

ISSN: en trámite

Año 3. Vol. 1 Núm. 2 Julio-Diciembre 2023

IDEAS EN CIENCIAS DE LA INGENIERÍA

Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma del Estado de México

Caracterización de reflectancia espectral y concentración de SST en cuerpos de agua continental a nivel mundial

Evaluación de la calidad de servicio de un sistema eléctrico de transporte de pasajeros

Detección del género de un autor en textos en español

Diseño y desarrollo de una terapia asistida por robot de muñeca basada en juegos serios

Implementación de sensor IMU para la asistencia de nivel en grúas todoterreno





Universidad Autónoma del Estado de México

Equipo Editorial

Directora editorial: Dra. Rosa María Valdovinos Rosas

Asesor científico: Dr. Rigoberto Martínez Méndez

Asesora de redacción: Dra. Mireya Salgado Gallegos

Colaborador editorial: Dr. Javier Salas García

Comité Editorial

Universidad Autónoma del Estado de México

Dra. Lourdes Loza Hernández

Dra. María Dolores Durán García

Dr. Jaime de la Colina Martínez

Universidad Politécnica de Valencia, España

Dra. Angélica Guzmán Ponce

Universidad Autónoma de Guerrero

Dr. Juan Manuel Esquivel Martínez

Editora Invitada

Dra. Angeles Belém Priego Sánchez

UAM (Azcapotzalco) - Universidad Autónoma Metropolitana

IDEAS EN CIENCIAS DE LA INGENIERÍA, año 3 , Vol. 1, Núm. 2, julio-diciembre 2023, es una Publicación semestral editada por la Universidad Autónoma del Estado de México, Instituto Literario 100 Ote., Colonia Centro, Toluca, Estado de México, C.P. 50000, Tels. 7222-14-08-55, <https://hemeroteca.uaemex.mx/index.php/ideasingeneria>, ideasencienciai_fi@uaemex.mx. Directora: Rosa María Valdovinos Rosas, Facultad de Ingeniería, Ciudad Universitaria, Cerro de Coatepec s/n, Toluca, Estado de México, C.P. 50130, Tel. 7222140855. Reserva de Derechos al Uso Exclusivo no. 04-2017- 072110111500-203, ISSN: en trámite, ambos otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor (INDAUTOR). Responsables de la última actualización de este número, Mireya Salgado Gallegos y Javier Salas García, Facultad de Ingeniería. Diseño de portada y Diseño Editorial, Javier Salas García. Fecha de última modificación: 21 de agosto de 2023.

Las opiniones expresadas por los autores no necesariamente reflejan la postura del editor de la publicación. Se autoriza la reproducción total o parcial del contenido aquí publicado sin fines de lucro, siempre y cuando no se modifique, se cite la fuente completa y su dirección electrónica en términos de licencia aplicable. Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-SinObraDerivada 4.0 Internacional (CC BY-NC).

Hecho en México, Universidad Autónoma del Estado de México (UAEMEX), 2023.



CONTENIDO

Pág.

Carta de la Editora

Dra. Angeles Belém Priego Sánchez

2

Caracterización de reflectancia espectral y
concentración de SST en cuerpos de agua continental
a nivel mundial

Cruz-Retana, A.; Fonseca-Ortiz, C.; Becerril-Piña, R.;
Gómez-Albores, M. A.

4

Evaluación de la calidad de servicio de un sistema
eléctrico de transporte de pasajeros

Romero-Torres, J.; Loza-Hernández, L.

19

Detección del género de un autor en textos en
español

Priego-Sánchez, B.; Pinto, D.

32

Diseño y desarrollo de una terapia asistida por robot
de muñeca basada en juegos serios

Sánchez-Carmona, I.L.; Sandoval-González, O.O.

46

Implementación de sensor IMU para la asistencia de nivel en
grúas todoterreno

Granados-Salazar, L.G.; Flores-Cuautle, J.J.A.;
Rodríguez-Jarquín, J.P.; Lara-Hernández, G.

62

Carta de la Editora

Dra. Angeles Belém Priego Sánchez



La innovación tecnológica ha permitido desarrollar soluciones más eficientes y sostenibles, reduciendo el impacto ambiental de la humanidad mientras la investigación científica ha proporcionado las bases teóricas y empíricas para comprender los procesos ambientales y desarrollar estrategias para su preservación y restauración; por su parte, la educación ha sido crucial para fomentar dichos avances científicos y tecnológicos necesarios para construir un futuro sustentable. La tecnología y la ciencia son dos campos interrelacionados; sin embargo, ambos son distintos y han

tenido un impacto profundo en la sociedad y en el avance de la humanidad; además, en conjunto han dado lugar a numerosos avances que han transformado la sociedad, como la revolución industrial, la exploración espacial, la informática, la medicina moderna, las energías renovables y muchas otras áreas. Ambos campos continúan evolucionando y contribuyendo al progreso humano de maneras diversas y emocionantes. En este número se presentan trabajos inéditos que abordan temas que conjuntan la ciencia y la tecnología, dos campos transdisciplinarios que han cruzado límites sociales y humanos impactando positivamente el desarrollo científico de la humanidad.

El agua es una sustancia esencial para la vida en la Tierra, ya que es fundamental para la supervivencia de todos los seres vivos, es un bien preciado alrededor del mundo y es importante que las personas sean conscientes de su uso y tomen medidas para conservarla y protegerla. La calidad del agua se refiere a la pureza y seguridad de ésta para su uso y consumo, es importante asegurarse de que el agua esté libre de contaminantes y sustancias nocivas que puedan representar riesgos para la salud humana y el medio ambiente; al respecto, en el artículo Caracterización de reflectancia espectral y concentración de SST en cuerpos de agua continental a nivel mundial, se realiza un estudio centrado en la medición de la Calidad del Agua en relación con los Sólidos Suspendidos Totales (SST). Para ello, se analizan bajo diferentes condiciones de estacionalidad y latitud 48 cuerpos de agua correspondientes a ríos, lagos, lagunas y presas, distribuidos en los 5 continentes; con la intención de identificar similitudes y diferencias en la estimación de SST por medio de reflectancias. Para garantizar la calidad del agua, se requieren medidas de conservación, protección de fuentes de agua, sistemas de tratamiento adecuados y regulaciones estrictas sobre la gestión de desechos, como los presentados en este trabajo.

La calidad se refiere a la medida en la que algo cumple con ciertos estándares, criterios o expectativas establecidas. Puede aplicarse a una amplia variedad de contextos, desde productos y servicios hasta experiencias y condiciones. En términos generales, la calidad se relaciona con la excelencia, la eficiencia y la capacidad de satisfacer necesidades o requerimientos específicos. Otro trabajo que considera la medición de la calidad, pero en

el transporte de pasajeros es denominado Evaluación de la calidad de servicio de un sistema eléctrico de transporte de pasajeros. En el estudio, los autores identifican y valoran los factores que intervienen en el sistema de transporte público trolebús de la empresa Servicio de Transportes Eléctricos de la Ciudad de México (STECDMX) utilizando un sistema basado en encuestas a usuarios de la línea A1 de trolebús.

El uso de las plataformas digitales en las que las redes sociales y otros medios son ampliamente subvencionados hoy día, el anonimato de quienes escriben sus opiniones puede verter matices en ocasiones poco deseadas. Al respecto, una solución tecnológica propuesta para identificar de forma oportuna acciones en temas de género es la realizada en el artículo Detección de género de un autor en textos en español, en el cual con la ayuda de algoritmos de machine learning se analizan textos de comentarios en español; la idea primordial es (a partir de textos) buscar a través de atributos sociolingüísticos generales a grupos de autores, más no la identificación de un autor en particular. Dichos atributos son además indicadores de como los distintos grupos de autores emplean el lenguaje dependiendo de su género, rango de edad y/o lenguaje nativo.

El aspecto asistencial, es otra área en la que la ciencia y tecnología ha incurrido con resultados importantes, en diferentes áreas como la educación, la salud, el ambiente, por mencionar algunos campos. Para el caso de salud, en el artículo Diseño y desarrollo de una terapia asistida por robot de muñeca basada en juegos serios los autores realizan la propuesta de un juego serio que pueda apoyar en la rehabilitación de muñeca que, en conjunto con un robot de rehabilitación de muñeca, brinda al profesional de la salud una herramienta para la rutina de rehabilitación.

De forma semejante en el artículo Implementación de sensor IMU para la asistencia de nivel en grúas todoterreno con la utilización de software y herramientas de acceso libre se llevó a cabo el desarrollo de un inclinómetro para ser utilizado en grúas todoterreno con el fin de asistir al operador en la nivelación de la grúa y de este modo disminuir los costos de fabricación del inclinómetro, innovar y satisfacer la necesidad actual.

La actualidad de los temas presentados, en este número, definitivamente proporciona avances tecnológicos innovadores que han tenido un impacto significativo en varios aspectos de nuestras vidas y sobre todo dan frente a los desafíos de nuestra sociedad desde diversos ámbitos como ambientales, económicos, sostenibles e inclusivos; por lo cual, en este volumen se comparten los emocionantes avances tecnológicos que están ocurriendo en estos días. La tecnología está cambiando rápidamente la forma en que vivimos e interactuamos con el mundo; desde la inteligencia artificial y la medicina avanzada hasta energías renovables y robótica, hay una serie de desarrollos sorprendentes que podrían ser de su interés. A través de estos trabajos, se promueve una invitación a sumergirse en este número que permite estar al tanto de las últimas innovaciones y cómo podrían impactar nuestro futuro.

Caracterización de reflectancia espectral y concentración de SST en cuerpos de agua continental a nivel mundial

Characterization of spectral reflectance and TSS concentration in continental water bodies worldwide

Cruz-Retana, A.^{1,2*} Fonseca-Ortiz, C.¹, Becerril-Piña, R.³, Gómez-Albores, M. A.¹, Hernández-Téllez, M.¹, Arévalo-Mejía, R.¹ (*acruzr665@alumno.uaemex.com)

Recibido: 19 de noviembre de 2022 Aceptado: 2 de agosto de 2023

RESUMEN

La medición de Parámetros de Calidad del Agua en relación con los Sólidos Suspendidos Totales (SST) en laboratorio considera la mayoría de las variables biofísicas que intervienen en los cuerpos de aguas (CA). Estas consideraciones son extrapoladas cuando la estimación se realiza a través de reflectancia (imágenes satelitales) por medio de regresiones. Las regresiones integran coeficientes calibradores para la estimación de SST incluyendo variables biofísicas, sin embargo, existen pocos estudios que consideran modelos conjuntos de CA (por umbrales de reflectancias, y cercanía entre cuerpos de agua). Por lo tanto, el presente estudio está orientado caracterizar CA bajo diferentes condiciones, en relación con la dispersión de las reflectancias y concentraciones de SST.

Este estudio se basa en 48 CA (lénticos y lóticos) distribuidos en 5 continentes en el mundo (intervalo de 0 a 60° Latitud). Este estudio se realizó con base en medidas de dispersión y tendencia central para conocer el comportamiento de los datos con el objetivo de identificar similitudes y diferencias en la estimación de SST por medio de reflectancias (extraídas de los productos Sentinel 2A y Landsat 8 OLI). La selección de los modelos se realizó con base en el coeficiente de determinación, raíz del Error Cuadrático Medio (RMSE). Los resultados obtenidos indican que la Banda 4, 5 y 6 del sensor Landsat y su concomitante a Sentinel (B8A=B5 y B11=B6 caso de sentinel) son representativos para los SST. De lo anterior, se identificaron 8 CA que presentan mayor varianza en reflectancia a diferencia del

¹Instituto Interamericano de Tecnología y Ciencias del Agua IITCA-UAEMex, Carretera Toluca-Atlaconulco km 14.1, Toluca, Estado de México.

²RED Lerma-IITCA-UAEMex. Carretera Toluca-Atlaconulco km 14.1, Toluca, Estado de México.

³Tecnológico de Estudios Superiores de Jocotitlán, TESJO, Carretera Toluca-Atlaconulco, km 28.1, Jocotitlán, México.



resto de CA.

Palabras clave: sensores remotos; calidad del

agua; Sólidos Suspendidos Totales; Landsat 8, Sentinel 2.

ABSTRACT

The measurement of Water Quality Parameters (WQP) in relation to Total Suspended Solids (TSS) in the laboratory considers most of the biophysical variables that intervene in water bodies (WB). These considerations are extrapolated when the estimate is made through reflectance (satellite images) by means of regressions. The regressions integrate calibrating coefficients for the estimation of SST including biophysical variables, however, there are few studies that consider joint models of WB (by reflectance thresholds, and proximity between water bodies). Therefore, the present study is aimed at characterizing WB under different conditions, in relation to the dispersion of reflectances and SST concentrations.

This study is based on 48 WB (lentic and lotic) distributed in 5 continents in the world (interval

from 0 to 60°Latitude). This study was carried out based on measures of dispersion and central tendency to know the behavior of the data with the aim of identifying similarities and differences in the estimation of SST by means of reflectances (extracted from Sentinel 2A and Landsat 8 OLI products). The selection of the models was made based on the coefficient of determination, root of the Mean Square Error (RMSE). The results obtained indicate that Band 4, 5 and 6 of the Landsat sensors and its concomitant to Sentinel (B8A=B5 and B11=B6 in the case of sentinel) are representative for the SST. From the above, 8 WB were identified that present greater variance in reflectance, unlike the rest of the WB.

Keywords: remote sensing; water quality; Total Suspended Solids; Landsat 8 OLI; Sentinel 2A.

INTRODUCCIÓN

La caracterización del agua comprende la estimación de parámetros de calidad del agua (PCA), uno de los PCA más estudiados a través de sensores remotos son los Sólidos Suspendidos Totales (SST) [1]. La estimación de los SST en los últimos años se ha realizado con sensores remotos con características específicas para el cuerpo de agua estudiado [2]. Por ejemplo, dentro de las características propias de su entorno se encuentran: la humedad relativa del ambiente, vientos, precipitación, temperatura, tolvaneras, etcétera [2–6].

La importancia de la estimación de los PCA con sensores remotos radica en la precisión de la información que proporciona de manera rápida con costos razonables a diferencia de los métodos tradicionales [7–9]. Por lo tanto, el presente estudio genera una caracterización de las bandas multiespectrales y concentración de los estudios con base en las estadísticas importantes reportadas en los estudios: R^2

(>0.65), RMSE (30.2 mg/L), BIAS (32.7 mg/L), E (eficiencia de Nash-Sutcliffe; mayor a 0.9 en modelos que aporta este estadístico) [10]. El alcance de este estudio puede generar nuevas áreas de investigación de la calidad del agua con sensores remotos.

De manera general el propósito de la presente investigación corresponde a establecer pautas para estudios de los sólidos suspendidos totales en función de secciones homogéneas o cuerpos donde la variabilidad ambiental y SST guarden un patrón de correlación. Es decir, generar la caracterización de reflectancia y SST para que futuros estudios avancen en la generación de posibles modelos regionales. Además de lo anterior el presente estudio complementa la información desarrollada por [11, 12].

METODOLOGÍA

La metodología se compuso de 5 etapas que comprenden desde la selección del cuerpo de agua, tratamiento de las imágenes, muestreos estratificados, medidas de tendencia central y dispersión, así como la caracterización de las reflectancias en función de las distintas longitudes de onda evaluadas por Landsat 8 OLI y Sentinel 2A (Figura 1).

Para la etapa 1 se recolectó información de distintos cuerpos de agua (CA) con información viable y accesible para su análisis. Con base en lo anterior, se recolectó información de 48 cuerpos de agua en el mundo (Figura 2) y almacenados en una base de datos. Los continentes con mayor presencia de cuerpos de agua con estudios de SST corresponden al continente asiático, y en menor cantidad el resto de los continentes. Las características consideradas esenciales para la selección del cuerpo de agua corresponden: a) variables regresoras del espectro visible b) disponibilidad de al menos una imagen al mes, c) meses en la que puede aplicarse el modelo de regresión, d) número de muestreos que utilizaron para la aplicación del modelo y e) estadísticos de evaluación y validación que reportan los autores.

Una vez creada la base de datos para el almacenamiento de las imágenes satelitales de los CA, de manera paralela se creó una tabla con las características necesarias de cada modelo generado por el estudio [13, 14].

Para la etapa 2 de integración de imágenes y estimación de reflectancia se utilizó el software TerrSet [15]. La superficie de agua factible para analizar se obtuvo por medio del Índice de Diferencia Normalizada del Agua (NDWI- Normalized Difference Water Index) contenido en el algoritmo VegIndex del software TerrSet, donde los valores de 0 hasta 1 corresponden a superficies con presencia de agua y los valores de 0 hasta -1 corresponden al resto de las coberturas del suelo (Ecuación 1) [16].

$$NDWI = \frac{Green - NIR}{Green + NIR} \quad (1)$$

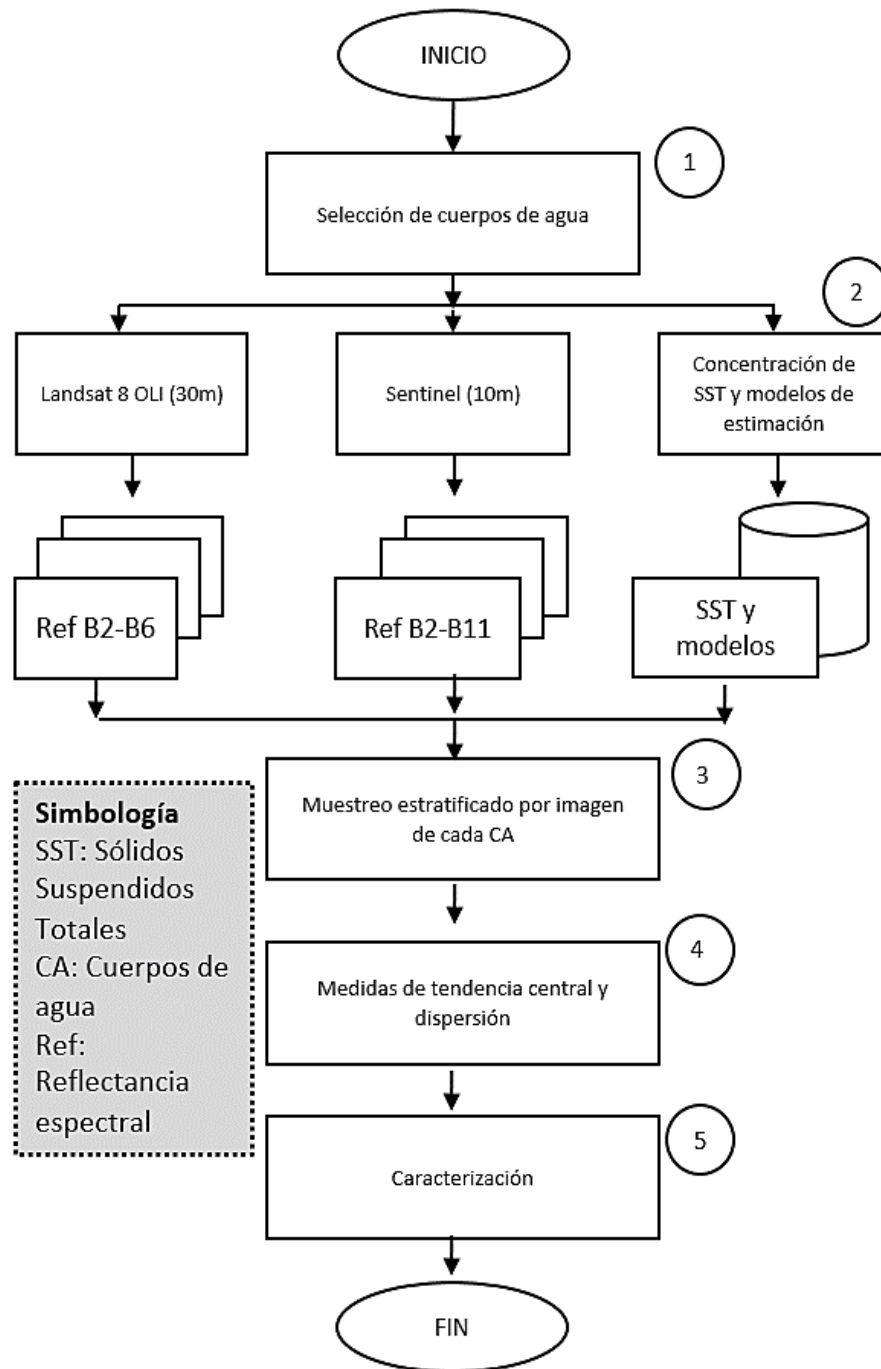


FIGURA 1. Metodología para la estimación de parámetros de calidad del agua a partir de sensores remotos.

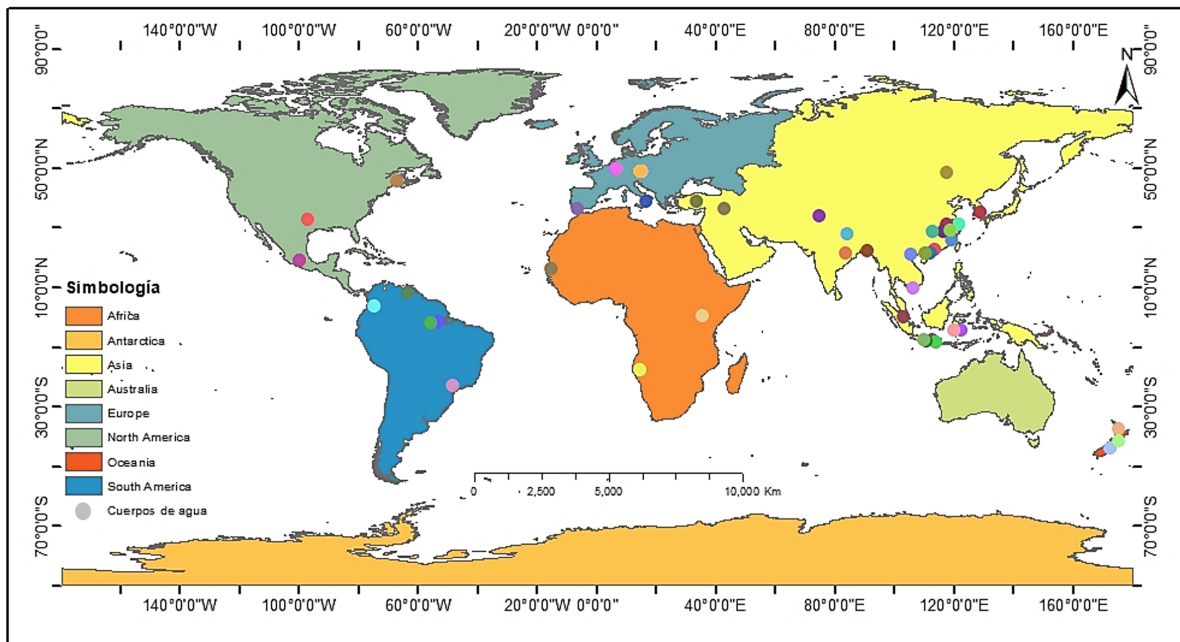


FIGURA 2. Mapa de localización de agua continentales consideradas en el estudio.

