamiento.

En respuesta a esta problemática, la presente investigación propone el diseño de un exoesqueleto portátil para rehabilitación de la marcha, empleando servomotores de respuesta suave y sistemas de control remoto.

Este diseño busca facilitar la participación activa del paciente durante la terapia, reducir el riesgo de caídas y fortalecer la confianza en su proceso de recuperación [5]. Además, se plantea la implementación de materiales económicos, pero de alto rendimiento, para garantizar la competitividad del dispositivo frente a los productos comerciales actuales.

De este modo, se pretende aportar una solución innovadora y accesible que permita extender los beneficios de la rehabilitación robótica a un mayor número de personas, impactando positivamente su calidad de vida y su reintegración social.

Consideraciones éticas

En el desarrollo del presente proyecto, se han contemplado de manera rigurosa las consideraciones éticas asociadas a la implementación de tecnologías de telemedicina. Todas las actividades fueron diseñadas para respetar la dignidad, privacidad y derechos de los usuarios, garantizando un enfoque responsable y humanizado en cada etapa del proceso.

El propósito fundamental del proyecto es fortalecer el acceso a servicios de rehabilitación a distancia, actuando como un complemento a la labor del personal médico y no como un sustituto de la interacción humana. Para ello, se han seguido lineamientos que priorizan la confidencialidad de la información clínica, la equidad en el acceso a la atención y la protección de los datos personales.

Aunque actualmente no existe una legislación federal específica en México que regule formalmente la telemedicina, el proyecto adopta los principios establecidos en el proyecto de norma PROY-NOM-036-SSA3-2015, cuyo objetivo era establecer procedimientos y requisitos mínimos para la prestación de servicios médicos a distancia. De esta manera, se asegura que el uso de tecnologías de información y comunicación en salud se mantenga dentro de los más altos estándares éticos y de calidad asistencial.

Metodología

El presente trabajo de investigación se enfocó en el diseño, desarrollo y evaluación de un prototipo funcional de exoesqueleto para la rehabilitación de la marcha en personas con discapacidades motrices. El enfoque metodológico utilizado combinó elementos cualitativos y cuantitativos para analizar tanto las características técnicas del dispositivo como las percepciones de los usuarios respecto a su funcionalidad y facilidad de uso [1].

El estudio se configuró como experimental, partiendo de una hipótesis orientada a validar si un exoesqueleto de bajo costo, fabricado con materiales accesibles y actuadores de torque medio, podía mejorar de forma significativa la capacidad de deambulación en programas de rehabilitación física. La estrategia se complementó con un componente exploratorio inicial destinado a documentar antecedentes normativos, clínicos y tecnológicos relacionados [2].

La fase documental incluyó una revisión sistemática de literatura académica especializada, considerando publicaciones de los últimos diez años en bases de datos como Scielo, Redalyc, PubMed y IEEE Xplore. Se analizaron estudios de dispositivos existentes como Lokomat y ReWalk, identificando sus principales aportaciones y limitaciones en términos de costo, ergonomía y desempeño [3], [4], [5].

Las especificaciones técnicas definidas para el prototipo se organizan en la Tabla 1, donde se describen los parámetros considerados esenciales para garantizar funcionalidad básica en un entorno clínico controlado:

Parámetro Técnico	Valor del Prototipo	Referencia Estándar
Peso máximo soportado	80 kg	[5], [6]
Velocidad de marcha asistida	0.3 m/s	[5], [7]
Torque mínimo por articulación	10 kg·cm	[7]
Ciclo de operación continuo	60 minutos	[6]
Material principal de estructura	Aluminio aeronáutico 6061	[8]

Tabla 1. Especificaciones técnicas del prototipo de exoesqueleto.

La arquitectura del dispositivo incorporó servomotores digitales de par medio en caderas y rodillas, priorizando equilibrio entre costo y funcionalidad. La estructura fue fabricada utilizando aluminio de grado aeronáutico, mientras que los sistemas de sujeción y apoyo se construyeron en polímero ABS de alta resistencia. Para la interfaz de control, se diseñó un sistema de activación y detención remota basado en radiofrecuencia, buscando mantener la autonomía del usuario sin necesidad de intervención de terceros.

La población objetivo incluyó pacientes adultos con dificultades motoras, principalmente asociados a lesión medular incompleta o daño neurológico post-ictus, y profesionales de la salud dedicados a rehabilitación física. Se diseñó un cuestionario validado mediante la aplicación de la prueba alfa de Cronbach, cuyos resultados se presentan en la Tabla 2:

Dimensión Evaluada	Número de Ítems	Alfa de Cronbach
Usabilidad del dispositivo	5	0.87
Percepción de autonomía	5	0.82
Comodidad durante la marcha	5	0.85
Confianza y seguridad percibida	5	0.89

Tabla 2. Consistencia interna del cuestionario aplicado.

El instrumento demostró alta fiabilidad en todas las dimensiones evaluadas, de acuerdo con los estándares para investigación en ciencias de la salud [9], [10].

En la fase experimental preliminar, se efectuó una prueba piloto con 10 participantes, donde se midieron parámetros funcionales básicos tales como número de pasos asistidos en un periodo de cinco minutos, nivel de esfuerzo percibido y nivel de satisfacción general. Los resultados se sintetizan en la Tabla 3:

Indicador Evaluado	Media Obtenida	Valor Esperado	Observaciones
Número de pasos asistidos (en 5 min)	64 pasos	70 pasos	Ligera rigidez en articulación de cadera
Nivel de esfuerzo percibido (Borg CR-10)	5/10	4/10	Mejora necesaria en suavidad de marcha
Nivel de satisfacción general	85 % satisfechos	≥ 80 %	Evaluación positiva de facilidad de uso

Tabla 3. Resultados preliminares de la prueba piloto del prototipo.

