



Investigación aplicada e innovación

Volumen 17, 2023 Lima, Perú • ISSN-L 2707-9368

John Flores Tapia
Fabrizzio Valer Gomez
José Luis Vega Ramírez

Desarrollo de un biosensor de polianilina dopado con OGr para detectar glucosa

Pág. 5

Yorsel Mayhua
Enrique Ames
Juan Malpica

Optimización del proceso fenton en el tratamiento de aguas residuales de la industria textil a escala de laboratorio

Pág. 15



www.tecsup.edu.pe



ÍNDICE

Desarrollo de un biosensor de polianilina dopado con OGr para detectar glucosa

..... John Alexander Flores-Tapia

..... Fabrizio Valer-Gomez

..... José Luis Vega-Ramírez

5

Optimización del proceso fenton en el tratamiento de aguas residuales de la industria textil a escala de laboratorio

..... Yorsel Mayhua

..... Enrique Ames

..... Juan Malpica

15

Desconexión sensorial y su influencia en la potencia del motor de combustión interna marca Cat modelo C7

..... Wilson Jaime Saucedo León

31

Análisis de los factores asociados a la felicidad utilizando técnicas de Machine Learning

..... Roberto León Leyva

51

Implementación de tuberías HDPE para la reducción de daños en neumáticos OTR e incremento de su vida útil

..... Roberto Geancarlo Delgado Alemán

69

Estudios de las propiedades del almidón de oca (*Oxalis tuberosa*) y caracterización por FTIR ATR

..... Laurence Salmon

..... Guadalupe Paucar

..... Noelia Majerhua

..... Avellaneda Katerine

..... Milagros Jimenez

87

Relación entre el uso de redes sociales y el rendimiento académico en estudiantes de las carreras de Big Data y Administración de Datos

..... Jose Luis Espinoza Melgarejo

99

Director: Antonio Lazo de la Vega, *Tecsup*

Editor en jefe: Jorge Bastante Pazos, *Tecsup*.

Comité editorial: Aurelio Arbildo, *Inducontrol*; Carlos Hernández, *Alicorp*; Elena Flores, *UTEC*; Jack Vainstein, *Vainstein Ingenieros*.

Coordinador editorial: Diego Nishimazuruga Lima

Colaboradores: Anahí Arica Sanchez, Carmen Flores Barreda, Walter Moncada Rubio, Mauricio Surco Valenzuela, Gilberto Morales Caldas, Edgardo Huertas Bruno, Cecilio Chávez Aquino, René Espejo Gutierrez, Laurence Salmón Barrantes, Enrique Ames Ramírez, José Luis Espinoza Melgarejo, Venancio Astucuri Tinoco y Jorge Castillo Migone.

Correctora de estilo: Laura Gómez Rojas

Diagramación: Tarea Asociación Gráfica Educativa

Hecho el depósito legal en la Biblioteca Nacional del Perú: 2007-04706

Publicado en diciembre 2023

Tecsup:

Sede Norte:

Vía de Evitamiento s/n Víctor Larco Herrera. Trujillo, Perú.

Sede Centro:

Av. Cascanueces 2221 Santa Anita. Lima, Perú.

Sede Sur:

Urb. Monterrey Lote D-8 José Luis Bustamante y Rivero. Arequipa, Perú.

Publicación:

Tecsup se reserva todos los derechos legales de reproducción del contenido, sin embargo autoriza la reproducción total o parcial para fines didácticos, siempre y cuando se cite la fuente.

Publicación Indexada en Latindex



Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial 4.0 Internacional.

Suscripciones:

investigacioneinnovacion@tecsup.edu.pe

Página Web:

<https://www.tecsup.edu.pe/revista>

Nota: Las ideas y opiniones contenidas en los artículos son de responsabilidad de sus autores y no refleja necesariamente el pensamiento de nuestra institución.