Donde:

- NDWI: Normalized Difference Water Index
- Green: Banda 3 (Verde) del sensor Landsat 8 OLI
- NIR: Banda 6 (infrarrojo medio) del sensor Landsat 8 OLI, o banda 11 del Sensor Sentinel

Para la selección de una muestra representativa (Ecuación 2) de píxeles de cada cuerpo de agua se utilizó el algoritmo multiclass data organizer creado en el IITCA para extraer estratos de población significativa (muestreo estratificado) [17]. Su funcionamiento trabaja a manera de complemento en el Software TerrSet. Dicha extracción fue diseñada en función del tamaño de píxel e imagen satelital. Debido a la complejidad del manejo de datos de mayor número de muestreo; se debe de optimizar la cantidad de ellas para facilitar el análisis de datos [18].

$$n = \frac{NZ^2\sigma^2}{(N-1)E^2 + Z^2\sigma^2} \quad (2)$$

La etapa 3 corresponde a las medidas de dispersión y tendencia central de los datos. En este apartado se apoyó del software Excel y IBM SPSS Statistics debido a la cantidad de datos que se procesaron [19].

En la selección de características comunes (etapa 4). Se analizaron los valores obtenidos de valor mínimo y máximo de las bandas multiespectrales estudiadas y la concentración de SST. Lo anterior genera las bases para la caracterización de las reflectancias en los distintos cuerpos de agua (etapa 5) [20].

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los tipos de ambiente encontrados en los estudios considerados en el presente proyecto corresponden en mayor número a lagos (1.6 % de la superficie), seguido de ríos y presas (98 % de superficie en conjunto; Figura 3).

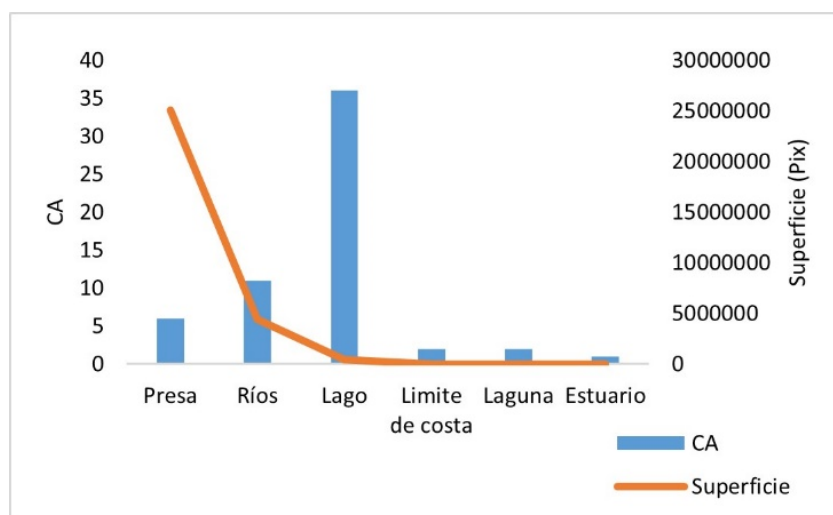


FIGURA 3. Ecosistemas asociados a los cuerpos de agua considerados en el proyecto y areas de los cuerpos de agua.

A manera comparativa los modelos que se diseñaron para estimar los SST corresponden en su mayoría a modelos lineales (37.5 %), seguidos por los modelos exponenciales (25 %) y polinómicos (14.6 %). En una proporción menor se encontraron los logarítmicos (2.1 %). Dichos comportamientos sugeridos en los modelos pueden deberse a la naturaleza física de los CA, como lo indican diversos autores que ha estudiado la calidad del agua con sensores remotos [21, 22](Figura 4). De acuerdo con los resultados mayores en los modelos lineales y exponenciales, es necesario que, en las integraciones regionales para la generación de modelos, se identifiquen las estimaciones mínimas y máximas ya que el tipo de modelo juega un papel importante en los extremos y genera dificultad si el modelo estudiado no está calibrado para todos los meses.

En relación con la cantidad de imágenes trabajadas, 146 imágenes corresponden al sensor Landsat 8 OLI (L8) y 48 al sensor Sentinel 2A (S2). Para la homologación de las longitudes de onda se utilizaron los correspondientes para cada sensor B1_L8= B1_S2, B2_L8= B2_S2, B3_L8= B3_L8, B4_L8= B4_S2,

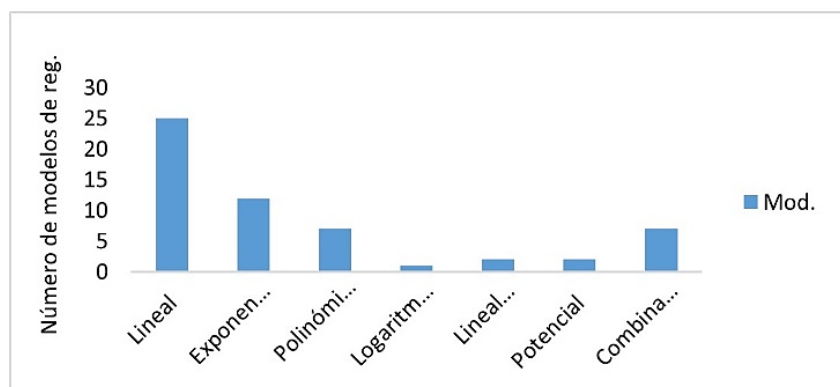


FIGURA 4. *Número de modelos de regresión simple y múltiple encontrado en los cuerpos de agua estudiados. Simbología: Modelos de regresión (Mod.).*

B5_L8= B8A_S2, B6_L8= B11_S2 (donde: L8= Landsat 8 OLI y S2=Sentinel 2 A).

Los resultados obtenidos del tratamiento de las imágenes corresponden a la corrección atmosférica de 48 CA, de las cuales el 91.1 % se trabajó con el modelo DOS de corrección atmosférica y 8.9 % con el modelo FLAASH. Para el caso de Sentinel la resolución se trabajó en función de la más fina (10m), para lograr lo anterior las bandas con resolución a 20 y 60 metros se aplicó un expandió con el escalar correspondiente para llegar a 10 metros (algoritmo expand de TerrSet) y para la selección de los píxeles se trabajó con el grid a 60 metros, para no repetir información que en un mismo cuadrante. Del total de población (aprox. 40,000,000 píxeles) se obtuvo un muestreo estratificado de 176,789 píxeles de reflectancia compuesto por las imágenes Sentinel y Landsat 8 OLI.

Los resultados obtenidos en la etapa 3 y 4 se enfocaron principalmente en las medidas de dispersión y tendencia central. De acuerdo con la Figura 5, el 83.3 % de los cuerpos de agua presentan similitudes en valores de 430-450 nm (banda 1) y de 530-590 nm (banda 3). En la longitud de 430-450 nm el intervalo se encuentra entre 0.934 y 0.06 $\left(\frac{w}{m^2*sr*\mu m}\right)$, en la 450-510 nm (B2) entre 0.96 y 0.00 $\left(\frac{w}{m^2*sr*\mu m}\right)$, para la longitud 530-590 nm (B3) entre 1.00 y 0.001 $\left(\frac{w}{m^2*sr*\mu m}\right)$, la 640-670 (B4) 1.00 y 0.002 $\left(\frac{w}{m^2*sr*\mu m}\right)$, en la 850-880 nm (B5-L8, B8A-S2) 1.00 y 0.00 $\left(\frac{w}{m^2*sr*\mu m}\right)$; por último, en la (B6-L8, B11-S2) 0.994 y 0.00 $\left(\frac{w}{m^2*sr*\mu m}\right)$. En 8 CA se observó la mayor dispersión en los valores de estas bandas. Si bien, a mayor superficie del CA se presenta una mayor dispersión, en 16.6 % CA se observó una superficie relativamente grande con una dispersión más uniforme, mientras que, en 83.3 % CA cuya superficie fue pequeña en relación con el resto, se observó una dispersión hasta de 0.982 $\left(\frac{w}{m^2*sr*\mu m}\right)$ de rango en la reflectancia de la banda B4.

Para el caso de las bandas 4 y 5 se observó una dispersión más heterogénea en los valores de su reflectancia. En la banda 4 el rango se encuentra entre 0.98 $\left(\frac{w}{m^2*sr*\mu m}\right)$ para el 12.5 % de los CA, mientras

que en la banda 5 rango se encuentra entre $0.982 \left(\frac{w}{m^2 * sr * \mu m} \right)$ para el 14.6 % de los CA (Figura 5).

En relación con la concentración de SST, 66.6 % de los cuerpos presentaron concentraciones similares (entre 0 y 200 mg/L). Los CA con la mayor dispersión en sus valores de concentraciones presentaron un rango entre 88 y 902 mg/L, i.e. 5 veces más amplio que en la mayoría de los CA.

La selección de estos modelos presenta la característica de tener un $R^2 > 0.65$, RMSE < 30.2 mg/L, (Nota: no todos los modelos aportan este estadístico, debido a la investigación de los autores), BIAS (32.7 mg/L, de acuerdo con los modelos que reportan este resultado), E (eficiencia de Nash-Sutcliffe; mayor a 0.9 en modelos que aporta este estadístico). Los datos anteriores validan la confiabilidad en las estimaciones que cada modelo. Con base en lo anterior, se extrajeron las estimaciones de cada CA considerando la fecha en la que los autores realizaron los estudios, tipo de sensor, etcétera (Figura 6). A partir de la cual se pudo observar que el 20.83 % de los CA presentan una dispersión elevada, mientras que el 54.16 % de CA, su dispersión es mínima por lo tanto la sensibilidad de estos es baja en función de las reflectancias utilizadas en los modelos. El resto de los CA su dispersión es intermedia (aproximadamente de ± 120 mg/L de SST), lo cual significa que para el entendimiento de los datos se necesita estudiar a fondo cada variable regresora en función de sus coeficientes para su entendimiento regional.

De manera conjunta (Figura 7), es posible intuir que, al menos, los CA que se encuentran en intervalo de 0-200 mg/L de estimación pueden ser representados por algún modelo conjunto de estimación. Lo anterior dado que, la media global de estas variables es abarcada por el grado de dispersión presentada en los CA.

En el presente estudio la mayoría de los modelos están diseñados con base en las primeras 6 bandas multiespectrales en relación con el sensor L8 (para S2 los correlacionables a ella) para el estudio de los cuerpos de agua. Sin embargo, de acuerdo con la literatura y al análisis encontrado en el presente estudio las bandas que mejor determinan a los SST y con mayor diferencia de reflectancia entre ellas son B4 (640-670 nm), B5 (850-880 nm) y B6 (1570-1650 nm; Figura 8a) y con correlación aceptable para su análisis (Figura 8b). Las longitudes de onda mencionadas anteriormente, como se observa en la Figura 8a, presentan mayor correlación con las concentraciones de SST, y en relación con el sentido físico, la longitud de onda de 850-880nm (B5 o B8A) es la que mejor discrimina a los SST como lo muestran los datos obtenidos y las distintas bibliografías (Figura 8b).

A partir de lo anterior se crearon 3 categorías de concentraciones de SST. El primero corresponde al primer cuartil del conjunto de datos, la segunda categoría corresponde al intervalo del cuartil 1 al cuartil 3 y por último los que corresponden al cuartil 3 (Figuras 9a, 9b y 9c). De acuerdo con la Figura 8, la categoría 2 representa el 38 % de los cuerpos de agua, en las bandas 4, 5, 6 que discriminan mejor a los SST por lo tanto, se puede concluir que la mayoría de los modelos fueron calibrados para esas

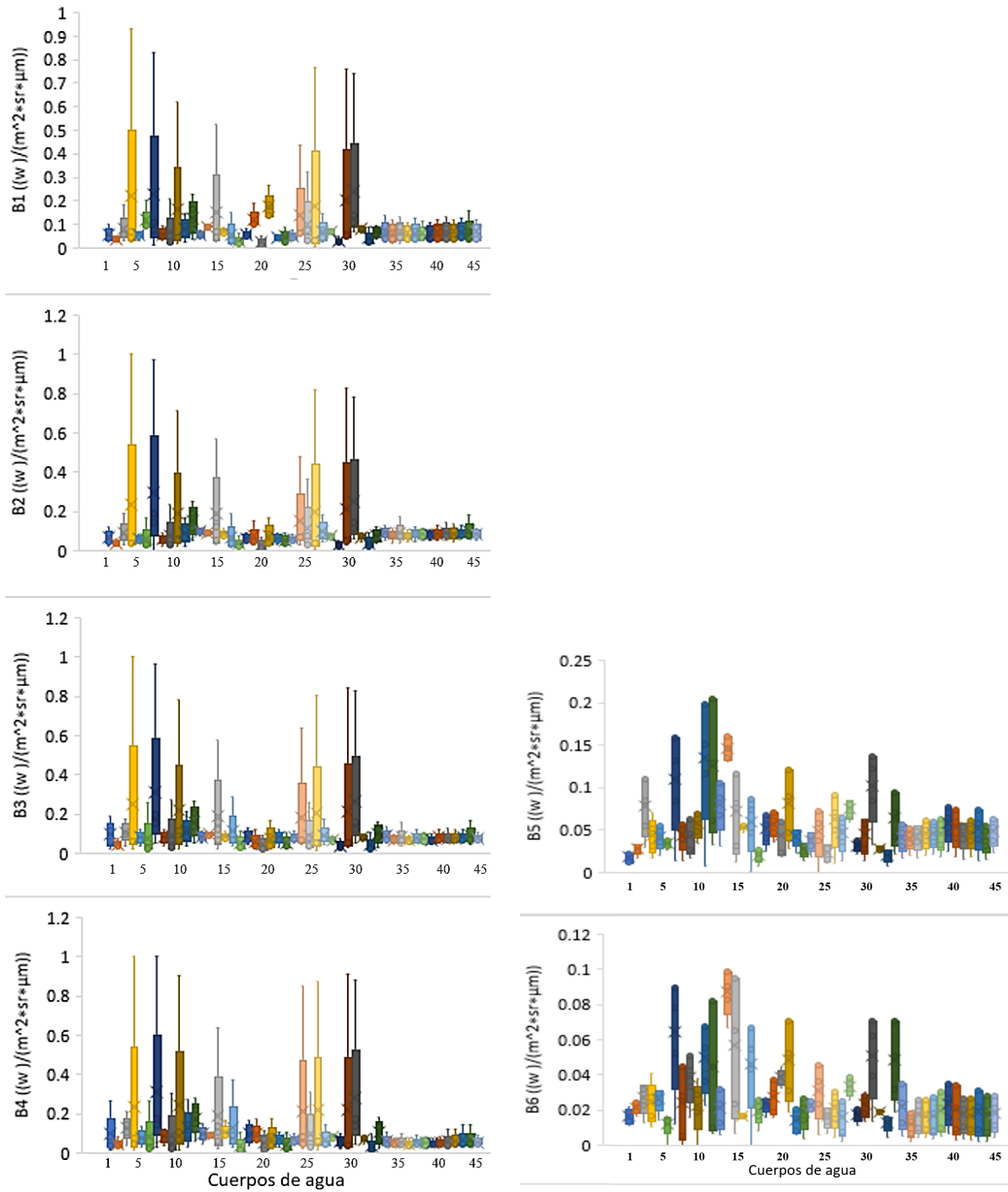


FIGURA 5. Mapa de localización de agua continentales consideradas en el estudio.

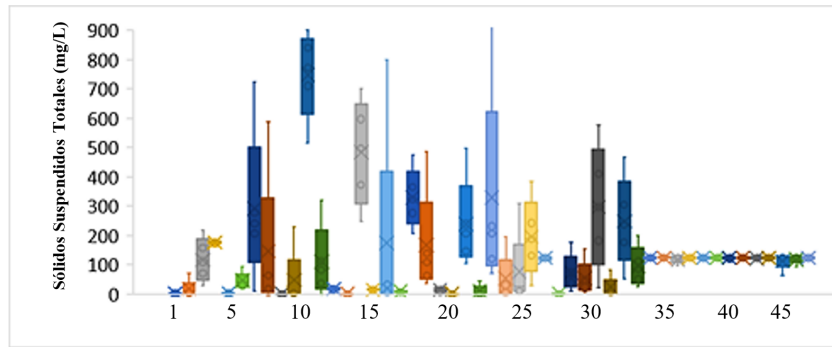


FIGURA 6. *Dispersión de las concentraciones de SST. En función de cada CA considerados en la investigación..*

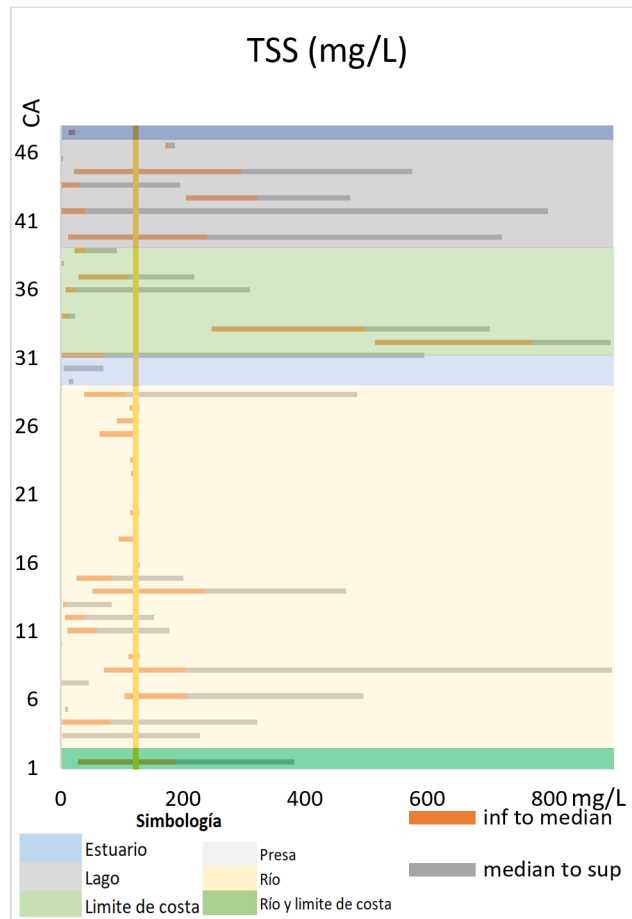


FIGURA 7. *Variación de media global en relación con la media de cada CA y secciones de acuerdo con el ambiente que presenta el CA.*

	SST	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7
SST	1	0.135	0.249	0.266	0.253	0.307	0.216	0.128
B1		1.000	0.856	0.844	0.844	0.860	0.798	0.793
B2			1	0.936	0.831	0.853	0.790	0.677
B3				1.000	0.941	0.885	0.875	0.762
B4					1.000	0.908	0.893	0.830
B5						1.000	0.920	0.812
B6							1.000	0.894
B7								1.000

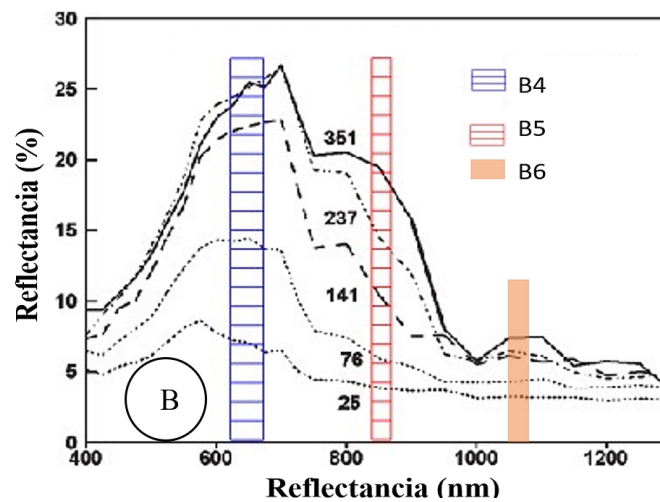


FIGURA 8. Correlaciones entre bandas multiespectrales y SST. (Nota: para el caso de la B5, B6 y B7 incluye las equivalentes de Sentinel 2A de acuerdo con el CA y tipo de sensor utilizado en cada estudio). La sección de líneas son firmas espectrales a distintas concentraciones de SST.

concentraciones, en esta categoría, al igual que el primero, la disparidad en las altas concentraciones de SST permanece de manera homogénea y paralela a la banda 4, 5, 6, con base en lo anterior, se genera una de las bases para que estudios próximos analicen la posibilidad en la creación de modelos integradores.

En la categoría 3, se presenta el menor porcentaje de los CA, lo anterior porque estos CA presentan dinámicas altas en las concentraciones de SST a diferencia del resto de CA. Por lo tanto, los coeficientes de las variables regresoras de los modelos tienen la función de predecir concentraciones con mayor variabilidad en el cuerpo de agua.