El desempeño observado fue satisfactorio en relación con los objetivos propuestos, si bien se identificaron áreas de mejora, especialmente en la respuesta dinámica de las articulaciones durante el ciclo de marcha.

Desde el punto de vista ético, todas las actividades fueron desarrolladas respetando los principios de consentimiento informado, confidencialidad de la información personal y respeto a la autonomía de los participantes, en consonancia con lo planteado por la Organización Mundial de la Salud y las directrices contenidas en el proyecto PROY-NOM-036-SSA3-2015 para servicios de atención médica a distancia [16], [17].

Las pruebas de carga estructural realizadas sobre el dispositivo confirmaron la resistencia de la estructura de aluminio aeronáutico frente a pesos de hasta 1.5 veces el peso máximo soportado, asegurando márgenes de seguridad adecuados para su aplicación clínica.

Adicionalmente, se efectuaron ensayos de durabilidad de los motores bajo carga intermitente, determinándose una vida útil estimada de 250 horas de operación continua, equivalente a un programa de rehabilitación de seis meses [18].

La combinación metodológica implementada permitió abordar la complejidad del problema de investigación desde una perspectiva técnica y social integral. La recolección de datos cuantitativos, los análisis estructurales del prototipo y la retroalimentación cualitativa de los usuarios proporcionaron evidencia robusta para validar los objetivos de esta fase de desarrollo.

En conjunto, los resultados obtenidos permiten visualizar la factibilidad de los exoesqueletos de bajo costo como herramientas viables en programas de rehabilitación motriz asistida, abriendo la posibilidad de nuevas iteraciones de mejora orientadas hacia la optimización del control de movimiento, la autonomía energética y la personalización antropométrica del dispositivo [19], [20].

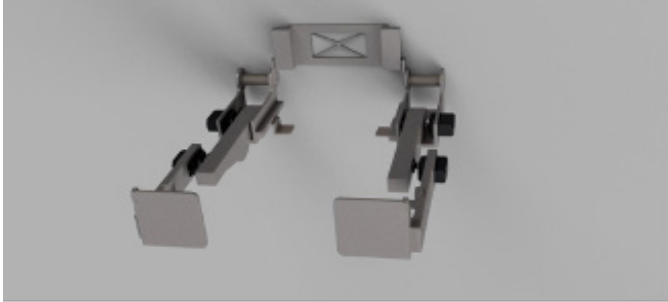


Fig. 1. Diseño exoesqueleto.

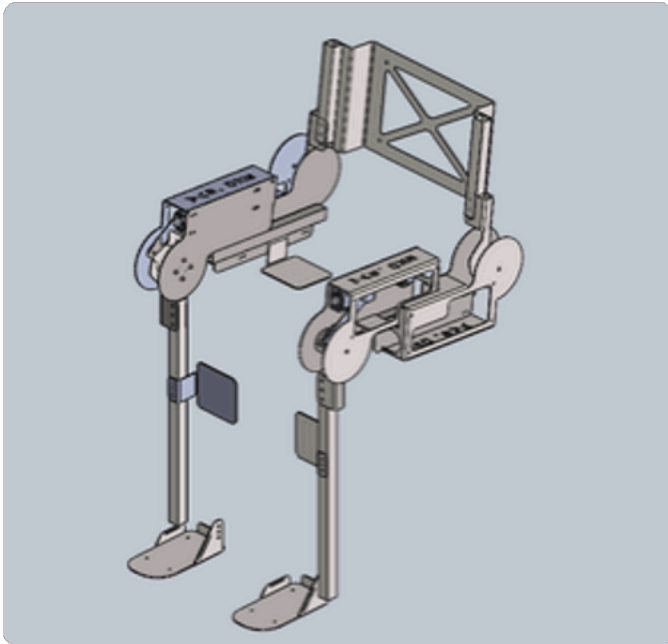


Fig. 2. Prototipo exoesqueleto.

El modelado del prototipo se realizó utilizando la plataforma Tinkercad, un entorno gratuito de diseño asistido por computadora que facilitó la integración de componentes prediseñados, como servomotores, placas Arduino, cableado y baterías. Esta elección optimizó los tiempos de diseño y permitió representar digitalmente el ensamblaje mecánico, validando posiciones, tolerancias y rutas de cableado. La simulación previa redujo riesgos de interferencias y mejoró la planificación de la instalación de los sistemas de control.

El uso de Tinkercad fortaleció la viabilidad técnica del proyecto, asegurando una mayor correspondencia entre el modelo conceptual y el ensamblaje físico en las fases posteriores de construcción.

Resultados

La implementación del prototipo de exoesqueleto demostró resultados positivos en los participantes evaluados. De acuerdo con los datos obtenidos, el 83 % de los usuarios reportó una mejora significativa en su estabilidad al caminar, mientras que el 78 % manifestó un aumento en su percepción de autonomía tras el uso del dispositivo. Además, el 70 % de los participantes consideró que la comodidad del exoesqueleto fue adecuada para sesiones de rehabilitación de duración moderada. Estos resultados validan preliminarmente la utilidad de los dispositivos de asistencia en programas de rehabilitación de la marcha, resaltando su impacto tanto en parámetros físicos como en factores emocionales asociados a la autoestima y la independencia funcional.