Revisa todas las ediciones de la Revista I+i en versión digital

REVISTA EDITORIAL

Apreciados lectores,

Nos complace presentar la edición número diecisiete de la revista I+i, una publicación dedicada a la difusión de investigación tecnológica aplicada en nuestro país. El año 2023 nos ha permitido ser testigos del desarrollo a gran escala de la IA (Inteligencia Artificial). Ya estamos apreciando los beneficios de esta tecnología en distintas áreas como la educación, la salud, la industria, entre otras. Estamos convencidos de que futuras ediciones de nuestra revista incluirán artículos que examinen la aplicación de esta y otras tecnologías emergentes.

En esta edición, nos centramos en temas de gran relevancia para el desarrollo sostenible de la sociedad. Algunos de los artículos presentados en esta edición buscan contribuir con la salud de las personas y abordar el problema de la contaminación ambiental. Nos referimos particularmente a los artículos que tratan sobre el biosensor enzimático para la detección de glucosa, el proceso fenton en el tratamiento de aguas residuales, y el del motor de maquinaria pesada CAT C7 ACERT.

Otros temas tratados en esta edición incluyen la aplicación de machine learning para comprender los factores asociados a la felicidad, la implementación de tuberías HDPE en camiones mineros para reducir el daño a los neumáticos, el estudio de las propiedades del almidón de oca y la relación entre el uso de redes sociales y el rendimiento académico.

En general, los artículos de esta edición muestran el compromiso de la comunidad académica de nuestra institución con el desarrollo de tecnologías que contribuyan a mejorar la calidad de vida de la población y el medio ambiente.

Agradecemos a los autores de los artículos por su trabajo y dedicación. También agradecemos al equipo editorial por su esfuerzo en la preparación de esta edición. Los animamos cordialmente a participar en el siguiente número para lo cual pueden contactar a nuestro coordinador editorial quien gustosamente los guiará en el proceso. Muchas gracias por ser parte de la revista I+i.

Atentamente,

Antonio Lazo de la Vega Velarde
Director Académico Nacional

Biosensor enzimático

como alternativa para cuantificar los niveles de glucosa en la sangre



Desarrollo de un biosensor de polianilina dopado con OGr para detectar glucosa

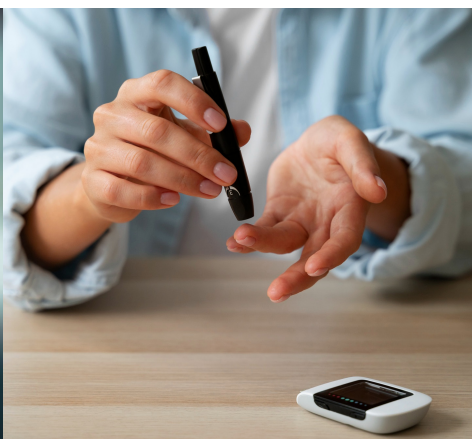
Development of a rGO-doped polyaniline biosensor to detect glucose

RESUMEN

En este trabajo, se fabricó un sensor electroquímico utilizando una placa de circuito impreso revestida con lámina de cobre como sustrato. Se elaboraron sensores con una matriz del polímero conductor polianilina y el compuesto nanoestructurado de óxido de grafeno reducido, aplicando dos tipos de secado: luz infrarroja y *spin coating*. Luego, se inmovilizó la enzima glucosa oxidasa de alta especificidad con una solución de glutaraldehído. Los sensores se analizaron en presencia de una solución de D-Glucosa a una concentración de 16 mM. La medición de la actividad electroquímica se realizó mediante la técnica de voltamperometría cíclica. Los resultados mostraron que las muestras secadas con luz infrarroja presentaban un mejor desempeño a velocidades de exploración de 0,3 a 0,8 mV/s, lo cual sugiere una alta transferencia de carga a 0,8 mV/s y reversibilidad. Los electrodos secados con el método *spin coating* no mostraron reversibilidad. Con esta técnica se demuestra que existe un gran potencial para el desarrollo de biosensores con capacidad de detección de glucosa para la población diabética en el Perú.