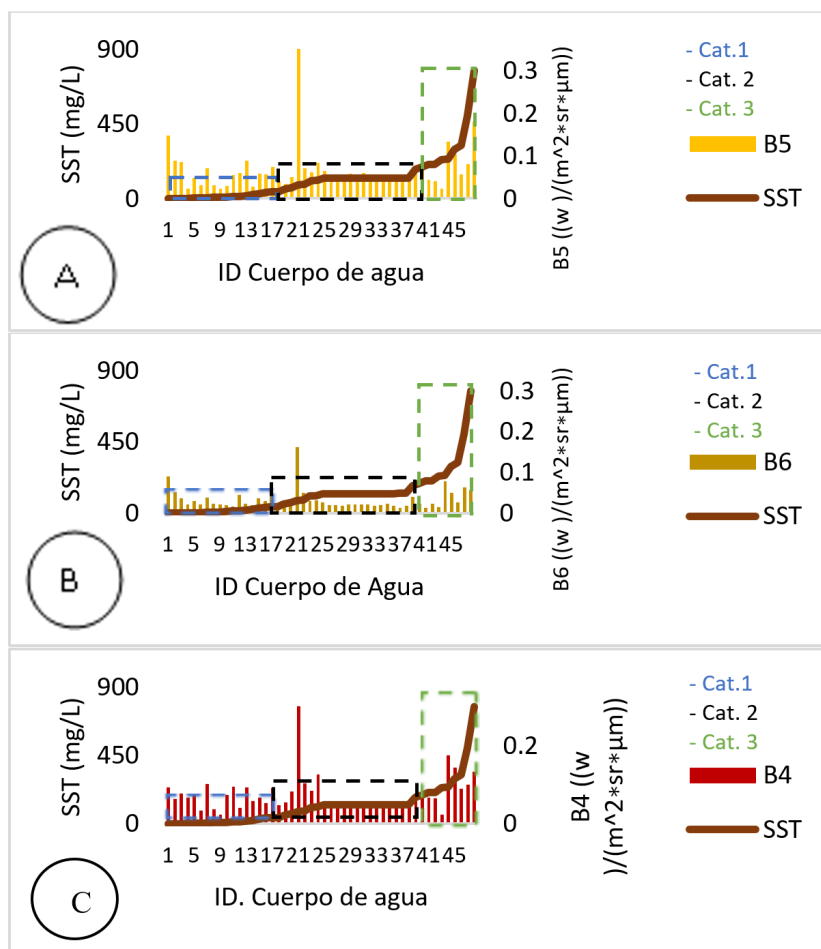


FIGURA 9. Categoría de concentraciones de SST en función de una distribución normal.

En relación con los modelos de regresión de los estudios encontrados requiere de profundización en el tema, ya que cada una de ellas presentan diferentes valores de calibración en cada variable regresora, además de ello, el origen de la pendiente presenta valores diversos en los modelos lineales, es decir, las estimaciones de SST en cada cuerpo de agua pueden tener comportamiento diferente por variabilidad

de concentraciones de SST a lo largo del cuerpo de agua o viceversa. En consecuencia, este punto es esencial para las siguientes investigaciones en calidad del agua con sensores remotos.

CONCLUSIONES

El estudio de los sólidos suspendidos totales (SST) y las bandas multiespectrales del sensor Landsat 8 y Sentinel 2A, presentan características diferentes en distintos cuerpos de agua. Sin embargo, es posible inferir que algunos de ellos pueden ser representados por modelos conjuntos dadas las tendencias similares en las reflectancias recolectadas por las bandas, así como en las concentraciones de SST.

En otras palabras, en la mayoría de los modelos de regresión para estimar SST son consideradas las bandas 3, 4, 5 y 6, por lo que la dispersión homogénea observada en las bandas 4, 5 y 6 (Nota: la B3 no se integró en las estadísticas debido a que está altamente correlacionada con la B6 ($R^2=0.875$)), permite abrir las puertas a las investigaciones en geoestadística para el desarrollo de un modelo útil para cuerpos de agua que comparten características similares. Lo anterior se fundamenta en los coeficientes de correlación obtenidos de estas longitudes de onda con la concentración de SST y a las bibliografías desarrolladas en los últimos años. Sin embargo, hay que tener en cuenta que, las bandas 4, 5 y 6 que presentan dispersión heterogénea, pueden alterar la precisión del modelo conjunto, los rangos de estimaciones aceptables deben considerar los valores máximos (outliers) y atípicos encontrados en los valores de reflectancias de lo contrario puede ocasionar disparidad en las estimaciones de SST.

En cuanto a los grupos, se encontraron tres categorías en comparación de las reflectancias y las concentraciones de SST, el primer grupo está asociado con CA con contracciones menor a 125 mg/L; mientras tanto la segunda categoría representa la mayoría de los CA con un 54 %, por último la tercera categoría está integrada por cuerpos de agua cuya disparidad de concentraciones de SST son estimados de esta forma debido a la calibración de los coeficientes de los modelos y a las condiciones ambientales de los cuerpos de agua.

REFERENCIAS

- [1] L. e. a. Rotta, “Atmospheric correction assessment of spot-6 image and its influence on models to estimate column transparency in tropical reservoir,” pp. 158, 166, 2016.
- [2] Z. e. a. Zheng, “Landsat-based long-term monitoring of total suspended matter concentration pattern change in the wet season for dongting lake, china,” pp. 13 975, 13 999, 2015.
- [3] T. Bianchi and M. Allison, “Large-river delta-front estuaries as natural “recorders” of global environmental change,” pp. 8085, 8092, 2009.
- [4] E. e. a. Elias, “Morphodynamic development and sediment budget of the dutch wadden sea over the last century,” pp. 293, 310, 2012.
- [5] N. e. a. Bernardo, “Evaluation of the suitability of modis, olci, and oli for mapping the distribution of total suspended matter in the barra bonita reservoir (tiete^ river, brazil),” pp. 68, 82, 2016.
- [6] Z. e. a. Wang, “Assessments of surface water quality through the use of multivariate statistical techniques: A case study for the watershed of the yuqiao reservoir, china,” pp. 1, 15, 2023.
- [7] R. E. Walpole and R. H. Myers, *Probabilidad y estadísticas para ingenieros*, 1989. [Online]. Available: https://vereniciafunez94hotmail.files.wordpress.com/2014/08/8va-probabilidad-y-estadistica-para-ingenier-walpole_8.pdf
- [8] A. Cruz, “Caracterización fisicoquímica de cuerpos de aguas superficiales a través de sensores remotos. caso presa j. a. a. méxico,” 2019. [Online]. Available: <http://ri.uaemex.mx/handle/20.500.11799/104455>
- [9] Y. e. a. Zhang, “A landsat 8 oli-based, semianalytical model for estimating the total suspended matter concentration in the slightly turbid xin’ anjiang reservoir (china),” pp. 4347, 4365, 2016.
- [10] W. Navidi, *Estadísticas para ingenieros y científicos*. [Online]. Available: <https://dokumen.tips/engineering/estadistica-para-ingenieros-y-cientificos-william-navidi-58eb63656d83f.html>
- [11] C. Pérez, “Herramientas estadísticas para la investigación y diagnóstico en enfermedades tropicales-análisis clústers,” 2017. [Online]. Available: https://acvenisproh.com/libros/index.php/Libros_categoria_Academico/article/download/24/30
- [12] V. e. a. Sundarabalan, “Robust algorithm for estimating total suspended solids (tss) in inland and nearshore coastal waters,” pp. 1, 18, 2020.

- [13] H. Wibisana, B. Muljo, and U. Lasminto, “Mathematical models selection on the total suspended solid mapping using reflective satellite image data,” pp. 185, 190, 2020. [Online]. Available: http://www.insightsociety.org/ojaseit/index.php/ijaseit/article/view/6750/pdf_1319
- [14] N. B. Chang, S. Imen, and B. Vannah, “Remote sensing for monitoring surface water quality status and ecosystem state in relation to the nutrient cycle: A 40-year perspective,” pp. 101, 166, 2015.
- [15] L. Clarck, “Manual idrisi,” 1993. [Online]. Available: <https://clarklabs.org/wp-content/uploads/2016/10/IDRISI-Selva-Spanish-Manual.pdf>
- [16] J. Serrano, S. Shahidian, and J. M. Masquez Da Silva, “Evaluation of normalized difference water index as a tool for monitoring pasture seasonal and inter-annual variability in a mediterranean agro-silvo-pastoral system,” pp. 1, 16, 2019.
- [17] C. R. e. a. Fonseca, “Multiclass data organizer-terrset por iitca-uaem,” 2021. [Online]. Available: http://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/137456/TESIS_Marlen_Lopez_Gutierrez_MLG_RI.pdf
- [18] V. Vargas, *Estadística descriptiva para ingeniería ambiental con SPSS*, 2007.
- [19] I. S. Statistical, “Manual de usuario de estadísticas con ibm spss statistical,” 2022. [Online]. Available: https://www.ibm.com/docs/en/SSLVMB_26.0.0/pdf/es/IBM_SPSS_Statistics_Core_System_User_Guide.pdf
- [20] C. T. Sutari, M. V. Perk, and H. Middelkoop, “Estimation of suspended sediment concentrations in the rhine river using landsat satellite images,” pp. 1, 9, 2020.
- [21] H. e. a. Wang, “Consistency of suspended particulate matter concentration in turbid water retrieved from sentinel-2 msi and landsat-8 oli sensors,” pp. 1, 15, 2021.
- [22] E. e. a. Ciancia, “Modeling and multi-temporal characterization of total suspended matter by the combined use of sentinel 2-msi and landsat 8-oli data: The pertusillo lake case study (italy),” 2022. [Online]. Available: <https://www.mdpi.com/2072-4292/12/13/2147>

Evaluación de la calidad de servicio de un sistema eléctrico de transporte de pasajeros

Evaluation of the quality of service of an electric passenger transport system

Romero-Torres, J.^{1*} Loza-Hernández, L.² (*jromero@uamex.mx)

Recibido: 30 de noviembre de 2022 Aceptado: 8 de agosto de 2023

RESUMEN

En este artículo se identifican y valoran los factores que intervienen en el sistema de transporte público trolebús de la empresa Servicio de Transportes Eléctricos de la Ciudad de México (STECDMX), para ello se realizaron 386 encuestas en la línea A1 de trolebús para jerarquizar los factores de dicho sistema. Los resultados obtenidos muestran que los

factores con mayor valor considerado por los usuarios son la forma de conducir, la seguridad relacionada a accidentes, la limpieza interna del trolebús, el estado físico de los asientos, y un servicio sin interrupciones debido a cortes de energía o marchas.

Palabras clave: Trolebús; satisfacción del usuario; logit.

ABSTRACT

In this article, the factors that intervene in the trolleybus public transport system of the company Servicio de Transportes Eléctricos de la Ciudad de México (STECDMX) are identified and valued. For this purpose, 386 surveys were carried out on the A1 trolleybus line to prioritize the factors of said system. The results obtained show that the factors

with the highest value considered by users are the way of driving, safety related to accidents, the internal cleanliness of the trolleybus, the physical condition of the seats, and a service without interruptions due to power outages or marches.

Keywords: Trolleybus; user satisfaction; logit.

¹Centro Universitario UAEM Nezahualcóyotl, Universidad Autónoma del Estado de México. México.

²Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma del Estado de México. México.



INTRODUCCIÓN

En la mayoría de los estudios relacionados a la calidad de servicio se busca identificar las fortalezas y debilidades de cada modo de transporte, en gran parte de los estudios analizados se puede identificar que, sin importar el modelo a través del cual se realice el análisis, el proceso inicia con la identificación individual de las variables o factores, para ello las fuentes de información son muy variadas siendo los sistemas de medición directa las más comúnmente encontrados. La encuesta cara a cara aplicada a grupos focales constituye el método más utilizado por los investigadores para identificar los factores, variables o características pertenecientes a los sistemas de transporte público.

La satisfacción del consumidor de un servicio o producto inicia en la administración de la calidad, además que ésta no únicamente se base en métricas o estándares para mejorarla, sino en mezcla de mediciones y estándares medidas desde el consumidor, lo que da como resultado una retroalimentación que es considerado por algunos autores como una precisión para el diseño y perfeccionamiento del servicio.

Para estudiar la calidad del servicio en sus inicios fue utilizando el modelo de [1] que considera las teorías de la psicología social (cómo y qué compra el consumidor), además de estudiar la manera en que los consumidores conciben las expectativas de la calidad del servicio; para lo anterior, se considera que la información de entrada es un nivel de esperanza actual del individuo, el modelo modifica el efecto de oposición que emite la variación, sin perder de vista la normalidad de la apreciación, la cognición, lo anterior como el resultado de emitir un estímulo mayor o menor en similar dimensión. La proposición de disonancia cognitiva que indica que, al surgir incongruencia, los individuos se motivan a construir nuevas ideas y afirmaciones hasta que éstas cuadren entre sí. De lo anterior, se citan algunas definiciones:

- Servqual, en este modelo se considera que la experiencia del usuario o individuo acerca de sus expectativas del servicio influyen en la satisfacción del servicio [2]; lo que lleva a plantear cinco huecos o diferencias entre [3]: las expectativas de del servicio y las percepciones administrativas; las percepciones administrativas y las especificaciones del servicio; especificaciones del servicio y el servicio ofertado; el servicio ofertado e información externa hacia el usuario; y expectativas del usuario y la percepción del servicio.
- Según Walter A. Shewhart citado por [4] “La dificultad para definir calidad reside en la traducción de las necesidades futuras del usuario a características conmensurables, de forma que el producto pueda ser diseñado y fabricado proporcionando satisfacción por el precio que tenga que pagar el usuario. Esto no resulta fácil, y tan pronto uno se siente bastante cómodo con la tentativa de haber descubierto las necesidades del usuario descubre que estas han cambiado”.
- Concepto de calidad según Philip B. Crosby citado por [5] “Conformidad con las exigencias, la ca-

lidad debe definirse en términos mensurables y claramente definidos para ayudar a la organización a tomar medidas basadas en objetivos tangibles”.

- Según [6] “La calidad se manifiesta como un ciclo más integral del producto, abarcando desde la concepción del mismo hasta su distribución y funcionamiento en manos del usuario.”

Para el análisis y evaluación de la calidad de servicio, se desarrolló una serie de pasos, los cuales culminan en el análisis de la información sobre la calidad de servicio que percibe el cliente en este sistema de transporte.

Los clientes o usuarios de una empresa evalúan los servicios que esta ofrece, comparándolos con sus expectativas y expresando una variedad de opiniones favorables o desfavorables como resultado. La retroalimentación proporcionada por los clientes es crucial para la satisfacción del cliente, ya que permite que la empresa comprenda las necesidades de sus clientes y se adapte para ofrecer un servicio mejorado.

Por otra parte, la complejidad del concepto de calidad de servicio, la desagregación del concepto en vectores de atributos con diferentes números de factores, distintos niveles, e incluso la heterogeneidad en el establecimiento de definición de los atributos (factores) implican obstáculos para su medición; adicionalmente, la fuente y el instrumento de la obtención de los datos incrementan la complicación de medición de la calidad [7]. Lo anterior se complementa con el análisis de la información obtenida, desde los análisis básicos de estadística descriptiva hasta modelos más complejos como ecuaciones estructurales o análisis de regresión [7, 8]. En este artículo se muestra un análisis de regresión al estimar un modelo logit, cuyos parámetros indican el peso de los factores relacionados con los niveles de los atributos de la calidad de servicio, para el caso de un transporte eléctrico de pasajeros en la Ciudad de México. Este documento está dividido en las siguientes secciones: Introducción, la cual expone de forma general el planteamiento del problema a analizar y antecedentes; Metodología propuesta para el desarrollo del trabajo; Resultados en la cual se expone la identificación de los factores más importantes asociados de la calidad de servicio y los modelos estimados y finalmente, las conclusiones del estudio realizado.

METODOLOGÍA

Para el desarrollo de este trabajo se llevaron a cabo los siguientes pasos: inició una revisión de literatura con la finalidad de estandarizar los conceptos básicos, conocer los modelos propuestos por diversos autores relacionados con la calidad del servicio; posterior a ello, se seleccionó y describió el caso de estudio, cuya descripción permitió establecer la planeación y logística del levantamiento de la información; a continuación, se completó la identificación y jerarquización de los factores que los usuarios relacionan con los niveles de calidad de servicio; posteriormente con el resultado anterior, se diseñó la encuesta de preferencias declaradas que obtuvo el insumo para estimar los coeficientes del modelo de

elección discreta (MED). La aplicación del MED obedeció a que regresiones de este tipo ofrecen análisis más enriquecedores, además de obtener el peso de coeficientes asociados a los factores que integran la calidad de servicio, proporcionan los valores subjetivos del tiempo de viaje y los factores cualitativos como la condición de los asientos y la forma de manejar del conductor, lo cual permitió dar información para el diseño de políticas de movilidad tanto a las empresas ofertantes del servicio como de entidades reguladoras considerando las expectativas y percepciones del usuario [9].

El caso de estudio pertenece al Servicio de Transportes Eléctricos de la Ciudad de México, organismo que data del año 1900, quien ofrece un servicio de transportes eléctricos de pasajeros con una longitud de red de 203.64 kilómetros, desagregados en nueve líneas, con un parque vehicular de 2090 trolebuses y un intervalo de paso de 4.0 minutos. Para la presente investigación, el caso de estudio fue la línea 1 (antes llamada línea A), la cual con 36.6 kilómetros conecta las centrales de autobuses norte y sur (ver Figura 1), cuyo trayecto abarca las alcaldías de Benito Juárez, Coyoacán, Cuauhtémoc y Gustavo A. Madero [10].

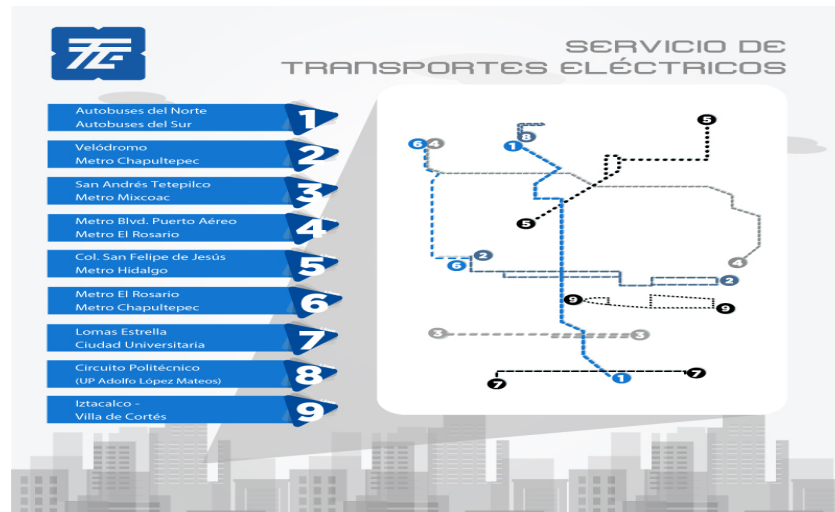


FIGURA 1. Trazo de la línea 1 del Sistema de Trolebús [10]

IDENTIFICACIÓN DE FACTORES

Para obtener los factores se inició con la revisión de estudios previos, identificando los factores más frecuentes, y se integró un listado inicial o general de factores relacionados con el transporte público.

La integración del listado inicial se revisaron 41 artículos, en los cuales se citaban listas de factores que fueron utilizados para su caso de estudio, los cuales integraron un listado de 82 factores que son aplicables a los sistemas de transporte público en general.

Al revisar el listado general, se observa que hay factores comunes en la mayoría de los estudios con-

sultados, algunos de los cuales se mencionan en el 60 % de los artículos. Estos factores, presentes en más de 29 artículos, incluyen el tiempo de viaje, la seguridad en estaciones y paradas (robos y asaltos), la seguridad en el autobús (robos y asaltos) y el tiempo de espera en la estación para abordar el autobús, considerándose de gran relevancia. Otros factores que siguen a los anteriores, aunque con menor importancia, se repiten en más de 25 artículos y abarcan aspectos como la limpieza interior de los autobuses (asientos, ventanas), el precio del boleto (tarifa), la continuidad del servicio, así como la amabilidad, cortesía y rapidez en el servicio por parte del operador.

Basándonos en lo mencionado previamente, se seleccionaron los elementos que se encuentran presentes en el 30 % de los artículos, es decir, aquellos que se repiten en más de 15 artículos. Esto dio origen a una lista preliminar (Tabla 1), que será cotejada con datos específicos del caso de estudio.

TABLA 1. *Lista de factores a una depuración del 30 %. Fuente: [11].*

1	Disponibilidad de horarios / mapas en estaciones / paradas
2	Limpieza interior de los autobuses (asientos, ventanas)
3	Limpieza de estaciones / paradas
4	Comodidad de los asientos en el autobús
5	Sistema de atención al cliente
6	Facilidad de pago (compra de boletos, tarjetas o recargas)
7	Precio del boleto (tarifa)
8	Continuidad de servicio
9	Tiempo de espera en estación para abordar el autobús
10	Amabilidad, cortesía y servicio rápido del operador
11	Tener estación / parada cerca del destino
12	Tener estación / paradas cercanas a mi residencia
13	Condición física de los vehículos
14	Información de ruta / dirección visible en autobuses
15	Forma de manejar del conductor
16	Seguridad en estaciones y paradas (robo, asaltos)
17	Seguridad en autobuses (robo y asalto)
18	Tiempo de viaje

La elaboración final del conjunto de factores se utilizó la información de la plataforma INFOMEX del reporte anual de quejas del servicio de transportes eléctricos de la Ciudad de México de 2016, la

información originada de INFOMEX se relacionó con factores del servicio de transporte público, de la cual se obtuvo un listado depurado al 30 % como ya fue indicado, coincidiendo que algunos factores surgidos de INFOMEX coincidían con el listado depurado, como se puede observar en la Tabla 2.

En una posterior etapa, se identificaron cinco factores (ver Tabla 3) surgidos de la fuente INFOMEX que fueron incluidos en el listado que se estaba construyendo debido a que no se encontraron en el listado previo (al 30 %), pero debían ser incorporados porque eran factores relacionados con el servicio específico de trolebús.

TABLA 2. *Listado de factores INFOMEX encontrados en la depuración 30 %. Fuente: [11] con base en los datos de INFOMEX.*

Limpieza interior de los autobuses (asientos, ventanas)
Sistema de atención al cliente
Continuidad de servicio
Tiempo de espera en estación para abordar el autobús
Amabilidad, cortesía y servicio rápido del operador
Tener estación / parada cerca del destino
Tener estación / paradas cercanas a mi residencia
Condición física de los vehículos
Forma de manejar del operador

TABLA 3. *Factores identificados de INFOMEX específicos del servicio de trolebús. Fuente: [11].*

Autobuses que no están sobre poblados
Seguridad por accidentes
Descensos en lugares indicados
Ausencia de olores ofensivos
Explicaciones y anuncio de retrasos

A continuación, se citan tres factores (ver Tabla 4) que no se encontraron tanto en la revisión de la literatura como de la base de INFOMEX, sino que fueron identidades en campo en conversaciones previas con usuarios del servicio.