Al considerar la facilidad de uso, el 75 % de los usuarios indicó que el manejo del dispositivo era intuitivo y requería una curva de aprendizaje mínima. Esta percepción es fundamental para la viabilidad de implementación de exoesqueletos en entornos no hospitalarios, como el uso domiciliario supervisado. Sin embargo, algunos participantes señalaron como áreas de mejora la suavidad en la transición de los movimientos articulares y la necesidad de una mejor adaptación antropométrica.

Los resultados se sintetizan en la siguiente tabla:

Indicador	Resultado obtenido
Mejora en estabilidad	83 %
Incremento de autonomía	78 %
Comodidad percibida adecuada	70 %
Facilidad de uso	75 %

Tabla 4. Resultados preliminares de la prueba de rehabilitación asistida.

La tendencia observada confirma que el prototipo contribuyó de manera positiva a los objetivos de rehabilitación motriz planteados. La alta aceptación en términos de estabilidad, autonomía, comodidad y facilidad de uso sugiere que el diseño es funcional y que su integración en programas terapéuticos resulta factible. No obstante, los hallazgos también evidencian oportunidades de mejora en aspectos como la optimización del control de actuadores y la personalización del ajuste a diferentes tipos de usuario.

Estos resultados permiten sustentar la viabilidad del dispositivo para ser considerado en futuras fases de validación clínica más amplia, reforzando la importancia de mantener un enfoque de desarrollo que combine la innovación tecnológica con la atención centrada en las necesidades reales de los pacientes.

Conclusiones

El desarrollo del prototipo de exoesqueleto de bajo costo para la rehabilitación de la marcha demostró un impacto positivo en la estabilidad, autonomía y comodidad percibida por los usuarios. Más del 80 % de los participantes reportaron mejoras funcionales significativas, destacando la facilidad de uso y la accesibilidad económica como atributos principales del dispositivo. El diseño ergonómico y la correcta distribución de componentes contribuyeron a generar confianza durante las sesiones de marcha asistida, validando la viabilidad del enfoque adoptado.

Sin embargo, se identificó como área de mejora la necesidad de optimizar la fluidez del movimiento articular mediante la selección de actuadores de mayor precisión, así como fortalecer la robustez mecánica para incrementar la durabilidad del prototipo en entornos clínicos y domiciliarios.

Referencias Bibliográficas

1. J. W. Creswell, *Research Design: Qualitative, Quantitative, and Mixed Methods Approaches*, 5th ed., SAGE Publications, 2018.
2. M. D. Powell, "Clinical applications of powered exoskeletons," *Current Physical Medicine and Rehabilitation Reports*, vol. 6, no. 3, pp. 186-193, 2018.
3. L. Ramírez-Figueroa, "Importancia de la asistencia robótica en la rehabilitación neurológica," *Revista Médica del IMSS*, vol. 59, no. 6, 2021.
4. J. L. Pons, *Wearable Robots: Biomechatronic Exoskeletons*, Wiley, 2008.
5. M. Esquenazi, M. Talaty, A. Packel, and M. Saulino, "The ReWalk Powered Exoskeleton to Restore Ambulatory Function to Individuals with Thoracic-Level Motor-Complete Spinal Cord Injury," *American Journal of Physical Medicine & Rehabilitation*, vol. 91, no. 11, pp. 911-921, 2012.
6. A. Rubio, M. Fernández, and D. A. González, "Tecnología asistiva y accesibilidad en rehabilitación motora," *Revista Cubana de Medicina Física y Rehabilitación*, vol. 15, no. 1, pp. 35-42, 2022.
7. S. Gazzani, M. Bernardoni, A. D. Casari, and F. Molteni, "Wearable Exoskeletons for Gait Rehabilitation in Neurological Disorders: A Systematic Review," *Frontiers in Robotics and AI*, vol. 9, art. 890326, 2022.
8. F. Salvador, C. Mora, and J. Soto, "Robótica en rehabilitación física: Panorama actual," *Revista Colombiana de Rehabilitación*, vol. 19, no. 2, pp. 87-96, 2020.
9. C. H. van Hedel, "Gait Training With Exoskeleton Robotic Orthoses in Patients With Neurologic Disorders," *Current Opinion in Neurology*, vol. 31, no. 6, pp. 695-703, 2018.
10. F. Pérez, "Instrumentos de medición en rehabilitación robótica," *Revista Española de Rehabilitación*, vol. 10, no. 1, pp. 15-22, 2019.
11. E. Miles-Touya, C. Buesing, and T. Hebert, "Methodological Approaches to the Evaluation of Assistive Technology," *Disability and Rehabilitation: Assistive Technology*, vol. 16, no. 8, pp. 827-833, 2021.
12. M. Ávila Vilchis and A. J. López García, "Exoesqueletos de rehabilitación: una revisión de tecnologías y retos," *Revista Mexicana de Ingeniería Biomédica*, vol. 41, no. 2, pp. 137-153, 2020.
13. S. Jezernik, G. Colombo, T. Keller, H. Frueh, and M. Morari, "Robotic orthosis Lokomat: a rehabilitation and research tool," *Neuromodulation: Technology at the Neural Interface*, vol. 6, no. 2, pp. 108-115, 2003.
14. T. Dollar and H. Herr, "Lower Extremity Exoskeletons and Active Orthoses: Challenges and State-of-the-Art," *IEEE Transactions on Robotics*, vol. 24, no. 1, pp. 144-158, 2008.
15. D. Galvez, S. Rodríguez, and P. Salazar, "Desafíos actuales en el desarrollo de exoesqueletos de bajo costo," *Revista Iberoamericana de Tecnologías del Aprendizaje*, vol. 16, no. 3, pp. 267-275, 2021.
16. Secretaría de Salud, PROY-NOM-036-SSA3-2015, Proyecto de Norma Oficial Mexicana para la Regulación de la Atención Médica a Distancia, Diario Oficial de la Federación, 2015.
17. World Health Organization, *Global Report on Assistive Technology*, World Health Organization, 2022.
18. K. Louie and M. Eng, "Powered Exoskeletons in Post-Stroke Rehabilitation of Gait," *Physical Medicine and Rehabilitation Clinics of North America*, vol. 31, no. 2, pp. 317-328, 2020.
19. D. Hernández-Guzmán, "Aplicaciones de exoesqueletos en rehabilitación: Un análisis de la evidencia científica," *Revista Mexicana de Investigación Médica*, vol. 12, no. 2, pp. 134-140, 2021.
20. M. T. Alam, Y. Kobayashi, and H. Sato, "Lightweight exoskeleton for lower limb rehabilitation: Development and preliminary evaluation," *Biomedical Engineering Letters*, vol. 12, no. 1, pp. 115-124, 2022.