ABSTRACT

In this work, electrochemical sensors were designed and manufactured using a Printed Circuit Board coated with copper foil as substrate. These sensors were developed using a matrix of the conductive polymer polyaniline and the nanostructured compound of reduced graphene oxide, and were applied two different drying methods: infrared light and spin coating. Then, the glucose oxidase enzyme of high specificity was immobilized with glutaraldehyde solution. The sensors were analyzed in the presence of a D-Glucose solution at a concentration of 16 mM. The electrochemical activity was measured using the cyclic voltamperometry technique. As for the results, those samples dried with infrared light displayed better performance at scan rates of 0.3 to 0.8 mV/s with a high charge transfer of 0.8 mV/s and reversibility. On the other hand, the electrodes dried with the spin coating method did not show reversibility. With this technique it is highly likely to develop biosensors to detect glucose in diabetic people in Peru.



Palabras Claves

Biosensor enzimático, polianilina PANi, óxido de grafeno reducido OGr, glucosa oxidasa, reacción redox, voltamperometría cíclica.

Key words

Enzymatic biosensor; polyaniline PANi, reduced graphene oxide rGO, glucose oxidase; redox reaction; cyclic voltamperometry.

INTRODUCCIÓN

Este estudio tiene como principal objetivo el desarrollo de un biosensor que cuantifique la concentración de glucosa, mediante el uso de una matriz constituida por el polímero conductor polianilina (PAni), nanomateriales como el óxido de grafeno reducido (OGr), así como enzimas inmovilizadas como la glucosa oxidasa (GOx) sobre un sustrato diseñado a partir de una placa de circuito integrado PCB.

Las soluciones se realizan mediante un procedimiento de limpieza muy riguroso y se ejecutó por capas en condiciones estables en el laboratorio. La preparación se basó en diferentes insumos utilizando como analito al monosacárido D-glucosa (DG), a fin de verificar la sensibilidad del biosensor y, de acuerdo con ello, analizar su comportamiento.

La caracterización del biosensor se realizó por la técnica de voltametría cíclica, la cual consiste en analizar el potencial de óxido-reducción, y la técnica de cronoamperometría, que consiste en analizar la variación de la intensidad de corriente en presencia del analito. Las muestras fabricadas se basaron en matrices poliméricas dopadas con OGr como transductor, se secaron utilizando las técnicas por infrarrojos (IR) y *spin coating*, para luego ser utilizadas en la fabricación de biosensores y aplicarlas en la cuantificación de glucosa.

Los ensayos de esta investigación fueron elaborados en el laboratorio de la Universidad Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), logrando la fabricación de un biosensor electroquímico mediante un electrodo de cobre sensible a la presencia de DG con capacidad para cuantificar.

FUNDAMENTOS

Investigaciones recientes que utilizan anticuerpos, proteínas y enzimas inmovilizadas sobre bases poliméricas indican que las propiedades de estos pueden ser mejorados a través de dopajes. Así, estas muestran un gran potencial en la conversión de señales químicas producidas por la interacción —por ejemplo, con el monosacárido DG, en su capacidad selectiva, sensibilidad (hasta concentraciones de pg/mL) y reversibilidad—; además, pueden ser utilizados para la detección de diferentes patologías brindando resultados rápidos, confiables y de menor costo [6].

El Ministerio de Salud del Perú (Minsa) reportó que la prevalencia de la diabetes fue del 1 al 8 % de la población peruana en 2019, encontrando que las ciudades de Piura y Lima son las más afectadas (2,5 % de su población). Este estudio también menciona que la diabetes mellitus afecta a más de un millón de peruanos, pero menos de la mitad de ellos fueron diagnosticados [8].

Una alternativa para el diagnóstico es el desarrollo de sensores electroquímicos capaces de cuantificar la cantidad de glucosa en la sangre. La fabricación de estos sensores implica el uso de membranas basadas en matrices compuestas por polímeros conductores como la polianilina, compuestos

nanoestructurados como el OGr y enzimas con alta especificidad como la GOx [2].

Una importante sinergia lograda para mejorar la conductividad es la reticulación con OGr. Un paso relevante es la inmovilización de las enzimas en la superficie de los electrodos, lo cual se logra con compuestos como el glutaraldehído (GLU), lo que permite obtener una respuesta a partir de la interacción de GOx con las moléculas de la sonda [3].