TABLA 4. *Factores identificados en recorridos de campo. Fuente: [11].*

Ascenso en lugares indicados
Buena sujeción de los asientos
Filtración de agua dentro del trolebús

De las etapas previas, se integró un listado de 26 factores (ver Tabla 5).

TABLA 5. *Listado previo de factores. Fuente: [11].*

Disponibilidad de horarios / mapas en estaciones / paradas Limpieza interior de los autobuses (asientos, ventanas)
Limpieza de estaciones / paradas
Comodidad de los asientos en el trolebús
Sistema de atención al cliente
Facilidad de pago (compra de boletos, tarjetas o recargas)
Precio del boleto (tarifa)
Continuidad de servicio
Tiempo de espera en estación para abordar el trolebús
Amabilidad, cortesía y servicio rápido de personal
Tener estación / parada cerca del destino
Tener estación / paradas cercanas a mi residencia
Condición física de los vehículos
Información de ruta / dirección visible en trolebuses
Forma de manejar del operador
Seguridad en estaciones y paradas (robo, asaltos)
Seguridad en autobuses (robo y asalto)
Tiempo de viaje
Trolebuses que no están sobre poblados
Seguridad por accidentes
Descenso en lugares indicados
Ascenso en lugares indicados
Buena sujeción de los asientos

Filtración de agua dentro del trolebús
Ausencia de olores ofensivos
Explicaciones y anuncio de retrasos

Del listado previo se eliminaron nueve factores, los cuales mediante las visitas de campo y en entrevistas con usuarios no aplicaban para el servicio de trolebús, dando como resultado un listado final de 17 factores (ver Tabla 6), los cuales fueron incluidos en una encuesta de valoración de la importancia de factores del servicio.

TABLA 6. *Lista de factores. Fuente: [11].*

Información en paradas y dentro del trolebús (horario, mapas) Limpieza interior de trolebús (asientos, ventanas)
Servicio de atención al cliente
Facilidad de pago (compra de boletos, tarjetas o recargas)
Precio del boleto (tarifa)
Continuidad de servicio
Tiempo de espera en paradas para abordar el trolebús
Trato del conductor (operador)
Condición física de los vehículos
Forma de manejar del conductor (operador)
Tiempo de viaje a bordo del trolebús
Trolebuses sobre poblados
Seguridad por accidentes (accidentes, choque)
Ascenso y descenso en lugares indicados
Filtración de agua dentro del trolebús
Ausencia de olores ofensivos
Buena sujeción de los asientos

Para obtener la valoración cuantitativa de la importancia de los factores se utilizó un método simple de jerarquización, que parte de construir una la matriz de valoración (ver Tabla 7), cuya cuantificación se basó en asignar un valor numérico, 1, 2, 3, 4 y 5a cada nivel de la escala de valoración ,nada importante (V_1), poco importante (V_2), sucesivamente hasta muy importante (V_5).

TABLA 7. Valoración de los factores para la importancia. Fuente: [11].

Factor	Orden jerárquico				
	1	2	3	4	5
Seguridad por accidentes	0	1	13	126	246
Forma de manejar del conductor	2	3	16	121	244
Condiciones físicas de los asientos	0	3	21	145	217
Limpieza interior del trolebús	0	3	13	165	205
Continuidad del servicio	1	5	22	140	218
Ascenso y descenso en las paradas establecidas	0	3	13	171	199
Trato del conductor	0	2	26	156	202
Precio del boleto	0	5	25	152	204
Estado físico del trolebús	0	9	21	161	195
Acumulación de personas dentro del trolebús	1	10	29	155	191
Filtración de agua dentro del trolebús	0	2	53	141	190
Tiempo de espera en parada para abordar el trolebús	3	14	27	149	193
Información en paradas y dentro del trolebús	1	9	35	164	177
Forma de pago (efectivo, uso de alcancía)	2	4	38	172	170
Olores ofensivos en el trolebús	3	6	40	161	176
Tiempo que permanece a bordo del trolebús	3	10	36	189	148
Servicio de atención al cliente	3	9	78	152	144

Los factores se clasificaron en tres grupos mayor, media y menor importancia, ver Figura 2.

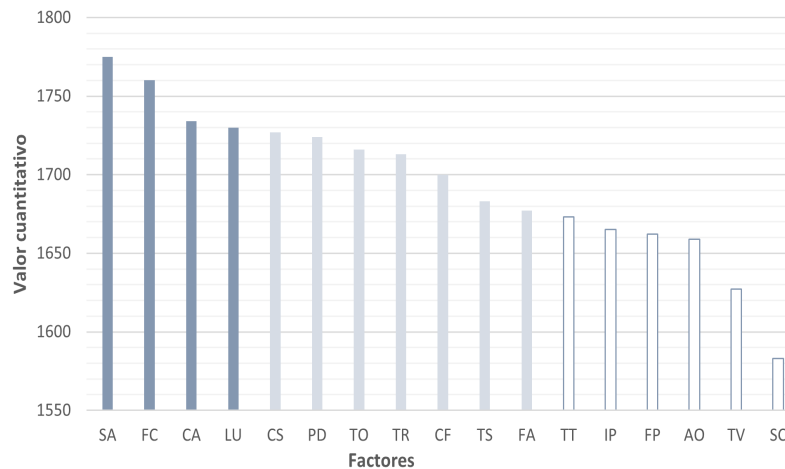


FIGURA 2. Valor cuantitativo de cada factor. Fuente: [11].

RESULTADOS

Una vez identificados los factores más importantes: forma de manejar del conductor (FC), condiciones físicas de los asientos (CA), precio del boleto (TR), tiempo que permanece a bordo del trolebús (TV) y por otra parte seguridad por accidentes (SA), se procedió a diseñar y aplicar una encuesta de preferencias declaradas para atrapar las percepciones de los usuarios acerca de esos factores de la calidad de servicio, representada mediante la función de utilidad (U_{jn}) a través de un modelo de elección discreta logit binario. La forma general de la función de utilidad de la alternativa j para la individual n es la presentada en la Ecuación 1 [12]:

$$U_{jn} = \sum \beta_n X_{jn} + \epsilon_{jn} \quad (1)$$

donde:

β_n : Es un vector de parámetros a estimar.

X_{jn} : Son las diferencias en las características (niveles) de las opciones.

ϵ_{jn} : Representa todos aquellos datos que no fueron incluidos en el modelo (incertidumbre)

Para el caso particular de este estudio las funciones de utilidad tienen la siguiente forma de acuerdo a las opciones actual (*act*) y mejorado (*mej*).

Modelo para condiciones de los asientos (CA), Ecuaciones 2 y 3:

$$U_{act} = \beta_{cteact} + \beta_{tv}tv_{act} + \beta_{tr}tr_{act} + \beta_{fc}fc_{act} + \beta_{ca}ca_{act} \quad (2)$$

$$U_{mej} = \beta_{ctemej} + \beta_{tv}tv_{mej} + \beta_{tr}tr_{mej} + \beta_{fc}fc_{mej} + \beta_{ca}ca_{mej} \quad (3)$$

Modelo generara para seguridad por accidente (SA), Ecuaciones 4 y 5:

$$U_{act} = \beta_{cteact} + \beta_{tv}tv_{act} + \beta_{tr}tr_{act} + \beta_{fc}fc_{act} + \beta_{sa}sa_{act} \quad (4)$$

$$U_{mej} = \beta_{ctemej} + \beta_{tv}tv_{mej} + \beta_{tr}tr_{mej} + \beta_{fc}fc_{mej} + \beta_{sa}sa_{mej} \quad (5)$$

Para calcular el valor de los coeficientes se utilizó el software Biogeme V1.8. Los resultados son mostrados en la Tabla 8. En ésta se observa que en el modelo general para las condiciones de los asientos (CA) la beta de forma de conducir tiene una robustez de 17.71 mientras que en el modelo de seguridad por accidentes (SA) el coeficiente de la forma de conducir es de 1.05 por lo que se ve que existe una disminución de la misma en los dos diferentes modelos a pesar de esto se observa que es uno de los factores que más aportan a la función lo que puede interpretarse que los usuarios prefieren que los operadores tengan una buena forma de conducir, por lo que su disponibilidad de pagar para el factor forma de conducir “buena” del operador es de \$5.34 pesos en el caso del CA, mientras que los usuarios están dispuestos a pagar \$3.71 pesos en el SA. Adicionalmente, el tiempo de viaje a bordo del trolebús para el caso del CA cuenta con una robustez de 10.87 debido a que es una desutilidad por lo que su disponibilidad de pago es de 0.22 pesos/min mientras en el caso del SA la robustez es de 4.52 con una disponibilidad de pago de 0.15 pesos/min. La disponibilidad de pago de 3.15 pesos para hacer que las condiciones de los asientos pasen de “actuales” a “buenas” condiciones es de 3.1 pesos; mientras la disponibilidad para la seguridad de accidentes es de 1.3 pesos.

TABLA 8. Modelos estimados. Fuente: Elaboración propia.

	Modelo CA	Modelo SA
Factor	Coeficiente (t-estadístico)	Coeficiente (t-estadístico)

	Modelo CA	Modelo SA
Cte	-0.361 (-6.7)	-0.443 (-4.5)
Ca	0.786 (-14.1)	-0.398 (-7.9)
Fc	1.33 (-17.7)	1.09 (8.1)
Tr	-0.249 (-9.4)	-0.294 (-6.2)
Tv	-0.056 (-10.8)	-0.043 (-4.5)
Valor tiempo de viaje	0.23	0.15
Disponibilidad de pago condición de los asientos	3.1	1.3
Disponibilidad de pago forma de conducir	5.3	3.7

CONCLUSIONES

El uso de una metodología para evaluar la calidad de un servicio de transporte público como lo es trolebús permite por parte del regulador (entidad de gobierno), conocer la valoración de los servicios establecidos y sobre qué elementos se deben elaborar las políticas públicas de transporte con ciertos niveles de calidad (utilidad del usuario). De esta manera, el regular quien toma las decisiones a nivel táctico y estratégico indicará a la empresa concesionaria cómo debe proporcionar el servicio (nivel operativo). Es decir, la aplicación de metodologías como la mostrada en este documento proporciona un camino para la sustentabilidad del transporte, que debe formar parte de la movilidad de las ciudades, en cada etapa: diseño, modelación, supervisión y evaluación.

Los modelos estimados ostentan las valoraciones numéricas acerca de las percepciones del usuario acerca del servicio, aportando una diferenciación entre factores que permite identificar aquellos que aportan en más o menos a las valoraciones de la calidad que es el valor de los estimadores. Adicionalmente, los modelos de elección discreta permiten estimar diferentes conjuntos de variables o factores, es decir, lo equivalente a paquetes de servicio ofrecidos en el mundo real que incluyen o excluyen características del servicio.

La metodología llevada a cabo permite además en una primera etapa, realizar estadística básica (identificación de factores), posteriormente, la información obtenida permite análisis minuciosos no sólo al estimar modelos tipo logit que atrapan las percepciones de los usuarios, sino también, permiten hacer valoraciones acerca del valor del tiempo y disponibilidades al pago por incrementar o disminuir los niveles de servicio.

REFERENCIAS

- [1] R. N. Cardozo, “An empirical study of customer effort, expectation and satisfaction,” pp. 244, 249, 1965.
- [2] A. Parasuraman, V. Zeithalm, and L. Berry, “A conceptual model of service quality and its implications for future research,” pp. 41, 50, 1985.
- [3] V. A. Zeithaml, A. Parasuraman, and L. L. Berry, *Delivering quality services*, 1990.
- [4] W. E. Deming, *Calidad, productividad y competitividad, la salida de la crisis*, 1989.
- [5] G. Suárez, “Three experts on quality management,” 1992.
- [6] A. E. Ureña, *Gestión estratégica de la calidad*, 1998.
- [7] J. Oña and R. Oña, “Quality of service in public transport based on customer satisfaction surveys: A review and assessment of methodological approaches,” pp. 605, 622, 2014.
- [8] E. Grigoroudis and Y. Siskos, *Customer Satisfaction Evaluation, Methods for Measuring and Implementing Service Quality*, 2010.
- [9] L. dell’Olio, A. Ibeas, and P. Cecin, “The quality of service desired by public transport users,” pp. 217, 227, 2011.
- [10] CDMX, “Servicio de transportes eléctricos. gobierno de la ciudad de México,” 2023. [Online]. Available: <https://www.ste.cdmx.gob.mx/red-de-servicio>
- [11] F. Domínguez, O. Díaz, and D. Cortés, “Estimación de la calidad de servicio del sistema de trolebús de la ciudad de México: una perspectiva del usuario,” 2018.
- [12] J. d. D. Ortúzar and L. Willumsen, *Modelling Transport*, 2011.

Detección del género de un autor en textos en español

Author gender detection in Spanish text

Priego-Sánchez, B.^{1*}, Pinto, D.², Honorato, H.¹ (*abps@azc.uam.mx)

Recibido: 1 de marzo de 2023 Aceptado: 10 de julio de 2023

RESUMEN

Al navegar a través de la red, día a día, se tiene acceso a una gran cantidad de información; sin embargo, datos sobre el autor de estos contenidos no está a la vista o de manera explícita. Por lo que, al procesar e interpretar esta información es posible obtener características que identifiquen al autor como identificación del género, el rango de edad, la variante del lenguaje, entre otras características más. En este artículo, se presenta un trabajo en progreso que permite analizar y procesar textos de comentarios en español, con el objetivo de identificar el género

(hombre o mujer) del autor. El proceso de análisis y procesamiento del sistema toma en cuenta las palabras, los emoticones de los textos y la utilización de algoritmos de aprendizaje automático. Los algoritmos empleados son Naïve Bayes y Árboles de decisión (J48), obteniendo el mejor resultado de precisión del 69.81 % con J48 para la identificación de género.

Palabras clave: *Perfilado de autor, Identificación de género, Análisis de textos en español.*

ABSTRACT

Nowadays, when browsing through the network you have access to a lot of information; however, data about the author of these contents is not visible or explicitly. Therefore, when processing and interpreting this information, it is possible to obtain characteristics that identify the author as the gen-

der identification, the age range, the variant language, among other characteristics. In this paper, we present a work in progress that allows to analyze and process texts of comments in Spanish, with the aim to identify author gender (man or woman). The process of analysis and processing of the system

¹Universidad Autónoma Metropolitana unidad Azcapotzalco, Departamento de Sistemas, México.

²Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Facultad de Ciencias de la Computación, México.



considers the words, text emoticons and the use of for author gender identification.

machine learning algorithms. The algorithms used

are Naïve Bayes and Decision Trees (J48), obtain-

ing the best precision result of 69.81 % with J48

Keywords: *Author profiling, Gender identification, Analysis of texts in Spanish.*

INTRODUCCIÓN

Al redactar el contenido de un texto ya sea para una página web o para un posteo en una red social, se hace uso de diferentes palabras, términos y signos de puntuación que revelan patrones que permiten descubrir detalles del autor como el sexo, la edad, el origen geográfico, su orientación sexual, lengua materna, profesión, clase social, formación académica y otras características demográficas [1]. Sin embargo, se debe tener en cuenta dos aspectos relevantes que surgen: en primer lugar, la información a la que se tiene acceso a través de internet es inmensa y en ocasiones, la información en páginas como redes sociales están plagadas de texto que no cuentan con una buena ortografía e incluso se hacen uso de palabras y emoticones fabricados; en segundo lugar, el texto escrito por un supuesto autor puede ser plagio o incluso simplemente un texto escrito con palabras escuchadas en el transcurso del día. El Procesamiento de Lenguaje Natural (PLN) tendrá un papel importante al momento de analizar un texto en el idioma español, ya que la idea del análisis de texto surge meramente de esta área [2].

En este artículo se presenta un sistema capaz de analizar y procesar textos en español con la finalidad de reconocer el género de su autor. El análisis y procesamiento que realiza el sistema se basa en dos características: el conteo de las palabras y el conteo de emoticones que corresponden a hombres o mujeres. Para determinar qué palabra o emoticón corresponde a un hombre, a una mujer o a ambos, el sistema realiza dos tipos de búsquedas (igualdad y similitud) en diferentes conjuntos de textos que están conformados por las palabras y emoticones de mayor uso por hombres y mujeres que son extraídas de: libros de texto, de un corpus comentarios, páginas de internet y preguntas hacia distintas personas. El sistema representa dos opciones para introducir el texto a analizar (texto plano y adjuntar archivo) y el resultado se visualiza con el porcentaje calculado para cada género. A partir de los textos de entrada el sistema realiza un análisis basado en la construcción de vectores de característica empleando los algoritmos de aprendizaje automático: Naïve Bayes y Árboles de decisión (J48) que ofrece el software Weka, con la finalidad de determinar el género del autor del texto.

Un proceso de evaluación de esta tarea de identificación automática del género del autor del texto fue realizado, el cual consistió en tomar en cuenta 8,160 textos como conjunto de prueba y tratar de determinar el género del autor a partir de los textos de prueba. Los mejores resultados fueron obtenidos con el algoritmo Árbol de decisión (J48) logrando identificar 4,345 textos correctamente, alrededor de un 53.24 % de precisión.

En la literatura están reportados trabajos con diversos enfoques y aplican diferentes técnicas relacionadas al perfilado de autor; a continuación, se describen algunos trabajos relacionados con el presentado en este artículo. En los trabajos [3–6], toman en cuenta un conjunto de comentarios de la red social Twitter y microblogs, se analizan y procesan para la extracción de ciertas palabras y éstas se guardan en bases de datos; la finalidad es analizar y procesar un comentario de entrada para poder clasificarlo de acuerdo con las palabras que lo conforman. Realizando un análisis y procesamiento de textos para la extracción de palabras y guardarlas y ocuparlas para procesar diversos textos de entrada.

En [7] se implementan y comparan algunos algoritmos de aprendizaje automático para la clasificación emocional de noticias seguras e inseguras a partir de títulos de noticias en español, utilizando una diversidad de palabras extraídas de diversos textos con el objetivo de construir un vector de características a partir ciertas características léxicas-sintácticas y hacer uso de los algoritmos supervisados Naïve Bayes y Árboles de decisión (J48) del software de Weka para realizar predicciones; además, sólo se hace uso de las palabras y está orientado a la clasificación de noticias como buenas o malas. En [8] se investigan, analizan y comparan técnicas de procesamiento de lenguaje natural para la clasificación de documentos a partir de la identificación y extracción de información subjetiva como opiniones, sentimientos y emociones. Las principales afinidades que se tienen con este trabajo, son la identificación y extracción de información subjetiva en textos y la aplicación del proceso de clasificación supervisado; sin embargo, las principales diferencias radican en que no se hace uso del análisis de los emoticones y se basa en el estudio de diversas técnicas para la implementación de un análisis de sentimientos.

Los algoritmos de aprendizaje automático han sido ampliamente utilizados en tareas de clasificación de textos por tema, autor o polaridad como se ha analizado en la literatura. Por ello, este artículo se centra en dos de los algoritmos más utilizados en la literatura para resolver el problema de la identificación automática del género del autor de comentarios en español, estos algoritmos son Naïve Bayes y Árboles de decisión (J48). Si bien han sido utilizados en diversas tareas, con lo que respecta a abordar textos en español, el uso de estos algoritmos y diversos recursos son escasos para dicho lenguaje.

El resto del artículo se organiza como sigue. La Sección 2 presenta la propuesta de solución para la identificación automática del género de autor a partir de textos en español. En la Sección 3, se presentan los resultados de los experimentos realizados. Finalmente, en la Sección 4 se presentan las conclusiones y el trabajo a futuro.

METODOLOGÍA

En este apartado, se presenta la arquitectura de solución propuesta para implementar un sistema de detección de género de autor a partir de comentarios en español. Este sistema está basado en el análisis y procesamiento de palabras y emoticones contenidos en los textos. La Figura 1 muestra la arquitectura que consta de cuatro módulos descritos a continuación.

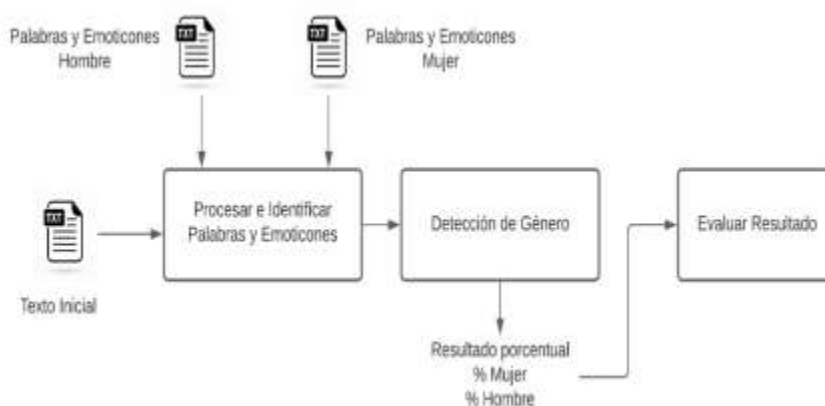


FIGURA 1. *Arquitectura de solución para la identificación de género en un texto en español.*

Selección de palabras y emoticones

El objetivo de este módulo, se centra en recabar las palabras y emoticones que son representativas y tiene un grado de relevancia en los textos escritos por hombres y mujeres. Para el funcionamiento de este módulo, se llevó a cabo la división de éste en cinco subetapas centradas en los textos: extracción, recolección, limpieza, pre-procesamiento y generar los listados que permiten el correcto funcionamiento de dicho objetivo y permiten que el resultado sea utilizado en el módulo siguiente.

Extracción: En esta etapa se consideran dos fuentes de donde se extrajeron las palabras. En primer lugar, dos libros (textos en formato plano), bajo los nombres de: “El laberinto de la soledad”, del autor Octavio Paz, y “La última sirena”, de la autora Eva Millet, de los cuales se optó por borrar su índice, agradecimientos y prefacio. En segundo lugar, se considera un corpus de comentarios escritos por hombres y mujeres utilizados en la tarea de perfilado de autor del PAN¹ [9] en la edición del 2013. Este corpus cuenta con 75,900 archivos en formato XML, clasificados por un ID y el género del autor. La obtención de los textos se ha basado en un método que extrae el texto delimitado por las etiquetas de marcado

¹PAN es una serie de eventos científicos y tareas compartidas sobre texto digital forense y estilometría.