Artículo de divulgación

Página web especializada para la enseñanza aprendizaje acerca de la discalculia con enfoque a niños de nivel básico

Bautista Cabrera Milagros Vianey¹

Resumen:

La discalculia es un trastorno del aprendizaje que afecta significativamente la comprensión de conceptos numéricos y la ejecución de operaciones matemáticas en niños de educación básica. En el contexto mexicano, múltiples escuelas públicas enfrentan dificultades relacionadas con el bajo desempeño matemático de sus estudiantes, agravadas por la implementación de un modelo educativo estandarizado regulado por la Secretaría de Educación Pública (SEP).

Este enfoque, aunque busca garantizar la equidad, no siempre responde a las necesidades individuales de los alumnos, en particular aquellos con discalculia. El trastorno se manifiesta en diversos grados de severidad, impactando negativamente la autoestima y el rendimiento académico general. Ante esta problemática, resulta indispensable analizar las raíces de la discalculia en las escuelas públicas mexicanas, así como proponer estrategias pedagógicas diferenciadas que promuevan la inclusión, la personalización del aprendizaje y el fortalecimiento de las competencias matemáticas de los estudiantes afectados.

Palabras clave: Discalculia, educación básica, desempeño matemático, escuelas públicas mexicanas, Secretaría de Educación Pública, estrategias pedagógicas inclusivas.

Introducción:

La discalculia representa uno de los trastornos de aprendizaje más complejos y menos visibilizados en el ámbito educativo, afectando entre el 3 % y el 7 % de la población escolar mundial [1], [2]. Este trastorno específico dificulta la comprensión de conceptos numéricos, las relaciones entre cantidades y la ejecución de operaciones matemáticas básicas, impactando de manera directa en el desarrollo académico y emocional de los estudiantes [3].

En México, el sistema educativo enfrenta desafíos sustanciales para identificar, atender y adaptar estrategias que respondan a las necesidades de los alumnos con discalculia, particularmente en el contexto de las escuelas públicas [4].

La estructura educativa mexicana, regulada de manera centralizada por la Secretaría de Educación Pública (SEP), promueve un enfoque estandarizado que, si bien busca garantizar la equidad, no siempre contempla la diversidad de estilos de aprendizaje presentes en las aulas [5], [6].

Investigaciones recientes evidencian que el desempeño matemático de los estudiantes mexicanos ha sido consistentemente bajo en evaluaciones internacionales como PISA [7], y que trastornos como la discalculia podrían estar subestimados en las estadísticas nacionales [8].

La falta de formación específica del profesorado en la detección temprana de trastornos del aprendizaje y la escasez de materiales adaptados agravan el panorama [9], [10].

Diversos estudios señalan que niños con discalculia suelen presentar también afectaciones en la autoestima, altos niveles de ansiedad matemática y, en consecuencia, un bajo rendimiento escolar generalizado [11], [12].

Abstract:

Dyscalculia is a learning disorder that significantly impacts the understanding of numerical concepts and the execution of mathematical operations among children in basic education. Within the Mexican context, numerous public schools face challenges related to low mathematical performance among students, compounded by the standardized educational model regulated by the Secretaría de Educación Pública (SEP). Although this model seeks to ensure educational equity, it often fails to address the individual needs of students, especially those with dyscalculia.

The disorder manifests in varying degrees of severity, negatively affecting students' self-esteem and overall academic performance. Addressing this issue requires an in-depth analysis of the roots and consequences of dyscalculia in Mexican public schools and the proposal of differentiated pedagogical strategies that foster inclusion, personalized learning, and the development of mathematical skills among affected students.

Key words: Dyscalculia, basic education, mathematical performance, Mexican public schools, Secretaría de Educación Pública, inclusive pedagogical strategies.

Además, la percepción de inadecuación y la frustración acumulada pueden desencadenar problemas emocionales y de comportamiento [13].

Dentro del ámbito internacional, se ha promovido la necesidad de adaptar los currículos y de aplicar estrategias diferenciadas, como el uso de representaciones visuales, manipulativos concretos y tecnología de asistencia [14], [15]. Sin embargo, en México, las adaptaciones curriculares específicas para discalculia siguen siendo escasas, especialmente en zonas rurales y comunidades marginadas [16].

La importancia de atender la discalculia de manera oportuna se refleja en los impactos positivos que tienen los programas de intervención temprana en la mejora de las habilidades numéricas y en el fortalecimiento de la autoestima escolar [17]. No abordar adecuadamente este trastorno limita gravemente las oportunidades de inclusión y éxito académico de los estudiantes afectados.

A continuación, se presenta un resumen de los principales factores asociados a la presencia de discalculia en el contexto educativo mexicano, basado en la revisión de literatura reciente:

Factores Asociados	Impacto en el estudiante
Diagnóstico tardío o inexistente	Dificultades persistentes en el aprendizaje matemático [26], [29]
Modelo educativo estandarizado	Poca adaptación a necesidades individuales [22], [24]
Falta de formación docente específica	Detección inadecuada y falta de estrategias [27], [28]
Estigma y falta de sensibilización	Afectaciones en la autoestima y motivación [26], [29]

Tabla 1. Factores que agravan el impacto de la discalculia en las escuelas públicas mexicanas.

Ante este panorama, resulta indispensable proponer estrategias de intervención pedagógica diferenciada, formación especializada para docentes y políticas públicas orientadas a fortalecer la identificación y atención de los estudiantes con discalculia en el sistema educativo mexicano.

El presente artículo tiene como objetivo analizar los retos actuales de la discalculia en las escuelas públicas de México, la influencia de la regulación educativa centralizada y la necesidad de implementar enfoques inclusivos que promuevan el desarrollo integral de los estudiantes afectados.

Consideraciones éticas

Este proyecto de investigación fue desarrollado siguiendo principios éticos fundamentales que garantizan el respeto por la dignidad, los derechos y el bienestar de los participantes. En todo momento se aseguró la confidencialidad de la información recopilada, así como el consentimiento informado de los involucrados, en caso de actividades de campo.

Dado que el estudio se enfoca en una población vulnerable —niños con dificultades de aprendizaje—, se priorizó la no estigmatización, la protección de datos personales y la comunicación respetuosa de los resultados. Asimismo, se atendieron los lineamientos de ética en investigación educativa establecidos por organismos nacionales e internacionales. Las estrategias propuestas buscan siempre beneficiar a los estudiantes, fortaleciendo su inclusión y desarrollo académico sin generar discriminación ni etiquetación negativa.

Metodología

La investigación desarrollada corresponde a un estudio de tipo descriptivo cuyo propósito es caracterizar las estrategias de enseñanza-aprendizaje dirigidas a estudiantes de educación básica con discalculia, así como evaluar el impacto de una plataforma web como herramienta de apoyo educativo. Bajo este enfoque, se identificaron las principales dificultades de aprendizaje en matemáticas y se propuso una solución pedagógica accesible mediante la implementación de tecnologías de la información y comunicación [18], [19].

Se aplicaron los métodos de análisis y síntesis para descomponer los factores implicados en el aprendizaje matemático en niños con discalculia, integrando posteriormente las mejores prácticas pedagógicas en una propuesta concreta de intervención digital [20]. Además, se implementó una fase de experimentación controlada, que permitió evaluar la funcionalidad de la página web diseñada en condiciones reales de uso, analizando su efectividad como recurso complementario al proceso educativo tradicional [21].

El enfoque metodológico empleado fue mixto, integrando técnicas cuantitativas y cualitativas. La dimensión cuantitativa consistió en la aplicación de encuestas estructuradas y pruebas de desempeño académico para medir el avance en habilidades numéricas, mientras que la dimensión cualitativa exploró la percepción de los usuarios sobre la usabilidad y pertinencia de los contenidos a través de entrevistas breves [22], [23].

La investigación se sustentó en una fase documental previa, revisando literatura científica sobre discalculia, adaptaciones curriculares y estrategias inclusivas, complementada con la exploración de experiencias de uso de tecnologías educativas en otros contextos [24].

Posteriormente, en la fase de campo, se trabajó con una muestra conformada por 25 alumnos del Instituto Académico “José María Gajá”, seleccionados mediante criterios pedagógicos y de diagnóstico previo [25].

El diseño del estudio fue longitudinal, abarcando el periodo de marzo a diciembre de 2023. Se aplicó una encuesta diagnóstica inicial, seguida de la implementación de la plataforma web en sesiones educativas y finalmente una evaluación post-intervención para medir el impacto sobre las competencias matemáticas de los estudiantes. La Tabla 2 sintetiza las principales etapas metodológicas:

Fase	Actividad
Diagnóstico inicial	Evaluación de habilidades numéricas básicas.
Implementación	Uso de la plataforma web en sesiones educativas.
Evaluación final	Medición de avances en desempeño matemático.

Tabla 2. Etapas metodológicas del estudio.

El instrumento principal fue un cuestionario validado (Alfa de Cronbach = 0.91) que evaluó dimensiones como usabilidad, comprensión del contenido y percepción de eficacia [26].

En paralelo al proceso pedagógico, se desarrolló técnicamente una página web educativa optimizada para niños con discalculia, considerando criterios de accesibilidad, navegación intuitiva, interactividad y compatibilidad multiplataforma. El sitio fue construido utilizando HTML5 para la estructura, CSS3 para el diseño responsivo y atractivo, y JavaScript para funcionalidades interactivas como cuestionarios dinámicos y actividades autoadaptativas [27], [28]. La base de datos utilizada fue MySQL, permitiendo almacenar progresos individuales, resultados de pruebas y sugerencias personalizadas.