(<TAG></TAG>), convierte el texto en minúscula y, finalmente, generando archivos de textos plano con los textos correspondientes a cada género. Se optó por utilizar dos tipos de contextos y textos diferentes debido a que esto permite la comparación de la metodología en diversos tipos de escritura (formal e informal) en el lenguaje español; considerando textos bien escritos (libros literarios) y textos con detalles ortográficos e informalidad de escritura y llegando a la conclusión de que las técnicas empeladas en este artículo se pueden emplear para cualquier tipo de escritura y contexto.

Recolección: Esta tarea recaba los emoticones de mayor uso por hombres y mujeres en dos formatos de texto plano; para poder realizarlo, fue necesaria la construcción de un lexicón con emoticones asociados a hombres o mujeres. La recolección se realiza a través del informe presentado en [10]; documento en el cual, mediante preguntas sobre el uso de emoticones a 10 hombres y 10 mujeres, se obtienen subconjuntos de emoticones que caracterizan a cada perfil.

Limpieza: En esta etapa se realiza un filtrado y eliminación de elementos no relevantes de en los textos de hombres y mujeres que se obtuvieron en la etapa de “Extracción”. Este filtrado consiste en eliminar correos, caracteres especiales, etiquetas de marcado que pudiesen haber quedado dentro de los textos y reemplazar puntuación, así como caracteres especiales por espacios en blanco, teniendo como principal objetivo un texto estándar en formato y texto.

Pre-procesamiento: Esta tarea se dividió en cuatro subtarear más: normalización de los textos, *tokenización*, identificación y eliminación de palabras no relevantes (palabras que no aportan en la tarea de identificación del género) y lematización. Para llevar a cabo cada una de estas subtarear, se tomaron en cuenta los textos generales de hombres y mujeres después de haber pasado por la tarea de “Limpieza”.

- a) *Normalización:* el proceso de normalización consiste en transformar sólo los textos de los libros (primer conjunto de datos) a minúsculas.
- b) *Tokenización:* este proceso se ha llevado a cabo mediante el uso de expresiones regulares que consideran los espacios en blanco, valores numéricos, caracteres especiales y saltos de línea como marcadores de separación de palabras. El resultado de tokenizar los textos son listas de palabras representativas de cada uno de los grupos de textos.
- c) *Identificación y eliminación de palabras no relevantes:* Esta tarea es considerada una de las de mayor importancia, ya que consistió en recabar un conjunto de palabras que no ayudan a la identificación de género. En primer lugar, se reunió una gran variedad de *stopwords* que se obtuvieron a través del uso de la librería de Python y de la literatura tomadas de [11–14] En segundo lugar, se contempló un conjunto de nombres comunes de hombres y mujeres tomados de [15]. Finalmente, tras un análisis, se tomó en cuenta una gran variedad de palabras que se consideró que no son de

gran aporte para la identificación de género. Una vez identificadas, todas las palabras anteriormente descritas, se eliminan de las listas de palabras representativas; así como la presencia de cantidades numéricas.

- d) *Lematización*: El objetivo principal de esta etapa fue lematizar las listas de palabras que son representativas de los textos después de concluir la tarea de “Tokenización”, así como también lematizar la lista de palabras no útiles.

Obtención: Esta última tarea se basa en obtener las palabras y emoticones finales que son útiles para la identificación de género. Para cumplir este objetivo se ha dividido en tres métodos: conteo, estructuración y selección.

- a) *Conteo*: El objetivo de este método es realizar la tarea de conteo de las palabras y de los emoticones finales de las listas de palabras que se obtienen al finalizar las tareas de “Recolección” y “Pre-Procesamiento”. Los conteos se pueden visualizar en las Tablas 1 y 2.
- b) *Estructuración*: Una vez que se obtuvieron los conteos finales de las palabras y emoticones, se dio a la tarea de crear diez listas generales en texto plano, con el objetivo de que en los experimentos se observara la relación entre los archivos y la división. En primer lugar, se crearon cuatro archivos por cada género (Hombre y Mujer), los cuales se conforman del 10 %, 20 %, 30 % y 100 % del total de palabras no repetidas y mezclando las palabras obtenidas de cada género. En segundo lugar, se creó una lista de palabras por cada género (Hombre y Mujer) conformada por el 100 % de emoticones reunidos sin repeticiones. La estructuración de cada uno de los archivos se visualiza en la Tabla 3.
- c) *Selección*: La finalidad de este método es seleccionar las palabras para conformar los 8 archivos generales que se muestran en la Tabla 3. La selección de las palabras se basó en los siguientes criterios: 80 % de palabras con mayor frecuencia, 17 % de palabras con frecuencia media y el 3 % de palabras con baja frecuencia; se reportan estos criterios debido a que son en los que se obtienen los mejores resultados. Cabe resaltar que estos porcentajes se aplicaron al total de palabras de cada uno de las listas especificadas en la Tabla 1.

TABLA 1. *Cantidades de palabras funcionales con y sin repetición de las listas de textos.*

Archivo	Nro. de palabras finales con repeticiones	Nro. de palabras finales sin repeticiones
Laberinto_de_la_soledad.txt (1)	23,686	5,000
La_ultima_sirena.txt (2)	53,133	6,686
Comentarios_Mujer.txt (3)	2,909,077	147,877
Comentarios_Hombre.txt (4)	3,387,956	171,459

TABLA 2. *Cantidades finales de las listas de emoticones.*

Archivo	Nro. de emoticones finales con repeticiones	Nro. de emoticones finales sin repeticiones
Emoticones_Mujer.txt	100	86
Emoticones_Hombre.txt	80	64
Total	180	150

Procesamiento e identificación de palabras y emoticones

Este módulo se encarga de procesar un texto de entrada con la finalidad de identificar las palabras y emoticones que corresponden a cada género (Hombre y Mujer). Esta identificación involucra los procedimientos de limpieza, normalización, *tokenización*, *lematización* y eliminación de palabras no relevantes, descritos anteriormente. La necesidad de procesar los textos en el sistema tiene como propósito obtener las palabras útiles y los emoticones de cualquier texto plano de entrada. El objetivo final de este módulo es, una vez obtenidas las palabras útiles y los emoticones de un texto de entrada, buscar dentro de las bases de datos cada una de las palabras útiles y los emoticones identificados. Estas bases de datos son expuestas en la Tabla 3 y corresponden a la selección de las listas de palabras y emoticones. Los procesos de búsqueda que se realizan en este módulo son: búsqueda por igualdad y búsqueda por similitud.

TABLA 3. Estructura preliminar de las listas generales de palabras de hombres y mujeres.

Archivo	(1)	(4)	(2)	(3)	Total pala- bras
Palabras_Mujer_10 %			669	14,788	15,457
Palabras_Mujer_20 %			1,337	29,576	30,913
Palabras_Mujer_30 %			2,006	44,364	46,370
Palabras_Mujer_100 %			6,686	147,877	154,563
Palabras_Hombre_10 %	500	17,146			17,646
Palabras_Hombre_20 %	1,000	34,292			35,292
Palabras_Hombre_30 %	1,500	51,438			52,938
Palabras_Hombre_100 %	5,000	331,021			336,021

Búsqueda por igualdad: Este tipo de búsqueda se basa en encontrar una palabra o emoticón en el texto, los tres posibles resultados de esta búsqueda son:

1. Si se encuentra la palabra o emoticón dentro de la base de datos de uno de los géneros (Hombre o Mujer), se aumenta en uno el contador para ese género,
2. Si la palabra o emoticón se encuentra en las dos bases tanto de hombres y de mujeres, se aumenta en uno los contadores de ambos géneros.
3. Si una palabra o emoticón no se encuentra en ninguna base de datos, la palabra se guarda en una lista de palabras no encontradas y el emoticón es desechado.

Búsqueda por similitud: La búsqueda por similitud se encarga de localizar la palabra con mayor similitud léxica a la palabra del listado. Este proceso de búsqueda se implementa utilizando tres elementos: palabras no encontradas, el algoritmo “distancia de Levenshtein” y el uso del cálculo de afinidad (ver Ecuación 1). Para determinar la similitud de las palabras contenidas en las bases de datos de hombres o mujeres y los textos, se ha propuesto una serie de condiciones, donde la más utilizada en este trabajo, es si el cálculo final de afinidad es mayor a 50, es considerada como similar.

En la Ecuación 1, AF es definido como la “afinidad”; D hace referencia al número de diferencias a nivel de letras que arroja como resultado el algoritmo “distancia de Levenshtein”; y L es la longitud mayor de las dos palabras que se comparan.

$$AF = \left(1 - \frac{D}{L}\right) \times 100 \quad (1)$$

Detección de género

El módulo de detección de género se encarga de mostrar una respuesta final por parte del sistema; es decir, toma en cuenta los resultados de los conteos de las palabras y emoticones que se obtuvieron tanto para hombres y mujeres, y expone aquellos resultados con mayor coincidencia hacia cada género. Este resultado, representa la identificación automática del género de un autor, se calcula de acuerdo con la Ecuación 2 y es aplicado tanto para la identificación de hombres como para la de mujeres.

$$RG = \text{Redondeo} \left(\frac{(PP + EP) \times 100}{PF + EF} \right) \quad (2)$$

En la Ecuación 2, RG representa el resultado final para el género (Hombre o Mujer) evaluado, PP hace referencia a la cantidad de palabras que se contabilizaron para un género (Hombre o Mujer) en específico, EP es la cantidad de emoticones que se contabilizaron para un género, PF y EF hacen alusión al total de palabras útiles y al total de emoticones que se encontraron dentro del texto. Esta ecuación es utilizada para la identificación de género, es importante resaltar que dentro de las cantidades que constituyen a PF y EF, se consideraron las repeticiones.

Los resultados que se obtienen son:

1. “Hombre o Mujer”, si al realizar los cálculos tanto para hombre y mujer, uno resulta ser mayor que otro.
2. “Empate”, si al realizar los cálculos tanto para hombre y mujer, los resultados son iguales.
3. “Texto no funcional”, si la suma de PF + EF es cero.

Entrenamiento y pruebas

Este módulo tiene como objetivo realizar un segundo análisis para la detección automática de género de autor y poder evaluar los resultados arrojados por el sistema. Los algoritmos empleados, para la identificación de género de autor, son Naïve Bayes y Árboles de decisión (J48) y en éstos se aplicaron tanto para el conjunto de datos como para el conjunto de prueba.

El conjunto de entrenamiento se conformó por 75,902 textos, contemplando los textos de los dos libros y los 75,900 textos de comentarios. El conjunto de pruebas se conforma de 8,160 textos separados

del conjunto de comentarios; dado que se contaba con un conjunto de pruebas, fue posible entrenar con el conjunto para este fin. A partir de estos textos (entrenamiento y pruebas) se obtienen vectores de características, las cuales se describen a continuación:

1. El número total de palabras antes de los procesos limpieza, normalización, tokenización, lematización y eliminación de palabras no relevantes.
2. El número total de palabras después de los procesos limpieza, normalización, tokenización, lematización y eliminación de palabras no relevantes.
3. El número total de palabras identificadas de mujer después de los procesos descritos en el punto 1, 2, usando todos los listados.
4. El número total de palabras de hombre después de los procesos descritos en el punto 1, 2, usando todos los listados.
5. El número total de emoticones encontrados.
6. El número total de emoticones de mujer identificados usando la base del 100 %.
7. El número total de emoticones de hombre identificados usando la base del 100 %.
8. El género del autor en el archivo de entrenamiento y el signo de interrogación de cierre para el archivo de pruebas.

Entrenamiento para Naïve Bayes y Árboles de decisión (J48). Los clasificadores Naïve Bayes y Árboles de decisión (J48) fueron entrenados con estos vectores de características de los textos para tal fin, utilizando la herramienta WEKA. Las predicciones de género del autor se llevaron a cabo utilizando los métodos: Use training set, Cross-validation y Percentage-Split (70-30 % y 80-20 %, respectivamente); donde principalmente se usó una validación cruzada de 10 elementos y se cambiaron las propiedades de ejecución del algoritmo, cambiando las propiedades más importantes. El objetivo principal del entrenamiento de los clasificadores Naïve Bayes y Árboles de decisión (J48), fue realizar una comparación entre ambos algoritmos de clasificación y determinar el algoritmo con mejor exactitud para esta tarea; es decir, comparar el algoritmo que tiene el porcentaje más alto de instancias clasificadas correctamente.

RESULTADOS

Con la intención de exponer los resultados que se obtuvieron a lo largo del desarrollo de este trabajo, esta sección se dividió en dos partes: resultados del sistema y resultados de las predicciones.

Resultados del sistema

En el módulo de “Selección de palabras y emoticones” se hizo mención de la creación de listas de palabras de mayor uso por hombres y mujeres. Además, se consideraron dos listas que contienen la cantidad total de emoticones reunidos con mayor incidencia en textos de hombres y mujeres. Por parte del sistema se utilizaron cada una de las bases (10 %, 20 %, 30 % y 100 % palabras) y el total de emoticones, para realizar la detección de los 8,160 textos de prueba. Los resultados se exponen en la Tabla 4.

TABLA 4. *Resultados de detección de género de autor considerando 100 % de emoticones.*

Resultado	10 % de pala- bras	20 % de pala- bras	30 % de pala- bras	100 % de pala- bras
Detecciones Correctas	2,192	1,968	1,935	1,676
Detecciones Incorrectas	1,559	1,400	1,269	5,175
Empates	4,334	4,717	4,881	-
Textos no funcionales	75	75	75	75
Total	8,160	8,160	8,160	8,160

Resultados de las predicciones Tras entrenar los algoritmos de aprendizaje automático utilizando los métodos de entrenamiento: *Use training set*, *Cross-validation (10 elementos)* y *Porcentaje-Split (70-30 y 80-20 %, respectivamente)*; se eligió el clasificador “Árbol de decisión (J48)” junto con el método de entrenamiento “Use training set” para realizar las predicciones de género, ya que resultó ser la opción con mayor porcentaje de instancias clasificadas correctamente. En la Tabla 5 se muestran los resultados en porcentaje de las instancias correctamente clasificadas y en la Tabla 6 el resultado de las predicciones.

TABLA 5. *Resultados de los entrenamientos de clasificación.*

Clasificador	Use training set	Cross-validation	Percentage-split
Naïve Bayes	50.51 %	50.51 %	50.67 %
J48	69.81 %	66.64 %	66.34 %

TABLA 6. *Resultados de comparación de respuestas correctas e incorrectas (predicciones).*

Resultado	Predicciones
Predicciones de género correctas	4,345
Predicciones de género incorrectas	3,815
Total	8,160

CONCLUSIONES

En el presente trabajo se ha desarrollado un sistema fundamental para la detección de género de autor a través del análisis y procesamiento de palabras y emoticones presentes en texto en español. También, se construyó un lexicón basado en las frecuencias de las palabras y emoticones más utilizados por cada género. Si bien, el sistema realiza un análisis básico y procesamiento adecuadamente, al inspeccionar los resultados arrojados por el sistema, se nota una disminución en las detecciones automática de géneros de los textos. Esto se debe a que al considerar un mayor número de palabras tanto para hombres y mujeres, mayor es el número de palabras que comparten, lo que ocasionó fallas en la detección del género.

Los resultados experimentales comprobaron que en cada uno de los conjuntos de datos (10 %, 20 %, 30 % y 100 %) había una gran cantidad de palabras que compartían ambos géneros, afectando la predicción del género de los autores de los textos usando los algoritmos de aprendizaje automático. Aun cuando los resultados obtenidos son alentadores, estos se pueden mejorar para lograr una cantidad superior a 6,000 predicciones correctas de los 8,160 textos usados en las pruebas.

Los resultados se vieron afectados por el uso de textos con emoticones fabricados, textos compuestos de palabras con ruido, direcciones electrónicas, nombres de personas o textos demasiado extensos, entre otros factores. Si bien, el sistema no da una excelente detección del género, éste puede ser utilizado y empleado por analistas de textos para apoyarse en la predicción e identificación del género de la persona que escribe un texto, comentario o libro. Como trabajo a futuro, es posible seleccionar una mejor cantidad de palabras de hombres y mujeres basándose en mejores libros descriptivos. Finalmente, incorporar

un mayor número de características para la detección de género, tales como: características sintácticas, morfológicas y semánticas; sin embargo, es importante considerar que esto no garantiza el mejoramiento de la precisión, ya que vectores más grandes no garantizan un mejor desempeño.

REFERENCIAS

- [1] P. Josep, “Los textos escritos delatan el sexo,” 2016, consultado el 12 de febrero de 2023. [Online]. Available: <https://www.lavanguardia.com/cultura/20161017/411054860677/linguistica-estu-dio-determina-sexo-autor-articulo-upf.html>
- [2] E. García Menier, “Análisis de textos por computadora,” *Boletín de Lingüística*, vol. 18, no. 25, pp. 121–134, 2006.
- [3] V. H. Rojas, “Sistema para la clasificación de opiniones generadas en twitter usando redes neuronales artificiales,” División de Ciencias Básicas e Ingeniería, Universidad Autónoma Metropolitana Azcapotzalco, México, Tech. Rep., 2017.
- [4] L. E. P. Terán, “Minería de opiniones sobre textos en twitter,” División de Ciencias Básicas e Ingeniería, Universidad Autónoma Metropolitana Azcapotzalco, México, Tech. Rep., 2018.
- [5] H. Librado, “Análisis automático de opiniones de productos en redes sociales,” Master’s thesis, Centro de Investigación en Computación, Instituto Politécnico Nacional, México, 2016.
- [6] S. Delgado, “Modelo computacional de minería de microblogs para el análisis del comportamiento del consumidor de telefonía celular,” Master’s thesis, Escuela de Posgrado, Pontificia Universidad Católica del Perú, Perú, 2016.
- [7] G. Villarruel, “Clasificación emocional de noticias en español utilizando algoritmos de aprendizaje automático,” División de Ciencias Básicas e Ingeniería, Universidad Autónoma Metropolitana Azcapotzalco, México, Tech. Rep., 2018.
- [8] L. Dubiau, “Procesamiento de lenguaje natural en sistemas de análisis de sentimientos,” Master’s thesis, Facultad de Ingeniería, Universidad de Buenos Aires, Argentina, 2013.
- [9] F. Rangel, P. Rosso, M. Koppel, E. Stamatatos, and G. Inches, “Overview of the author profiling task at pan 2013,” in *CLEF 2013*, R. N. Pamela Forner and D. Tufis, Eds., 2013.

- [10] J. Hernández, “Primer informe sobre el uso de emojis, un idioma internacional,” Blog, 2018, consultado 24 de febrero de 2022. [Online]. Available: <https://blog.hostalia.com/informes/primer-informe-sobre-el-uso-de-emojis-un-idioma-internacional/>
- [11] “Full-text search – stopwords,” 2017, consultado el 12 de febrero de 2023. [Online]. Available: <https://wiki.easyvista.com/xwiki/bin/view/Documentation/Full+text+search+-+Stop+Words>
- [12] Savand, “stop-words,” GitHub, 2020, consultado el 12 de febrero del 2023. [Online]. Available: <https://github.com/Alir3z4/stop-words/blob/master/spanish.txt>
- [13] “The list of stop words,” Countwordsfree Text Processing, Tools, 2009, consultado el 12 de febrero del 2023. [Online]. Available: <https://countwords-free.com/stopwords/spanish>
- [14] D. E. Avendaño, “Stopwords spanish,” Facultad de Ciencias de la Computación, BUAP, 2009, consultado el 24 de febrero de 2023. [Online]. Available: http://dpinto.cs.buap.mx/pln/course2009/Stopwords_Spanish.txt
- [15] Olea, “Nombres propios y apellidos,” GitHub, 2020. [Online]. Available: <https://github.com/olea/lemarios/blob/master/nombres-propios-es.txt>

Diseño y desarrollo de una terapia asistida por robot de muñeca basada en juegos serios

Design and development of a wrist robot-assisted therapy based on serious games

Sánchez-Carmona, I.L.^{1*}, Sandoval-González, O.O.¹, Rodríguez-Jarquín, J.P.¹, Flores-Cuautle, J.J.A.¹

*jflores_cuautle@hotmail.com

Recibido: 20 de abril de 2023 Aceptado: 6 de julio de 2023

RESUMEN

Al navegar a través de la red, día a día, se tiene acceso a una gran cantidad de información; sin embargo, datos sobre el autor de estos contenidos no está a la vista o de manera explícita. Por lo que, al procesar e interpretar esta información es posible obtener características que identifiquen al autor como identificación del género, el rango de edad, la variante del lenguaje, entre otras características más. En este artículo, se presenta un trabajo en progreso que permite analizar y procesar textos de comentarios en español, con el objetivo de identificar el género

(hombre o mujer) del autor. El proceso de análisis y procesamiento del sistema toma en cuenta las palabras, los emoticones de los textos y la utilización de algoritmos de aprendizaje automático. Los algoritmos empleados son Naïve Bayes y Árboles de decisión (J48), obteniendo el mejor resultado de precisión del 69.81 % con J48 para la identificación de género.

Palabras clave: *Perfilado de autor, Identificación de género, Análisis de textos en español.*

ABSTRACT

Nowadays, when browsing through the network you have access to a lot of information; however, data about the author of these contents is not visible or explicitly. Therefore, when processing and interpreting this information, it is possible to obtain

characteristics that identify the author as the gender identification, the age range, the variant language, among other characteristics. In this paper, we present a work in progress that allows to analyze and process texts of comments in Spanish, with the

¹Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de Orizaba. Orizaba, Veracruz, México.



aim to identify author gender (man or woman). The process of analysis and processing of the system considers the words, text emoticons and the use of machine learning algorithms. The algorithms used are Naïve Bayes and Decision Trees (J48), obtaining the best precision result of 69.81 % with J48 for author gender identification.

Keywords: *Author profiling, Gender identification, Analysis of texts in Spanish.*

INTRODUCCIÓN

According to the World Bank analysis of disability and poverty, about 85 million people live with some disability only in Latin America and the Caribbean [1]. Diseases, including brain injury or musculoskeletal accidents, can result in disability. Physical rehabilitation has increased in demand in recent years; therefore, it is essential to design low-cost technology and easily reproducible. The World Health Organization (WHO) defines rehabilitation as "interventions designed to optimize functioning and reduce disability in individuals with health conditions and their environment interaction" [2]. A therapy session consists of repetitions of some movements that allow the user to strengthen the affected area. These exercises must be performed daily; however, this is not always possible, and the patient receives no more than 2 or 3 sessions per week.