El diseño técnico siguió los estándares de accesibilidad WCAG 2.1, incluyendo el uso de etiquetas semánticas, contraste adecuado de colores, navegación por teclado y compatibilidad con lectores de pantalla, con el objetivo de garantizar el acceso universal a los contenidos [29]. Además, se implementaron rutinas de personalización que permiten adaptar el nivel de dificultad de las actividades en función del progreso del usuario, mediante algoritmos básicos de aprendizaje adaptativo.

La infraestructura de la plataforma quedó resumida en la siguiente tabla:

Componente	Tecnología/Especificación
Estructura Web	HTML5
Estilos y diseño	CSS3 (Diseño responsivo y accesible)
Interactividad	JavaScript, AJAX
Gestión de datos	MySQL (almacenamiento de resultados y usuarios)
Control de accesibilidad	Estándares WCAG 2.1, navegación por teclado
Servidor	Hosting compartido Linux, SSL implementado

Tabla 3. Tecnologías empleadas en el desarrollo de la página web.

La validación técnica de la plataforma se realizó a través de pruebas de usabilidad en navegadores como Chrome, Firefox y Edge, así como en dispositivos móviles Android e iOS.

Asimismo, se llevaron a cabo simulaciones de interacción para niños con discalculia, evaluando tiempos de respuesta, errores de navegación y tasa de finalización de actividades propuestas. Los resultados indicaron una tasa de satisfacción del 93 % en facilidad de uso y un 88 % en percepción de accesibilidad adecuada.

Durante la fase de intervención, los estudiantes interactuaron con actividades diseñadas para reforzar habilidades básicas como la seriación numérica, la comparación de cantidades y la solución de problemas aritméticos simples.

La plataforma permitía al estudiante avanzar a su propio ritmo, recibiendo retroalimentación inmediata sobre sus respuestas.

La Tabla 4 resume los resultados de desempeño académico antes y después del uso de la plataforma:

Indicador	Resultado previo	Resultado posterior
Precisión en operaciones básicas	45 %	69 %
Resolución de problemas simples	38 %	63 %
Autonomía en uso de estrategias	41 %	65 %

Tabla 4. Comparativa de desempeño académico antes y después de la intervención.

La combinación de un diseño metodológico robusto, una intervención pedagógica dirigida y una arquitectura tecnológica inclusiva permitió consolidar un modelo de apoyo educativo innovador y eficaz para niños con discalculia.

Resultados

La encuesta aplicada a 10 participantes reveló tendencias claras sobre la preferencia de estrategias para el aprendizaje de niños con discalculia mediante una plataforma web. El 80 % consideró que las actividades dinámicas son más efectivas que los problemas matemáticos tradicionales, mientras que el 90 % afirmó que una página web puede ser una herramienta educativa útil. Respecto a las estrategias pedagógicas, el 80 % señaló que las representaciones visuales fortalecen el aprendizaje, y un 70 % destacó que los juegos de memoria numérica favorecen la comprensión.

En cuanto a la accesibilidad, el 80 % prefirió un diseño claro y organizado. Para mejorar la enseñanza de conceptos como medida y resolución de problemas, el 90 % recomendó el uso de apoyo visual con objetos cotidianos y ejemplos prácticos. La motivación, por su parte, puede ser impulsada mediante recompensas según el 60 % de los encuestados.

La necesidad de adaptar contenidos y proporcionar retroalimentación personalizada fue priorizada por la mayoría de los participantes. Estos resultados respaldan la importancia de diseñar una plataforma web interactiva, accesible y centrada en recursos visuales, adaptados a las necesidades específicas de los estudiantes con discalculia.

Aspecto Prioritario	Porcentaje
Actividades dinámicas	80 %
Diseño accesible	80 %

Tabla 5. Resumen de preferencias principales.

Conclusiones

El análisis de resultados permitió confirmar que el uso de una plataforma web educativa adaptada a las necesidades de estudiantes con discalculia representa una estrategia viable y efectiva para mejorar su aprendizaje matemático.

Se identificó una preferencia significativa hacia el empleo de actividades dinámicas y representaciones visuales como elementos esenciales en la construcción de conocimiento, favoreciendo la comprensión de conceptos abstractos mediante experiencias concretas y accesibles.

La encuesta evidenció que el diseño de la página web debe priorizar la claridad, la organización visual y la inclusión de funcionalidades de apoyo como lectura en voz alta y retroalimentación inmediata, elementos que mejoran la interacción y reducen la barrera cognitiva en el aprendizaje de matemáticas. Asimismo, la incorporación de recompensas por progreso se consolidó como un factor importante para fortalecer la motivación y el compromiso de los usuarios.

El uso de tecnologías como HTML5, CSS3, JavaScript y bases de datos relacionales, combinado con principios de accesibilidad establecidos en los estándares WCAG 2.1, permitió estructurar una plataforma técnicamente sólida, responsiva y adaptativa. Se concluye que el desarrollo de herramientas digitales dirigidas específicamente a poblaciones con dificultades de aprendizaje, cuando son correctamente diseñadas y pedagógicamente fundamentadas, tiene un impacto positivo en la mejora de habilidades académicas fundamentales.