Motivation is a crucial factor in achieving adequate rehabilitation since when patients perform repetitive routines, they risk abandoning rehabilitation. There are two types of motivation: the intrinsic one that brings, puts, executes, and activates the individual when desired [3], making it a motivation that does not depend on external factors but that the user has the initiative to do something for his convenience. The second type of motivation is the extrinsic one, which is the one provoked from outside the individual by other people or the environment [3]; this motivation is helped by incentives/punishments, environments, or people willing and able to help to achieve a particular target.

In robots that assist patients in rehabilitation, the MIME-RiceWrist [4] is an exoskeleton for wrist rehabilitation that works in passive, active, and restricted modes. Similarly, the EMUL system [5] is a platform with three degrees of freedom, in horizontal and vertical planes, with force sensors in the three-dimensional plane. In this system, the user makes the movements through the robot, and the robot offers some resistance to the patient's movement; the design allows various movements so that the user has more freedom and thus can rehabilitate the wrist and the arm. Other works in which rehabilitation techniques are proposed, such as techniques that include assisted movements and haptic simulations, such as those performed by the Pneu-WREX robot [7]. All these strategies have had good results in the rehabilitation of patients. These systems also have various routines that the patient can perform to rehabilitate himself and motivate him to continue his rehabilitation exercises.

On the other hand, virtual environments have had significant development. Despite having been crea-

ted for the video games and entertainment sectors, nowadays, they take advantage of the different advantages they present for areas such as the industrial sector, as mentioned in [8], where virtual environments are focused on the use of simulators for assembly with haptic feedback to help engineers through a different and technological environment. A virtual simulator is used to manufacture products without prolonged training [9]; in the health area, virtual environments are primarily used for the simulation of surgical methods, as mentioned in [10–12].

In the health area, virtual environments are widely used in motor rehabilitation since they have advantages such as their capacity for precise evaluation, adaptability to each patient and disease, and repeatability. They also involve the patient by generating a greater interest in his therapy [13]. Therefore, this paper intends to join these two concepts and focus them on the rehabilitation area to achieve a more significant commitment from the patient to finish the long treatments, using serious games with which the rehabilitation routine becomes more interesting, entertaining, and safe.

Virtual reality is now adapted to the so-called serious games, which can help improve balance, posture control [14], coordination [4], and patient rehabilitation. Serious games help with problems with patient motivation and commitment [15]; according to Michael and Chen, serious games are used to educate, train, and inform [5]. This term is better known for video games and simulators, whose main objective is education or training. Serious games [7, 16] improve the sharpness of visual perception, the speed of reflexes, the memory, and the capacity to follow instructions, this being at a sensorial level. However, cognitively, advantages are also obtained, such as facilitating the development of strategies for problems and developing thought structures. As the literature points out, a serious game “can only take effect if these games are developed and designed based on an interdisciplinary understanding of the respective application field.” [17]. Therefore, this work is part of a greater effort in developing rehabilitation systems.

There are different taxonomies for the development of serious games in different areas of application; within the area of rehabilitation Rego and collaborators [18] contribute to the design of serious games by taking into account two elements: pedagogy and entertainment; likewise, they take into account nine factors that contribute to evaluating the objective and classification of a serious game based on the area of application, the technology of interaction, the interface of the game, number of gamers, adaptability, feedback, progress monitoring, and portability. There is no formal methodology for developing serious games; Esperança and coworkers propose five steps to develop a serious game [6]. The selection of therapy and interaction mechanism must be considered when developing a serious game to succeed.

Another methodology proposed in 2008 is called EMERGO, which aids in the acquisition of cognitive skills and consists of 5 cases: idea (analysis), scenario (design), development, delivery, and evaluation [19].

The EDoS (Environment for Design of Serious Games) methodology [20] shows an environment based on three models focused on creating serious games, combining learning and fun features. This methodology is focused on the creation of serious games for the teaching of engineering skills.

In this research, a serious game has been developed to be applied in robotic rehabilitation platforms, which helps motivate patients with their wrist rehabilitation routines and allows therapist interaction to adapt the serious game to every routine the patient needs. A significant advance is that the therapist can change ranges of motion, the duration of the routine, and the level of force that the patient will perform. Besides, the therapist has access to a series of data to compare the trajectory performed by the patient against the correct trajectory performed in the game and thus has an objective parameter to evaluate the progress of the patient's rehabilitation. The present work is focused on designing a serious game that, in conjunction with a rehabilitation robot, could allow the rehabilitation of the upper limb, specifically the wrist. This work is limited to the mechanical and programming part of the system therefore, no rehabilitation routines were performed.

MATERIALS AND METHODS

The present work involves designing and manufacturing a robotic system capable of assisting patients with motor disabilities of the wrist during their rehabilitation using serious games. As shown in Figure 1, the system is divided into three main sections: mechanics, electronics, and serious game programming.

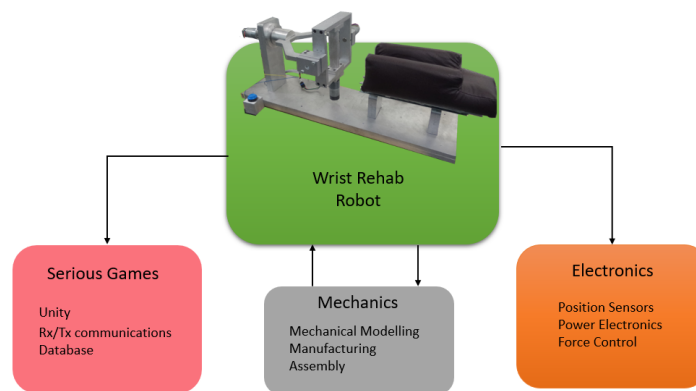


FIGURA 1. *General scheme of the Wrist Rehabilitation Robot.*

Mechanical design

The robot has been designed to have three degrees of freedom (DOF), which produces a fully actuated system capable of executing active and passive rehabilitation. Because the human wrist has the following movements: flexion, extension, abduction, adduction, supination, and pro-supination, the robot helps

with those movements of the patient's wrist, assisting them during their rehabilitation routines. The robot movements were selected based on questionnaires applied to Rehabilitation center personal.

Figure 2 shows the mechanism design for each of the three DOF; the combination of these movements executes the entire wrist movement. This robot also has a mobile base to support the patient during rehabilitation exercises, ensuring that the user always has a comfortable position regardless of the type of movement with the wrist, as illustrated in Figure 3.

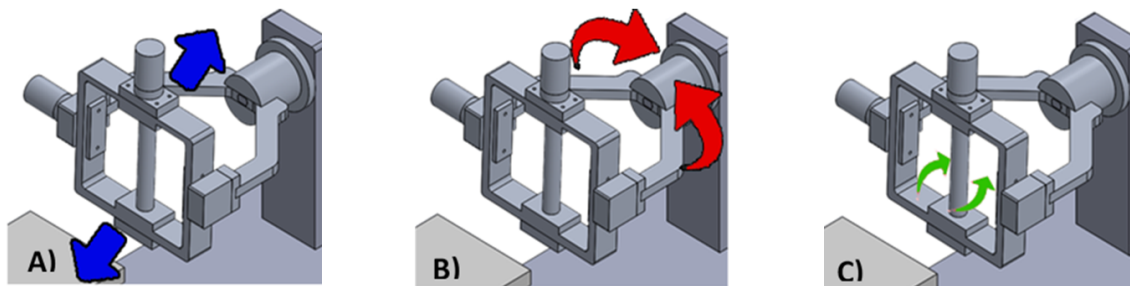


FIGURA 2. *Schematic representation of robot movements, A) abduction and adduction. B) pronation and supination. C) flexion and extension.*

Passive rehabilitation aims to avoid rigidities, promote blood and lymphatic circulation, prepare the muscle for better active work, prevent adhesions and contractures of the tissues, maintain their elasticity, maintain joint mobility, or restore it in the joints presenting limitation. Therefore, the proposed robot carries out the complete movements of the patient's wrist.

Conversely, active rehabilitation aims to recover muscle tone, reinforce joint movements, recover their amplitude range of movement to the maximum, improve neuromuscular coordination, and increase dexterity and speed when carrying out the movement. In this case, the robot carried out an impedance control to generate resistance during the movement performed by the patient's wrist.

Electronic design

The position sensors, the DC motors, the power electronics module, and the control module integrate the electronic system. Two-channel hall effect encoders conform the position sensors. H-Bridge boards conform the power electronic module for controlling three gear motors of 250 oz-in torque with a gear ratio of 131:1. Finally, the control is carried out by a MyRIO platform board from National Instruments that contains an FPGA XILIX Zynq-7010 and a 667 MHz dual-cortex ARM Cortex-A9 processor. Figure 4 illustrates the information flux in generating the impedance control. This scheme is reproduced for each of the DOF in the robot.

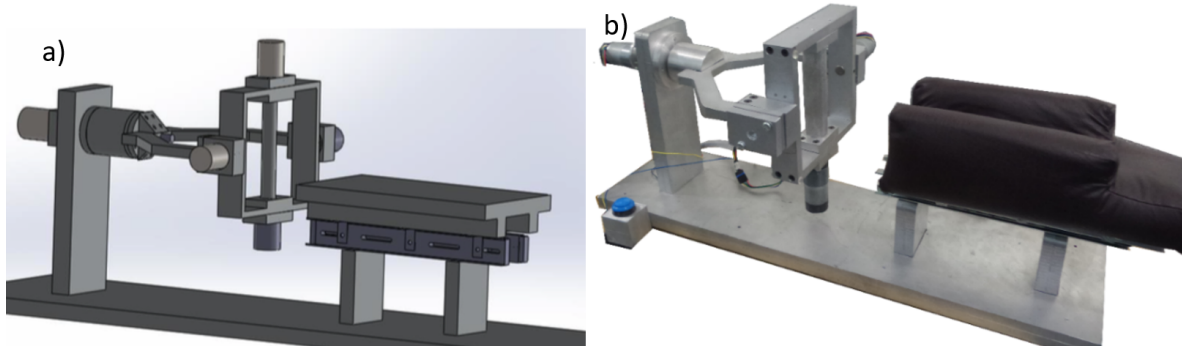


FIGURA 3. *Integration of mechanical components and actuators to the wrist rehabilitation robot a) conceptual design, b) real system.*



FIGURA 4. *The electronic scheme applied to sensing and control.*

Serious Games

Following the methodology proposed by Alcover and collaborators [6], the therapy selection is based on the statistical data exposed elsewhere devoted to wrist rehabilitation. Also, a specific design robot focuses on the rehabilitation of the segments as described by De Mauro [13]; this robot constitutes the mechanism of interaction, while the elements of interaction are the serious game, the rehabilitation robot, and the information provided by the sensors that the robot has.

UNITY and the MyRIO platform were used to develop and design the serious game. A classic game of a spacecraft that follows trajectories, evades collision, and shoots objects was designed; it was programmed to perform certain routines determined by the therapist. The robot selects and programs the force and range of movements exerted by patients at each DOF. Figure 5 shows a schematic diagram of the serious game programming methodology focused on the wrist rehabilitation platform.

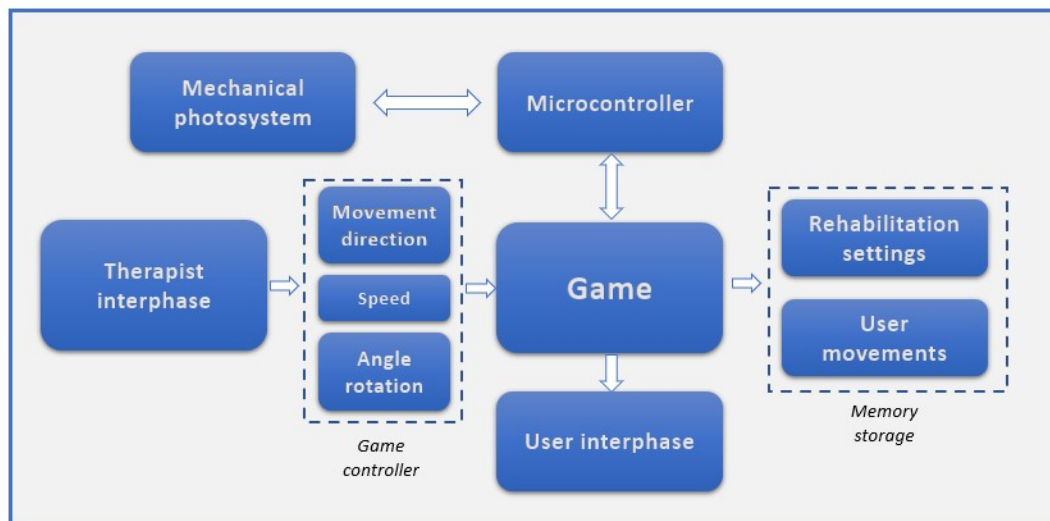


FIGURA 5. *Methodology for serious game development and design.*

This game's goal is for the patient to execute one or more combined movements -like pronation, supination, flexion, extension, adduction, abduction, and circumduction. Four training sections were designed for the game; each corresponds to a movement type, such as pronation-supination, flexion-extension, or adduction-abduction, and the last section is configured to use all three movement types. All movements can be programmed in a specific range of movement and a specific force programmed by the physiotherapist. Although the range of movements and the force are programmed, switching the game between two options is possible. The game can be programmed to move freely or follow a specific trajectory and speed required in specific rehabilitation routines.

Rehabilitation routines feedback

A tracking system was also developed to analyze the patient's performance and give feedback to the physiotherapist. Figure 6 shows a flowchart of developing a tracking system to determine the patient's routine to help the patient perform prescribed movements employing a system of movement patterns.

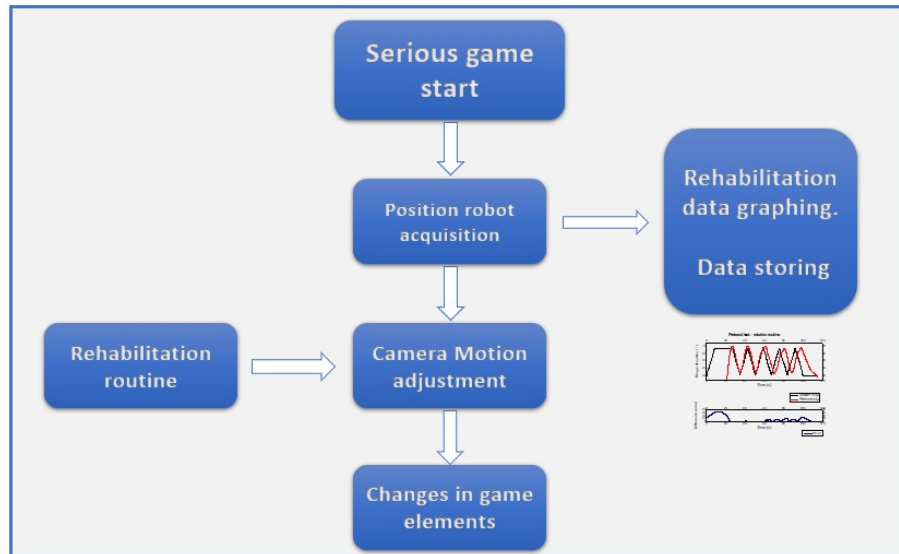


FIGURA 6. *Methodology for the development and programming of the follow-up routines of the serious game.*

Within each level are a series of points marked by spheres of white material; these spheres are placed within a marked path depending on the desired movement to be performed. In Figure 7 a) are supination and pronation movements, indicated by the blue arrows; in Figure 7 b) are performed adduction-abduction movements. For the camera movement, adjustments were made to make translation movements along the area of the game. The movements of supination-pronation and abduction and adduction of the pattern element leaving a tracing guide to advance to each of the points established also shows the interaction between the ship that commands the patient to touch one of the points established upon reaching a point is a change of material to make the patient notice reaching the indicated point.

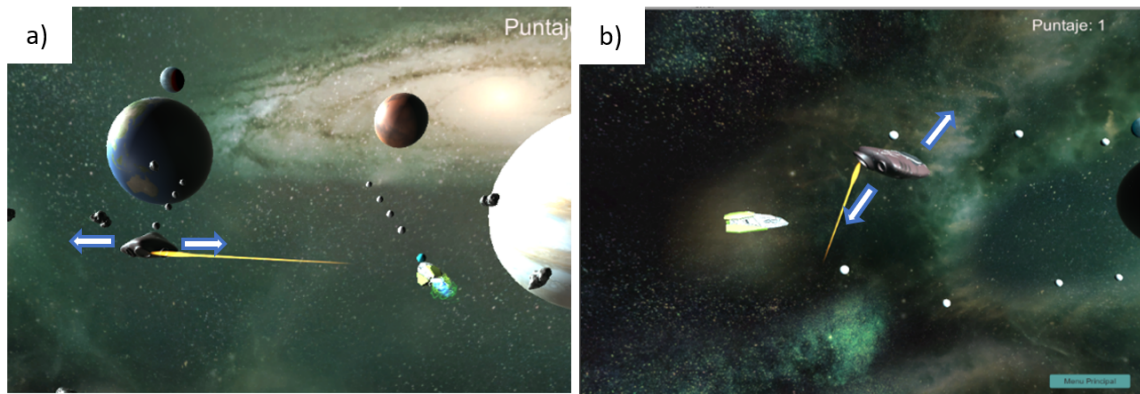


FIGURA 7. View of the serious game for follow-up rehabilitation routines with a) supination-pronation and b) abduction and adduction movements.

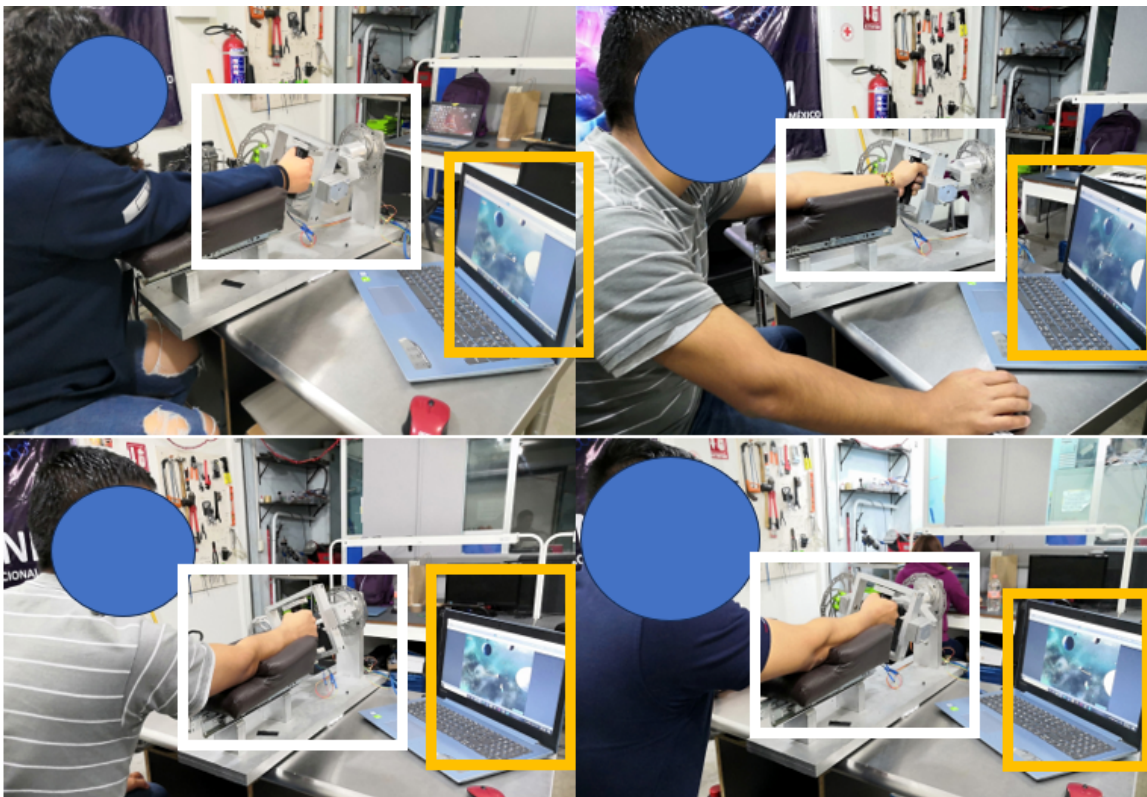


FIGURA 8. Rehabilitation system during use, white squares show the system and yellow squares the serious game screen.

RESULTS

An experimentation protocol was carried out to organize and validate the tests of the robotic system. Ten healthy participants without motor or visual disabilities were selected (18 - 35 years old) for the preliminary experimental tests as Figure 8 shows.

At the beginning of each test, the person's forearm was placed on the robot's armrest, adapting a neutral and comfortable position. Once his arm was placed on the platform, the volunteer was instructed to grab the robot's end-effector. At this point, the data transfer between the MyRIO platform and the Unity program begins. The routine starts with the pronation-supination, then the abduction-adduction, and finally, the flexion-extension stages. Each stage has a time of 120 seconds, with three different strength levels. In between each test, a 120 seconds rest period was performed.

The comparison of a proposed path and the voluntary performance with a robot force set to zero force impedance is presented in Figure 9. The proposed trajectory was designed to reinforce the pronation-supination movements mainly.

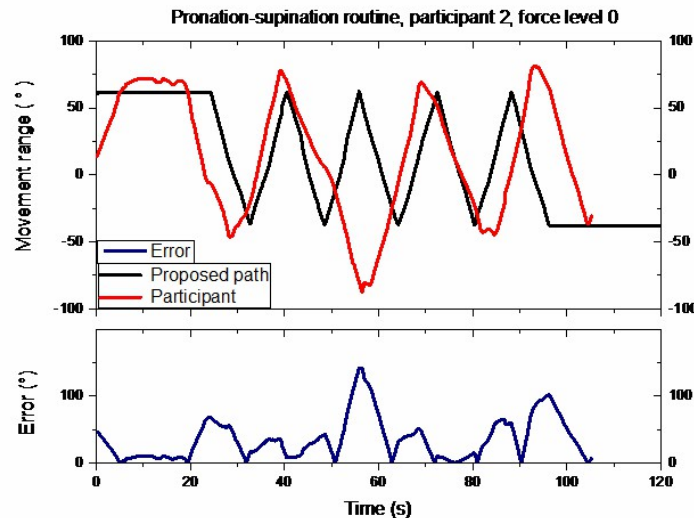


FIGURA 9. *Tracking path results of a voluntary #2 performing the pronation and supination routine with a zero force level.*

Because the volunteer is healthy, he tries to anticipate the robot's movements, as shown at the beginning of the routine. After the first cycle, the participant misses one of the cycles. The error shown in the figure is the difference between the proposed trajectory and the robot's actual position.

A similar experimentation protocol was followed by each participant using four different force levels

starting at zero force. Figures 10 to 12 show a test made by the same participant using three different force levels. It is possible to see an error reduction at higher force. Error reduction can be attributed to the more effort needed to anticipate the robot's movement.

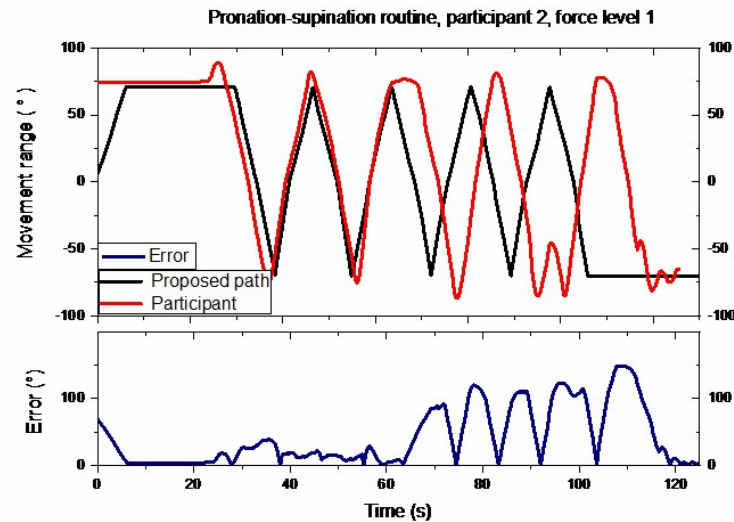


FIGURA 10. *Tracking path results of a voluntary #2 performing the pronation and supination routine with a force level 1.*

Figure 13 shows a comparison of rehabilitation routines using three different force levels. As previously stated, the error decreases as the force increases. No information about the force was given to the participant before the test. Additionally, the forces were selected in a pseudorandom sequence to not influence the volunteer performance.

Dynamic time warping (DTW) was used to objectively calculate the distance between the proposed trajectory and the tracking path for each voluntary. Table 1 shows the distances between the proposed trajectory and the DTW distances.

TABLE 1. *Euclidean distances between the proposed path and voluntary movement.*

Path	DTW
Trial 2 force 0	1.019×10^4
Trial 2 force 1	5.528×10^4
Trial 2 force 2	1.985×10^4

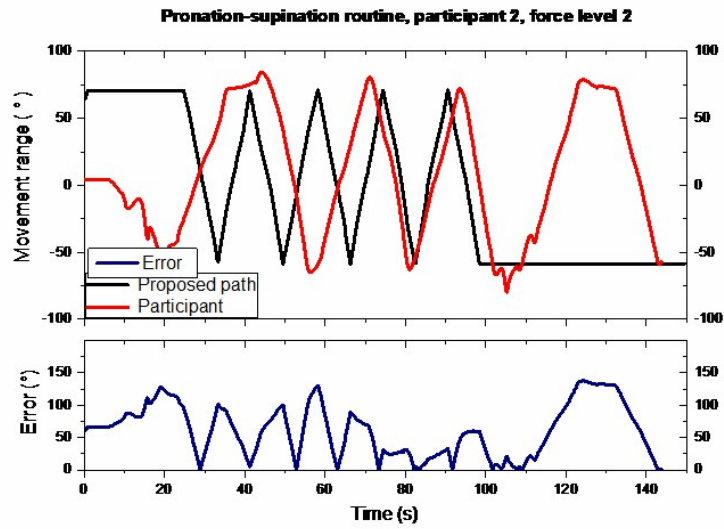


FIGURA 11. Tracking path results of a voluntary #2 performing the pronation and supination routine with a force level 2.

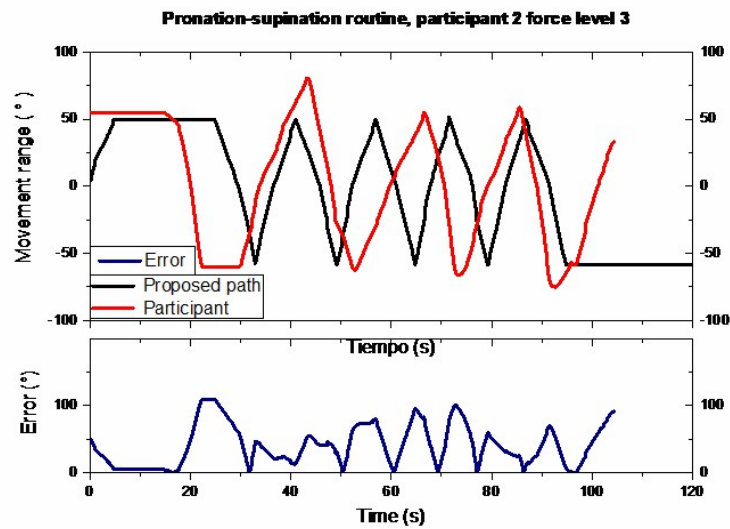


FIGURA 12. Tracking path results of a voluntary #2 performing the pronation and supination routine with a force level 2.

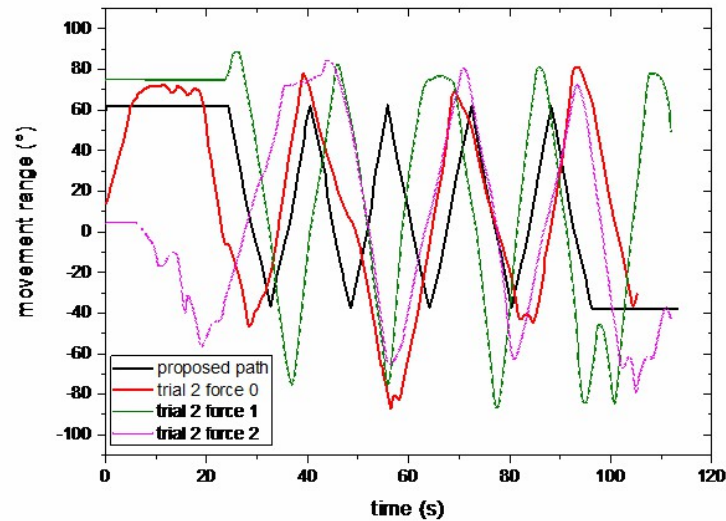


FIGURA 13. *Tracking path results of a voluntary #2 performing the pronation and supination routine with three different force levels.*

DISCUSSION

The force needed to follow the trajectories can be modified by implementing variable resistance in the robot; this is useful when the therapy requires variable effort in the subject. When the velocity of the rehabilitation routines is increased, the voluntary response needs to rise. Those two features provide the system with different force-velocity relationships to be implemented in the robot; therefore, this system can be used under different therapy requirements. Figures 9 to 12 show the system can provide different mechanical resistance levels, which leads to more strength needed to perform a movement; the resistance variation prevents the user from getting used to the robot and simultaneously follows the strength increase of the user in continuous therapy.

CONCLUSIONS

The proposed serious game follows the methodology and meets the requirements established in the taxonomy to develop a serious game focused on rehabilitation. It has interaction technology when using a wrist rehabilitating robot. The robot has a 3D interface, and its game genre is combined and adaptable. It also transmits results to the therapist to carry out therapy progression monitoring.

Because healthy volunteers performed the test, the anticipated movements were a constant along the robot-game test. No tests were performed by people needing rehabilitation because more force levels are needed to complete the requirements.

Serious game motivates and trains the patient with repetitive movements within their rehabilitation routine but only take effect if multidisciplinary approach is carried out, this work is a first step in development rehabilitation systems based on serious games. In future work, it is proposed to monitor more variables within the game, such as the response speed that the patient has within each routine, and to seek to adapt the patient's movement ranges in the game.

REFERENCIAS

- [1] G. M. María Elena, S. O. Steven, and F. Germán, *Disability Inclusion in Latin America and the Caribbean: A Path to Sustainable Development*. T. W. Bank, 2021. [Online]. Available: <https://documents1.worldbank.org/curated/en/099015112012126833/pdf/P17538305622600c00bf3f09659df1f2f79.pdf>
- [2] W. H. Organization, “Rehabilitation,” 2023. [Online]. Available: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/rehabilitation>
- [3] M. M. Soriano, “La motivación, pilar básico de todo tipo de esfuerzo [motivation, the basic pillar of any type of effort],” *Revista de relaciones laborales*, vol. 9, pp. 163–184, 2001.
- [4] B. Peñasco-Martín and e. a. De los Reyes-Guzmán, “Aplicación de la realidad virtual en los aspectos motores de la neurorrehabilitación,” *Rev Neurol*, vol. 51, no. 481, p. 8, 2010.
- [5] B. E. Marcano Lárez, “Juegos serios y entrenamiento en la sociedad digital,” *Teoría de la Educación: Educación y Cultura en la Sociedad de la Información*, 2008.

- [6] E. A. Alcover, A. J. Capó, and G. M. Alcover, “Un marco de procesos para el desarrollo de juegos serios para rehabilitación motora,” in *Actas del XVII Congreso Internacional de Interacción Persona-Ordenador. Interacción 2016*, 2016.
- [7] C. E. F. Méndez, M. Q. López, H. R. O. Aguirre, and I. R. Pérez, “Arquitectura de un juego serio inteligente basado en retos de matemáticas básicas,” *ReCIBE. Revista electrónica de Computación, Informática, Biomédica y Electrónica*, vol. 8, no. 2, 2019.
- [8] F. P. Martínez, “Presente y futuro de la tecnología de la realidad virtual,” *Creatividad y sociedad*, vol. 16, pp. 1–39, 2011.
- [9] F. Duan, J. T. C. Tan, J. G. Tong, R. Kato, and T. Arai, “Application of the assembly skill transfer system in an actual cellular manufacturing system,” *IEEE transactions on automation science and engineering*, vol. 9, no. 1, pp. 31–41, 2011.
- [10] T. R. Coles, D. Meglan, and N. W. John, “The role of haptics in medical training simulators: A survey of the state of the art,” *IEEE Transactions on haptics*, vol. 4, no. 1, pp. 51–66, 2010.
- [11] C. Monserrat, O. López, U. Meier, M. Juan, V. Grau, J. Gil, J. Lozano, and M. Alcañiz, “Gertiss: Simulador quirúrgico virtual para el entrenamiento en cirugías mínimamente invasivas,” in *IX Congreso Nacional de Informática Médica. Informed*, 2002.
- [12] H. Mayer, D. Burschka, A. Knoll, E. U. Braun, R. Lange, and R. Bauernschmitt, “Human-machine skill transfer extended by a scaffolding framework,” in *2008 IEEE International Conference on Robotics and Automation*, 2008.
- [13] A. De Mauro, “Virtual reality based rehabilitation and game technology,” *EICS4Med*, vol. 1, pp. 48–52, 2011.
- [14] M. J. Cano-Mañas, S. Collado-Vázquez, and R. Cano-de-la Cuerda, “Videojuegos comerciales en la rehabilitación de pacientes con ictus subagudo: estudio piloto,” *Revista de Neurología*, vol. 65, no. 8, pp. 337–347, 2017.
- [15] L. Shuai, C. Li, X. Guo, and B. Prabhakaran, “Serious game for physical rehabilitation: Using real-time biofeedback and game-driven challenge and motivation,” in *Proc. of MMM*, vol. 7732, pp. 587–598, 2012.
- [16] E. Ruffaldi, A. Filippeschi, A. Frisoli, C. A. Avizzano, B. Benoit, G. Daniel, and M. Bergamasco, “Sprint: a training system for skills transfer in rowing,” in *Proceedings of the SKILLS09 International Conference on Multimodal Interfaces for Skills Transfer*, 2009.

- [17] J. Wiemeyer and A. Kliem, “Serious games in prevention and rehabilitation—a new panacea for elderly people?” *European Review of Aging and Physical Activity*, vol. 9, no. 1, pp. 41–50, 2012. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1007/s11556-011-0093-x>
- [18] P. Rego, P. M. Moreira, and L. P. Reis, “Serious games for rehabilitation: A survey and a classification towards a taxonomy,” in *5th Iberian conference on information systems and technologies*, 2010.
- [19] R. J. Nadolski, H. G. Hummel, H. J. Van Den Brink, R. E. Hoefakker, A. Sloodmaker, H. J. Kurvers, and J. Storm, “Emergo: A methodology and toolkit for developing serious games in higher education,” *Simulation & Gaming*, vol. 39, no. 3, pp. 338–352, 2008.
- [20] C. D. Tran, S. George, and I. Marfisi-Schottman, “Edos: An authoring environment for serious games design based on three models,” in *4th European Conference on Game-Based Learning*, 2010.

Implementación de sensor IMU para la asistencia de nivel en grúas todoterreno

Implementation of IMU sensor for level assistance in all-terrain cranes

Granados-Salazar, L. G.¹, Flores-Cuautle, J. J. A.², Rodríguez-Jarquin, J. P.¹, Lara-Hernandez, G.^{1*}
(*larag_139@hotmail.com)

Recibido: 8 de junio de 2023 Aceptado: 2 de agosto de 2023

RESUMEN

Los inclinómetros son herramientas cada vez más importantes en diversos campos, ya que facilitan la nivelación de estructuras, equipos pesados, autos modernos y barcos. En el presente trabajo, se desarrolló un inclinómetro para ser utilizado en grúas todoterreno con el fin de asistir al operador en la nivelación de la grúa. Cabe destacar que la importancia de realizar una correcta nivelación en una grúa todoterreno es de vital importancia antes de llevar

a cabo cualquier maniobra, ya que es un requisito indispensable de seguridad para evitar algún tipo de volcadura. Mediante el uso de software y herramientas de acceso libre se llevó a cabo este desarrollo, con el fin de disminuir los costos de fabricación del inclinómetro, innovar y satisfacer la necesidad actual.

Palabras clave: Grúas de construcción, inclinómetro, barra de senos.

ABSTRACT

Inclinometers are tools becoming increasingly important in various fields, as they facilitate the leveling of structures, heavy equipment, modern cars, and ships. In the present work, an inclinometer was developed to be used in all-terrain cranes to assist the operator in leveling the crane. It should be noted that proper all-terrain crane leveling is vital before maneuvering since it is an indispensable safety

requirement to avoid any rollover. Through software and free access tools, this development was carried out to reduce the inclinometer's manufacturing costs, innovate, and satisfy the current need.

Keywords: Construction cranes, inclinometer, sinus bar.

¹Tecnológico Nacional de México/I.T. Orizaba, Av. Instituto Tecnológico (Oriente 9) No. 852, Col. Emiliano Zapata, C.P. 94330 Orizaba, Ver. México.

²CONACYT- Tecnológico Nacional de México/I.T. Orizaba.



INTRODUCCIÓN

Actualmente, las grúas representan una parte importante en la industria, su uso facilita la realización de una gran variedad de tareas en diversos campos como la construcción, la minería y todas aquellas actividades que impliquen la elevación de materiales y elementos de grandes dimensiones y peso. Sin embargo, existen diversos riesgos inherentes al uso de grúas en la construcción [1, 2]. Los riesgos asociados al uso de las grúas se dan durante el proceso de nivelación de la grúa y durante su uso al levantar las cargas [3]. Una mala nivelación de la grúa tiene como consecuencia un incremento en los riesgos asociados a la volcadura [4].

Para monitorear la estabilidad de las grúas de construcción, se hace uso de diversas tecnologías como lo son sensores de estabilidad, medición de parámetros de funcionamiento de la grúa, simulaciones e imágenes térmicas [4]. La elección del sensor o sensores, así como la tecnología empleada para monitorear la grúa, dependerá del modelo específico de la grúa, de sus características y de los requisitos en una aplicación determinada.

Actualmente, las grúas más sofisticadas hacen uso de sensores de inclinación que ayudan al operador durante el proceso de nivelación y estabilización, con la finalidad de alcanzar una mejor nivelación. A pesar de que en el mercado existen sensores de inclinación diseñados para grúas, estos sólo pueden ser implementados en grúas de modelos recientes y su inclusión en la grúa trae consigo un incremento considerable en los precios.

Por otro lado, la innovación y desarrollo de sensores de inclinación para la nivelación de grúas todoterreno es limitada. Una búsqueda estructurada revela que, en los últimos cinco años, el número de publicaciones a este respecto es de sólo 55 trabajos [5]. La Figura 1 muestra un análisis de las principales líneas de investigación relacionadas con grúas e inclinómetros, dicho análisis se implementó por medio del software VOSviewer [6].

Luego de la búsqueda de información se considera el uso de una Unidad de Medición Inercial (IMU por sus siglas en inglés, Figura 2), la cual es cada vez más empleada en la industria, ya que permite innovar en diferentes áreas de complejidad laboral. En este trabajo se presenta el prototipo de un inclinómetro, diseñado para asistir al operador en la nivelación de una grúa todoterreno. El inclinómetro funciona monitoreando el estado de inclinación de la grúa en tiempo real y mostrando el estado de nivelación de la grúa en una pantalla instalado en la cabina de control proporcionando al operador, los parámetros para una correcta nivelación antes, durante y después del proceso de nivelación y estabilización de la grúa, disminuyendo de esta forma la probabilidad de volcadura de la grúa.

El proceso de estabilización de una grúa todoterreno es un paso previo a la maniobra principal, los pasos básicos para la estabilización de una grúa son los siguientes: primero, buscar un terreno apropiado

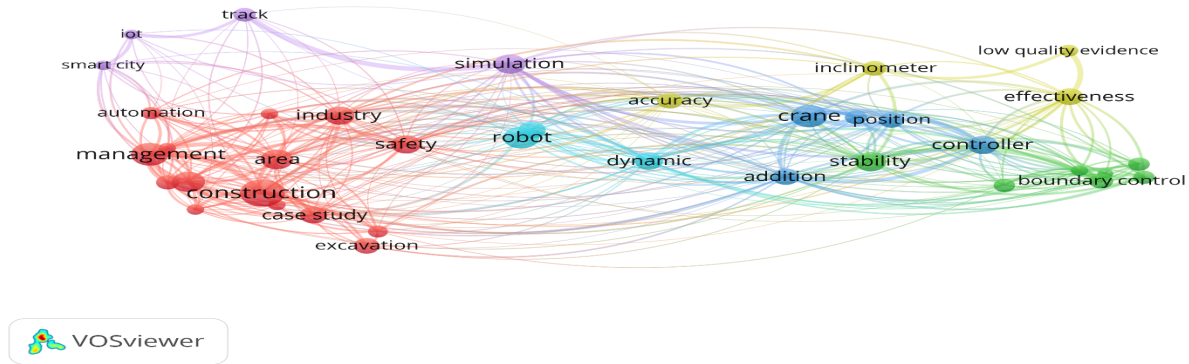


FIGURA 1. Análisis lingüístico de artículos publicados en los últimos cinco años y su respectiva relación. Las palabras que aparecen con mayor frecuencia son: Construcción, estabilidad, construcción, excavación, seguridad, área, entre otras.

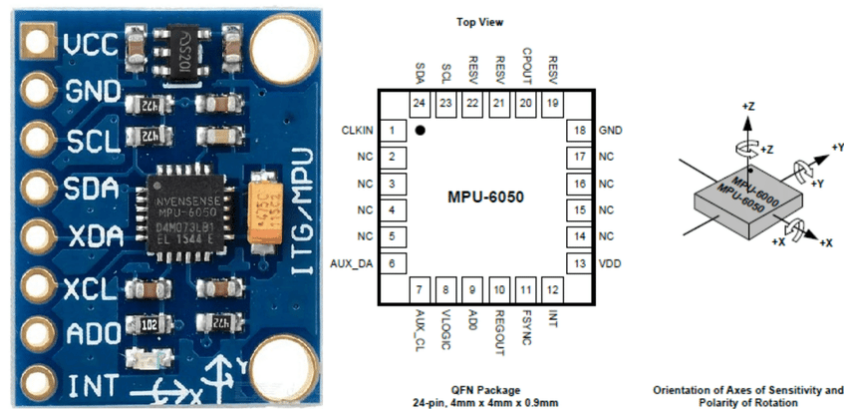


FIGURA 2. MPU6050 con la disposición de pin y orientación de ejes de sensibilidad y polaridad de rotación.

para estacionar la grúa, asegurarse que el freno esté siempre puesto, encender la grúa y mantenerla en funcionamiento; posteriormente se marca el área de la grúa por razones de seguridad, luego se quita la seguridad del estabilizador, inmediatamente se extraen los estabilizadores por completo; en seguida se levanta la pluma de 55 a 60°; después se extraen los cilindros de gato de estabilizador buscando que el nivel de la cabina de control se encuentre en 0° (ya que es el punto de equilibrio de la carga), en la nivelación y estabilización de la grúa es necesario no tener una desviación mayor a 5° de desnivel, el vehículo debe compartir la carga en todos los estabilizadores; por último, se debe bloquear los estabilizadores por seguridad de acuerdo con lo establecido en el manual de usuario de la grúa. Al ser una maniobra de alto riesgo, es necesario darle la importancia para que el proceso de nivelación se culmine de manera correcta (Figura 3).

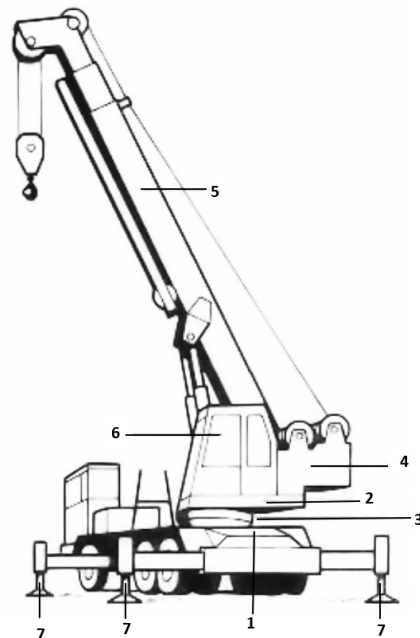


FIGURA 3. Partes y nomenclatura básica de una grúa 1) Chasis, 2 Plataforma base, 3 corona de orientación, 4 equipo de elevación, 5 flecha telescópica, 6 cabina de mando, 7 estabilizadores, Reproducida bajo términos de Open Access [2].