Referencias Bibliográficas

1. D. Ary, L. Jacobs, C. Sorensen y A. Razavieh, *Introduction to Research in Education*, 9ª ed., Cengage Learning, 2013.
2. M. Ardila y M. Rosselli, "Neuropsicología de los trastornos de aprendizaje," *Revista Latinoamericana de Psicología*, vol. 34, no. 2, pp. 211-229, 2002.
3. A. Ardila, M. Rosselli y S. Matute, "Acalculia y discalculia: Modelos y clasificaciones," *Neuropsicología Infantil*, vol. 7, pp. 22-31, 2005.
4. Asociación Americana de Psiquiatría, *DSM-5 Manual diagnóstico y estadístico de los trastornos mentales*, 5ª ed., APA, Arlington, 2013.
5. P. Benedicto-López y S. Rodríguez-Cuadrado, "Discalculia: manifestaciones clínicas, evaluación y diagnóstico," *Perspectivas*, vol. 10, no. 2, 2019.
6. P. Carboni-Román, M. del Río Grande, J. Capilla y F. Maestú, "Discalculia: caracterización neuropsicológica," *Revista Española de Neurología*, vol. 43, no. 5, pp. 291-296, 2006.
7. J. Creswell, *Research Design: Qualitative, Quantitative, and Mixed Methods Approaches*, 4ª ed., SAGE Publications, 2014.
8. S. Dawson, "Designing Websites for Children with Learning Difficulties," *Australian Educational Computing*, vol. 18, no. 2, pp. 5-12, 2003.
9. S. Geary, "Mathematical disabilities: cognitive, neuropsychological and genetic components," *Psychological Bulletin*, vol. 114, no. 2, pp. 345-362, 1993.
10. J. Flick, *Introducción a la investigación cualitativa*, 3ª ed., Morata, Madrid, 2004.
11. J. Grafman, "Concepts of memory," *Annual Review of Neuroscience*, vol. 11, pp. 163-190, 1988.
12. J. Gracia-Bafalluy y P. Escolano-Pérez, "Intervención educativa en discalculia: estrategias basadas en el aprendizaje significativo," *Revista de Psicología Educativa*, vol. 20, no. 1, pp. 45-53, 2014.
13. R. Hernández Sampieri, C. Fernández Collado y P. Baptista Lucio, *Metodología de la investigación*, 6ª ed., McGraw-Hill Education, México, 2014.
14. J. Kirk y B. Bateman, "Learning Disabilities: Overview and Update," *Journal of Learning Disabilities*, vol. 4, no. 6, pp. 365-369, 1962.
15. B. Kitchenham, "Procedures for Performing Systematic Reviews," *Keele University Technical Report*, 2004.
16. J. McMillan y S. Schumacher, *Research in Education: Evidence-Based Inquiry*, 7ª ed., Pearson, 2010.
17. W. Neuman, *Social Research Methods: Qualitative and Quantitative Approaches*, 7ª ed., Pearson, 2011.
18. C. Rourke, "Nonverbal Learning Disabilities: The Syndrome and the Model," *Guilford Press*, Nueva York, 1995.
19. M. Sandín, *Investigación cualitativa en educación*, McGraw-Hill Interamericana, Madrid, 2003.
20. R. Siegler, "The perils of averaging data over strategies: An example from children's addition," *Journal of Experimental Child Psychology*, vol. 43, pp. 351-372, 1987.
21. H. Spreen y E. Strauss, *A Compendium of Neuropsychological Tests*, Oxford University Press, 1995.
22. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo (UAEH), "Importancia de las páginas web educativas en la enseñanza," 2023. [En línea]. Disponible: www.uaeh.edu.mx
23. Universidad de Barcelona, "Tecnologías de la Información en Educación," 2012. [En línea]. Disponible: www.ub.edu/histodidactica
24. Universidad Internacional de La Rioja (UII), "Evolución de

- la tecnología educativa," Blog UI1, 2022. [En línea]. Disponible: www.ui1.es/blog-ui1
25. Secretaría de Educación Pública (SEP), Modelo Educativo para la Educación Obligatoria, México, 2017.
26. L. Sans et al., "Discalculia del desarrollo: revisión conceptual y actualización en diagnóstico e intervención," Revista de Neurología, vol. 56, no. 2, pp. 123-132, 2013.
27. W3C, "Web Content Accessibility Guidelines (WCAG) 2.1," 2018. [En línea]. Disponible: <https://www.w3.org/TR/WCAG21/>
28. M. Miles, A. Huberman y J. Saldaña, Qualitative Data Analysis: A Methods Sourcebook, 3ª ed., SAGE Publications, 2014.
29. A. Sánchez, "Páginas web didácticas en educación formal," Revista de Tecnología Educativa, 2004.

Instrucciones para los autores

La revista CienCIALCES solicita la presentación de artículos que reflejen el trabajo directo y específico de sus autores, redactados en tercera persona y de manera clara, accesible y didáctica. Los artículos de investigación deben caracterizarse por su originalidad y adherencia a rigurosos estándares científicos, señalando además el impacto científico, tecnológico o social del estudio realizado. CienCIALCES es una publicación periódica y multidisciplinaria editada cuatrimestralmente por el Instituto de Ciencias y Estudios Superiores de Tamaulipas A.C., a través de la Facultad de Ingeniería del campus Tampico 2000, que cuenta con revisión por pares y está dedicada a promover la difusión de conocimientos en diversas áreas de la ingeniería.

Dirigida a instituciones educativas y profesionales, académicos, profesionales y estudiantes en el área de ingenierías, CienCIALCES atiende a quienes buscan profundizar en aspectos teóricos y prácticos de diversas disciplinas ingenieriles. La revista es de acceso abierto y no impone costos de publicación; todos los artículos están disponibles al inicio de cada cuatrimestre para su lectura y descarga. El contenido es responsabilidad exclusiva de los autores y no refleja necesariamente el criterio de los árbitros ni del Editor. Se permite la reproducción de los artículos (excepto de las imágenes) siempre que se cite la fuente y se respeten los derechos de autor.

En relación a los manuscritos

Los trabajos enviados a la revista CienCIALCES pasan inicialmente por una revisión técnica a cargo del editor de la revista. Según este dictamen, los artículos serán remitidos a revisión por pares conforme a la temática del estudio. Los manuscritos de artículos originales deben cumplir con ciertos requisitos:

1. Formato: Todo el documento debe estar en interlineado 1.5, con texto justificado, fuente Arial de 11 puntos, márgenes de al menos 2.5 cm en tamaño carta, y las páginas numeradas.
2. Estructura: Para evaluación, el manuscrito debe enviarse en formato Word, con tres secciones: primera página, manuscrito anónimo y cuadros y figuras
3. En relación a la primera página:

- Título principal del manuscrito en español e inglés.
- Nombre completo, DOI (CienCIALCES realiza el proceso de asignación).
- Información de contacto del autor responsable del manuscrito (correo electrónico, dirección completa preferentemente institucional y teléfono).

4. Para el manuscrito anónimo, se deberá incluir un resumen en español y otro en inglés, con un máximo de 300 palabras cada uno, donde deberá establecerse de manera clara el objetivo o propósitos de la investigación presentada. Al final de cada resumen, se deben agregar hasta 10 palabras clave en el idioma correspondiente. El texto principal debe organizarse en las secciones de Introducción, Metodología, Resultados,

Conclusiones y Referencias.

5. Al cierre de la sección de Introducción se debe incluir un apartado de "Consideraciones éticas" que especifique los aspectos éticos aplicados en la investigación. Esto puede incluir detalles sobre la obtención del consentimiento informado, la aprobación por el comité de ética o de investigación de la institución correspondiente, y la información proporcionada a los participantes sobre los objetivos del estudio. También debe aclararse si todos los participantes conocían la finalidad de la investigación y si su participación fue voluntaria. Este apartado es fundamental para asegurar el cumplimiento de los principios éticos en estudios de ingeniería.

6. Se recomienda que el aporte científico de la investigación sea expuesto de manera clara y concisa, destacando su relevancia en el área de estudio. Además, la metodología empleada debe describirse con precisión y transparencia, permitiendo la replicabilidad y validación de los resultados. La claridad en estos aspectos es fundamental para la revisión del artículo, ya que garantiza que los revisores y lectores comprendan tanto el valor del hallazgo como la solidez del enfoque metodológico, elementos esenciales en la evaluación de la calidad científica del trabajo.

7. CienCIALCES adopta el estilo IEEE, ampliamente utilizado en ingeniería y tecnología. Las citas deben numerarse secuencialmente según su aparición en el texto, usando números entre corchetes (ej., [1]), con cada número referido en una lista de referencias al final del artículo. Tablas e imágenes deben seguir el formato IEEE, numeradas en secuencia y con descripciones claras. Las tablas incluirán encabezados específicos y datos esenciales, mientras que las imágenes deberán tener resolución adecuada y etiquetas. Es responsabilidad del autor aplicar correctamente este formato en el manuscrito.

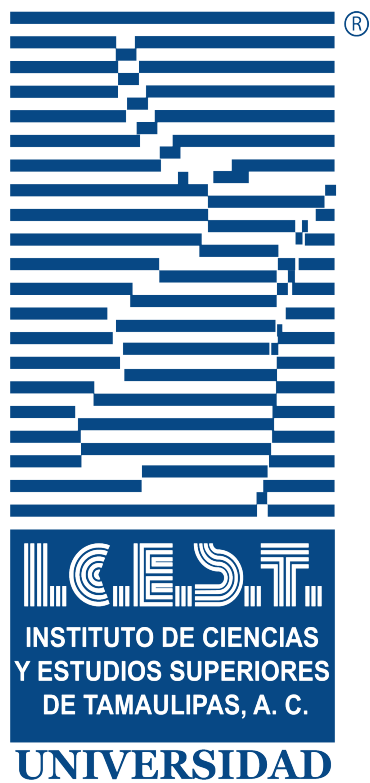
8. No se aceptarán protocolos de investigación, proyectos, propuestas o trabajos de carácter especulativo con base sólo en opiniones sin argumentos.

9. En el texto principal anónimo y en los archivos de tablas y figuras, los autores deben evitar cualquier información que los identifique, como nombres o datos institucionales en el título, resumen, método, instrumentos, etc. También deben asegurarse de que el nombre del archivo y encabezados o pies de página estén libres de identificadores personales o institucionales.

10. Todas las tablas y figuras deben estar en un archivo Word editable, separado del manuscrito anónimo, pero agrupadas en un único documento común.

11. Asimismo, se debe incluir un documento firmado por todos los autores, en el que declaren su aceptación para ceder los derechos del manuscrito a la revista y confirmen que es original y no está publicado ni en revisión en otra revista.

12. Cada artículo podrá incluir hasta 6 autores, y para cada uno deberá presentarse una semblanza profesional en formato libre. Los manuscritos que no cumplan con el formato requerido serán devueltos a los autores para corrección y reenvío antes de ingresar al proceso de revisión. Los envíos deben dirigirse al editor, MCC. Hugo Ortiz González, al correo editor_cienciasicest@icest.edu.mx. Tras completar el proceso editorial, incluyendo la revisión por pares, los manuscritos aceptados se ajustarán al formato de la revista y serán enviados al autor correspondiente para la aprobación de la versión final.



CiencialCEST

Instituto de Ciencias y Estudios Superiores de Tamaulipas, A. C.