METODOLOGÍA

La metodología empleada para el diseño del inclinómetro se basó en cuatro etapas las cuales son: recopilación de información bibliográfica, determinación de hardware y software, experimentación y finalmente implementación.

En la etapa de recopilación de información se llevó a cabo una búsqueda semántica de investigaciones relacionadas con inclinómetros, identificación de productos existentes en el mercado e identificación del área de oportunidad. Con base en lo encontrado en la literatura, se determinó emplear software de acceso libre; así mismo, se realizó la elección del sensor IMU empleado y un bosquejo de la interfaz gráfica.

En la etapa de experimentación se fabricó la case del inclinómetro, la adquisición de datos a nivel laboratorio, así como la calibración del inclinómetro. Finalmente, se llevó a cabo la prueba del inclinómetro en tres diferentes tipos de grúas todoterreno.

En el diseño del inclinómetro se consideró el concepto de redundancia por lo cual se utilizaron 3 sensores inerciales (IMU 6050) para determinar la inclinación de la grúa, cada sensor inercial proporciona lecturas de forma independiente y el valor final mostrado es el resultado del promedio aritmético de cada uno de los sensores inerciales.

Obtención de datos y programación en Raspberry PI4 - QT5

Para la obtención y procesamiento de datos se utilizó un microcontrolador Arduino nano y un microcomputador Raspberry PI 4 modelo B con sistema operativo Raspberry Pi OS [7, 8], para la programación se utilizó el lenguaje de programación Python 3 y el software IDLE, para el desarrollo de la interfaz gráfica QT5 Designer [9]. La forma en la que se interconectaron los diferentes módulos del sistema se presenta en la Figura 4.

Se utilizó el lenguaje de programación C++ para tener una comunicación entre Arduino y el módulo IMU enviando los valores obtenidos y filtrados hacia la tarjeta Raspberry pi4 mediante el puerto serial

Se declararon dos variables locales para poder obtener los datos de inclinación X, Y. La instrucción 'deque' (max length 'maxlen=x' máxima longitud vector) permitió crear un intervalo de trabajo en forma de lista iniciando un valor en 0 y otorgando la actualización en tiempo real en la gráfica.

Programación de interfaz gráfica

La interfaz gráfica contiene 4 diferentes formas de visualizar los datos obtenidos de las variables de interés, dos de ellas son indicadores visuales, esto con la finalidad de ser de fácil comprensión para el operador. Para las dos formas restantes de visualizar los datos (Gráfica y Tabla) se requiere de programación

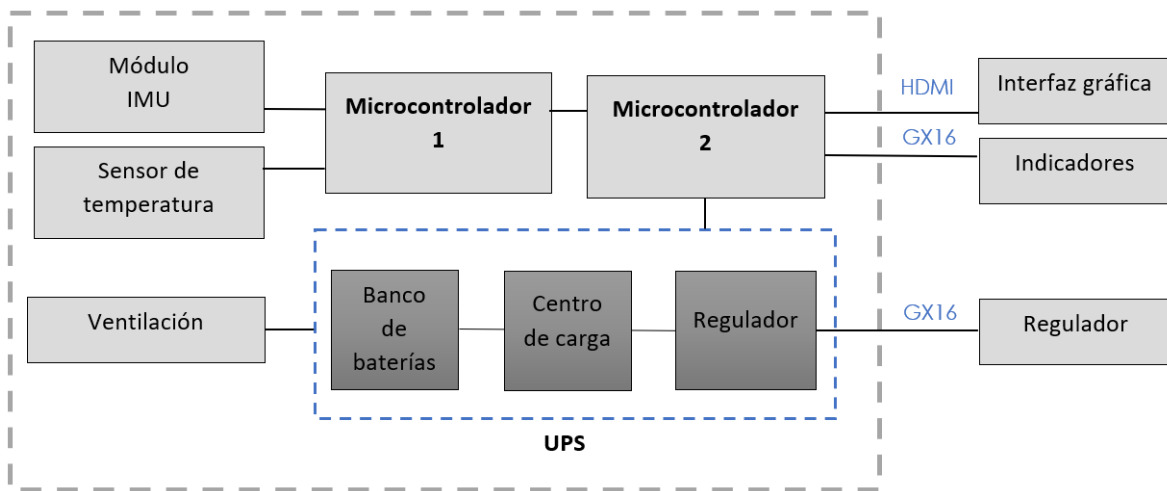


FIGURA 4. Diagrama a bloques de los módulos que integran el sistema desarrollado, el sistema incluye un sistema de alimentación de emergencia (UPS) línea discontinua azul, en tanto que los diferentes protocolos de comunicación se muestran con letra azul.

específica para configurar los parámetros de monitoreo.

En la gráfica se debe indicar la longitud de los ejes 'X, Y'. Se colocó una malla para una mejor visualización colocando etiquetas y título (Figura 5).

```

# Grafica
self.PLOT.showGrid(x=True,y=True, alpha=.5)#mostrarrejilla
self.PLOT.setLabel('bottom','Tiempo')# coloca etiqueta grafica
self.PLOT.setLabel('left','Amplitud')# coloca etiqueta grafica
self.PLOT.setTitle('MONITOREO')#setTitle coloca titulo a la grafica
self.PLOT.setXRange(0,100)
self.PLOT.setYRange(-8,8)

```

FIGURA 5. Código para configurar los parámetros de la gráfica.

Ahora bien, con el uso del código mostrado en la Figura 6, se configuraron los parámetros de la tabla de 2 columnas por 2 filas.

```

#PROPIEDADES TABLA QT
self.TABLA.setRowCount(2) # colocar numero de filas
self.TABLA.setColumnCount(2) # colocar numero de columnas
self.TABLA.setHorizontalHeaderLabels(["Señal","Medida"]) # Colocar etiquetas horizontales
self.TABLA.setItem(0,0, QTableWidgetItem("Eje X")) # colocar objeto en celda 0,1
self.TABLA.setItem(1,0, QTableWidgetItem("Eje Y")) # colocar objeto en celda 1,1

```

FIGURA 6. Código para configurar los parámetros de la tabla.

Calibración

Para la calibración de los sensores inerciales se hizo uso de un sensor de nivel láser comercial (KKmoon, Multifuncional 3D), el cual cuenta con una precisión de $\pm 0.2\text{mm/m}$, el procedimiento consistió en colocar el equipo desarrollado en una mesa habilitada para ser inclinada en cualquier dirección, se colocó el nivel

láser en el borde inferior del equipo desarrollado alineándolo en el eje XY tal como se ilustra en la Figura 7a, mediante la programación de cada uno de los sensores se estableció el nivel cero del equipo desarrollado y se comprobó revisando la alineación del sensor (Figura 7b); este mismo procedimiento se realizó para cada uno de los planos que constituyen el equipo desarrollado.

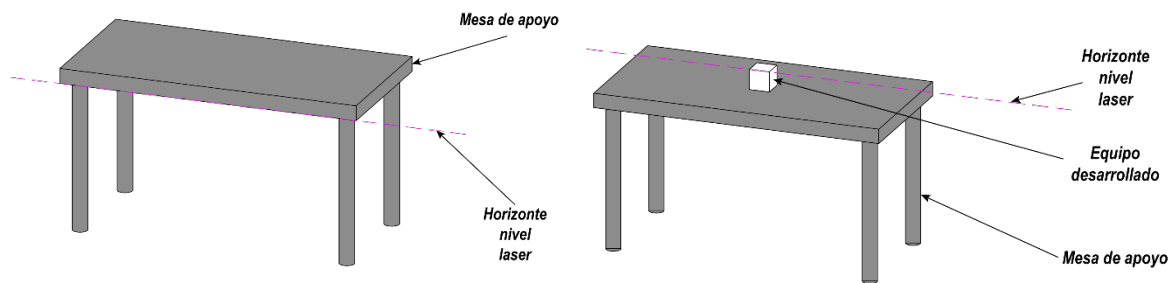


FIGURA 7. *Proceso de calibración, a) alineación de la mesa de trabajo, b) comprobación de alineación del sensor.*

Para verificar la correcta lectura de inclinación del equipo desarrollado, se empleó el método de ángulos pequeños mediante la implementación de una barra de senos [10, 11], dicho método consiste en colocar el equipo sobre un plano inclinado tal como se muestra en la Figura 8, el grado de inclinación se determinó utilizando las medidas del triángulo rectángulo formado por la mesa de apoyo, el plano inclinado y la altura del plano inclinado.

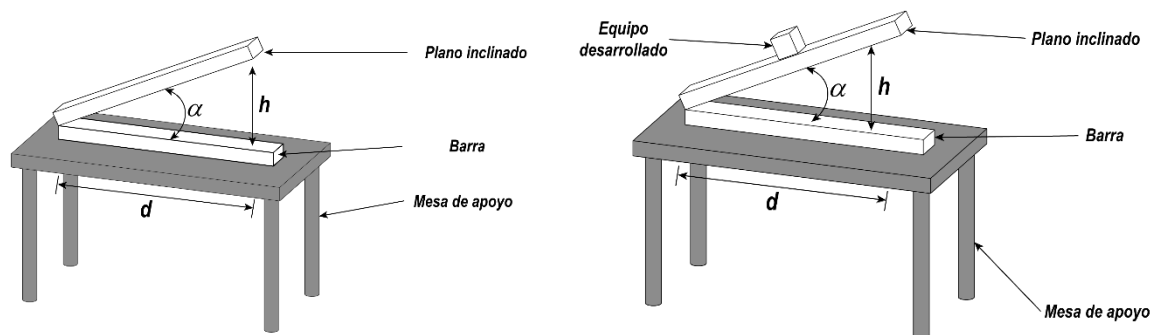


FIGURA 8. *Método de barra de senos para calibración del inclinómetro, a) formación del plano inclinado, b) sensor ubicado en la barra de senos para su calibración.*

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Diseño de case 3D

La case 3D fue diseñada e impresa mediante FDM (*Fused Deposition Modeling*) [12] para almacenar los componentes principales (*Raspberry PI4*, *Arduino nano* y *sensor inercial*), permitiendo el libre conexionado de los componentes, una perforación inferior para la conexión del suministro de energía y monitoreo mediante una pantalla conectada al puerto Micro HDMI (*High-Definition Multimedia Interface*) (Figura 9).

El diseño cuenta con dimensiones apropiadas para convertirse en un módulo semi universal entre las grandes marcas de grúas todoterreno, se consideró que se contara con una case robusta fabricada con ABS (*Acrylonitril Butadiene Styrene*) [13] aislada de polvo y salpicaduras de líquidos ya que cuenta con tapones herméticos para las perforaciones de entradas y salidas de puertos periféricos y una tapa con una junta TPU (*Thermoplastic Polyurethane*) [14, 15] (Figura 9). Estos materiales fueron seleccionados con base en la resistencia mecánica y resistencia a la humedad; dichas características son necesarias para este diseño. Tanto la resistencia mecánica como la resistencia a la humedad fueron determinadas en pruebas anteriores.

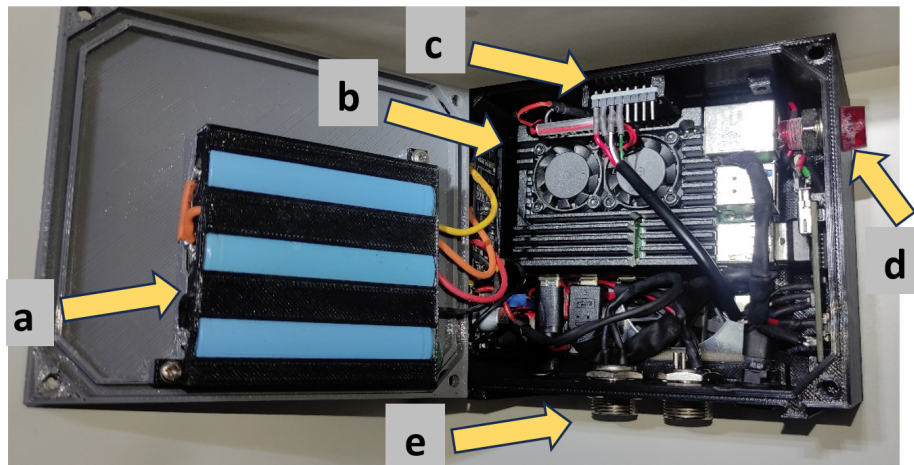


FIGURA 9. Gabinete del equipo desarrollado, a) banco de baterías, b) Raspberry, c) Sensor inercial, d) indicador de encendido, e) puertos de entrada/salida.

Interfaz Gráfica

La interfaz gráfica se diseñó utilizando el software QT5 Designer con el objetivo de mostrar los valores de inclinación de la grúa en una gráfica en tiempo real mostrando los valores del eje X y del eje Y, una

tabla para observar todos los valores de los ejes X y Y, también se agregó un cuadro que muestra el estado de nivelación de la grúa. La interfaz gráfica (Figura 10) muestra sus elementos divididos en secciones de acuerdo con el objetivo que cumple cada sección:

1. Indicadores de inclinación visual del eje X y Y para facilitar la comprensión al operador.
2. Se presentan los datos enteros obtenidos de inclinación y el estado de nivelación de la grúa indicando la correcta nivelación en verde y un estado de contingencia en Rojo.
3. Tabla de datos. Se dan a conocer los resultados obtenidos de una forma ordenada y con datos flotantes de los valores de inclinación.
4. Gráfica. Se muestra una gráfica en tiempo real de todos los datos obtenidos del eje X (Azul) y Y (Rojo).

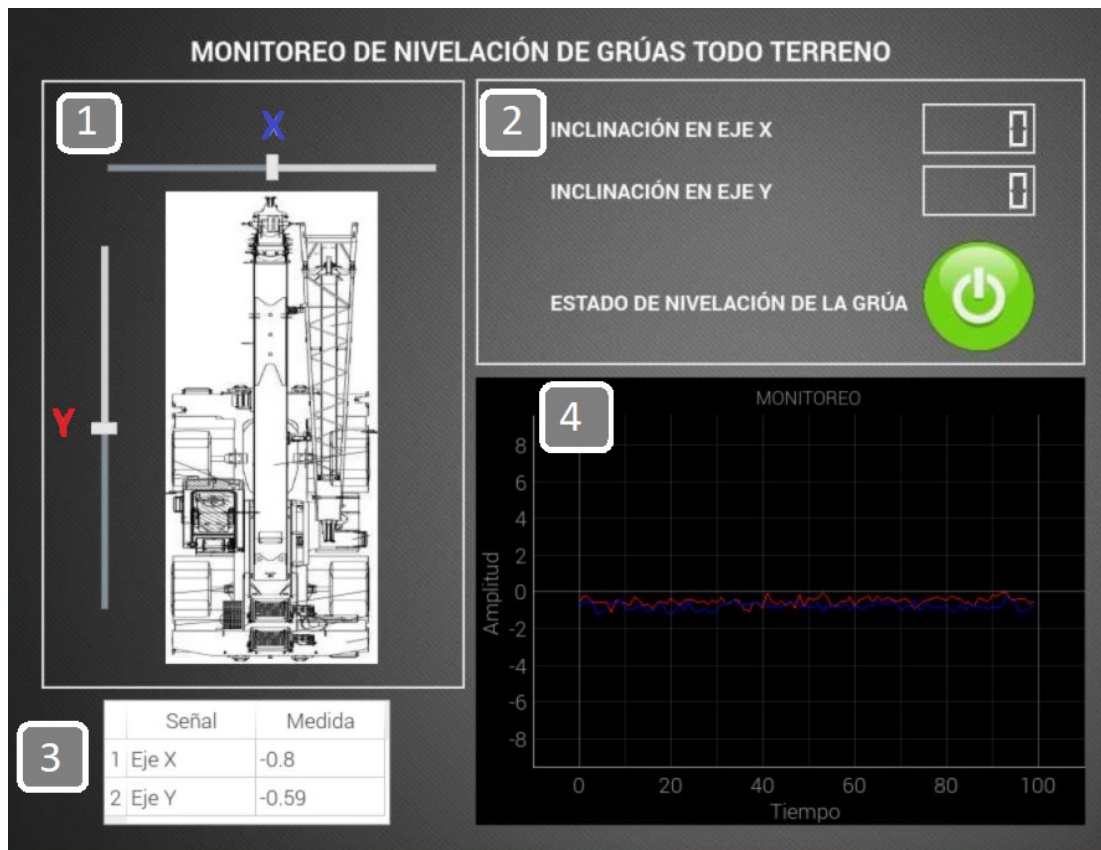


FIGURA 10. Interfaz gráfica y sus elementos 1) indicador deslizante de nivel, 2) indicador numérico, 3) tabla de valores, 4) gráfica de posición del inclinómetro.

Implementación del sensor IMU

Luego de la debida calibración del sensor IMU por el método de ángulos pequeños a nivel laboratorio, se procedió a la instalación en una grúa de 45 toneladas, como se muestra en la Figura 11. En este paso, se instaló el inclinómetro en tres diferentes grúas de 15, 45 y 90 toneladas, donde se llevaron a cabo la familiarización del operador con la interfaz gráfica y seguido a eso se realizaron maniobras necesarias para tener evidencias del correcto uso y funcionamiento del sensor.



FIGURA 11. *Instalación del inclinómetro en la tornamesa de en una grúa con capacidad de 45 toneladas, a) fotografía de la grúa, b) detalle del sensor.*

Para su correcto funcionamiento, el inclinómetro se debe colocar sobre la tornamesa de la grúa buscando siempre ser lo más cercana al centro de gravedad de la grúa y se fija a una superficie, plana, limpia y lisa mediante una base de sujeción semi universal. Como características adicionales, es necesario mencionar que el inclinómetro está diseñado para trabajar en un ambiente con vibraciones y a la intemperie, esto último debido a que presenta un diseño contra el agua.

CONCLUSIONES

El trabajo presentado logró proporcionar una herramienta para el sistema industrial en el área de grúas todoterreno la cual demuestra que es posible realizar la nivelación mediante el uso de nuevas tecnologías de bajo costo, hardware y software libre, todo esto sin comprometer la seguridad y precisión en los resultados. Gracias a esta innovación se permite conocer los niveles de inclinación en tiempo real, asistiendo al operador en el proceso de nivel de los estabilizadores.

Llevar a cabo una ayuda visual para el operador como lo es la interfaz gráfica permite tener noción de cada operación de movimiento que se está realizando y determinar si la maniobra se ejecuta apropiadamente. Por otro lado, el diseño presentado presenta una adecuada resistencia mecánica, así como a la humedad, características indispensables dado el ambiente de trabajo para este diseño. Finalmente, el inclinómetro diseñado cuenta con un banco de baterías interno que le permite continuar en funcionamiento aún cuando se interrumpa el suministro eléctrico.

REFERENCIAS

- [1] I. N. de Seguridad e Higiene en el Trabajo, “Grúa móvil,” Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo, España, Tech. Rep., 1989.
- [2] I. S. Millan, “Ntp 208: Grua móvil,” Ministerio de trabajo y asuntos sociales España, Tech. Rep., 1988, [En línea]. Disponible en: https://www.insst.es/documents/94886/327166/ntp_208.pdf/c9231f60-9ce84a509a6f-e7be63e61a6c.
- [3] F. Fahmi, F. Nainggolan, B. Siregar, Soeharwinto, and M. Zarlis, “User experience study on crane operator erection simulator using senso glove in a virtual reality environment,” *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, vol. 851, no. 1, p. 012023, 2020.
- [4] S. Minera, “Riesgos y medidas de prevención en la operación de grúas móviles autopulsadas,” *Revista seguridad Minera*, 2023, <https://www.revistaseguridadminera.com/operaciones-mineras/grua-autopulsada-riesgos-asociados-y-medidas-de-prevencion>.
- [5] J. Adams, P. Jones, S. Porter, M. Szomszor, H. Draux, and I. Osipov, “Dimensions-a collaborative approach to enhancing research disco-

very,” Tech. Rep., 2018, [Online]. Available: https://www.dimensions.ai/wp-content/uploads/2019/04/Dimensions_Report_A_Collaborative_Approach.pdf.

- [6] N. J. V. Eck and L. Waltman, *VOSviewer manual*, Leiden: Univeristeit Leiden, 2013.
- [7] S. Luchetti, “Arduino vs raspberry pi,” Tribalyte Technologies, 2023, <https://tech.tribalyte.eu/blog-arduino-vs-raspberry-pi>.
- [8] MCIElectronics, “¿que es raspberry pi?” MCIElectronics, 2023, <https://raspberrypi.cl/que-es-raspberry/>.
- [9] *Qt Designer Manual*, Qt Company, 2023, <https://doc.qt.io/qt-6/qtdesigner-manual.html>.
- [10] B. Acko, “Calibration of electronic levels using a special sine bar,” *Precision Engineering*, vol. 29, no. 1, pp. 48–55, 2005.
- [11] CENAM, “Patrón nacional de Ángulo,” 2023, <https://www.cenam.mx/dimensional/patronesnal/angulo>.
- [12] X. Gao, N. Yu, and J. Li, “Influence of printing parameters and filament quality on structure and properties of polymer composite components used in the fields of automotive,” in *Structure and Properties of Additive Manufactured Polymer Components*, K. Friedrich, R. Walter, C. Soutis, S. G. Advani, and I. H. B. Fiedler, Eds. Woodhead Publishing, 2020, pp. 303–330.
- [13] B. Khatri, K. Lappe, M. Habedank, T. Mueller, C. Megnin, and T. Hanemann, “Fused deposition modeling of abs-barium titanate composites: A simple route towards tailored dielectric devices,” *Polymers*, vol. 10, no. 6, p. 666, 2018, <https://www.mdpi.com/2073-4360/10/6/666>.
- [14] A. Sharma, D. Chhabra, R. Sahdev, A. Kaushik, and U. Punia, “Investigation of wear rate of fdm printed tpu, asa and multi-material parts using heuristic gann tool,” *Materials Today: Proceedings*, vol. 63, pp. 559–565, 2022.
- [15] C. Ursini and L. Collini, “Fdm layering deposition effects on mechanical response of tpu lattice structures,” *Materials*, vol. 14, no. 19, p. 5645, 2021, <https://www.mdpi.com/1996-1944/14/19/5645>.