El proceso de dopado de PAni con OGr se mejora con el uso de solventes orgánicos como N-metil-2-pirrolidona (NMP), generando dispersiones homogéneas y mejorando su rendimiento electroquímico [4].

Investigaciones recientes que emplean anticuerpos, proteínas y enzimas inmovilizadas en bases poliméricas indican que sus propiedades pueden ser mejoradas a través del dopado. Estas muestran un gran potencial en la conversión de señales químicas producidas por la interacción; por ejemplo, la DG, en su capacidad selectiva, sensibilidad (hasta concentraciones de pg/mL) y reversibilidad. De este modo, pueden ser utilizadas para la detección de diferentes patologías, proporcionando resultados rápidos y confiables [5].

METODOLOGÍA

Materiales y reagentes

Se utilizaron productos químicos de grado reactivo. La polianilina sal de emeraldina (PAni-ES) $[(C_6H_4NH)_2(C_6H_4N)]_n$ de peso molecular promedio $M_w > 15000$, el polietilenglicol (PEG) de peso molecular promedio $M_w = 200$, el óxido de grafeno reducido (OGr), la solución buffer de fosfato (PBS) y la enzima liofilizada glucosa oxidasa de *Aspergillus niger* tipo II de 19290 U/g fueron adquiridos de Sigma-Aldrich. El glutaraldehído $C_5H_8O_2$ al 25 %, hidróxido de amonio NH_4OH fueron adquiridos de Reagen. La D-Glucosa $C_6H_{12}O_6$ y el peróxido de hidrógeno (H_2O_2) fueron adquiridos de Cloroquímica. Se empleó como electrodo de trabajo una placa fenólica recubierta con una lámina de cobre para circuitos impresos PCB. Se preparó una solución de cloruro férrico al 42 % para la fabricación de la placa PCB. Se utilizó agua desionizada utilizada para la preparación de todas las soluciones. El laboratorio se encuentra acondicionado para la fabricación de este tipo de sensores.

Preparación del electrodo de trabajo de cobre

Se utilizó una placa de circuito impreso (PCB) como electrodo de trabajo (*Working Electrode WE*) que sirve como sustrato para la matriz del sensor. Se obtuvo la forma mediante el método de transferencia térmica con papel fotográfico impreso (ver la figura 1). El área activa del electrodo es de 25 mm². Se atacó la placa con la solución de cloruro férrico en un lapso de 15 minutos. Posteriormente, se lavó con alcohol isopropílico y agua desionizada, y se secaron y almacenaron los electrodos en condiciones ambientales.

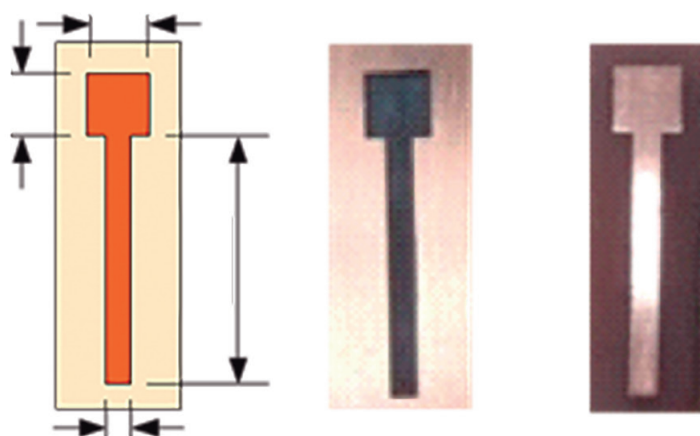


Figura 1. (a) Diseño del electrodo de trabajo, (b) transferencia térmica del diseño impreso en papel fotográfico sobre la placa fenólica recubierta de cobre, (c) electrodo finalizado después del ataque con cloruro férrico y lavado con alcohol isopropílico y agua desionizada

Fuente: Elaboración propia.

Preparación de la película de PANi/OGr sobre el sustrato

Se utilizan compuestos nanoestructurados como el OGr, que proporciona una mejora significativa en conjunto con el PANi, el cual en su estado de oxidación de la ES se comporta como conductor, permitiendo la transferencia de carga. Debido a que la ES no tiene capacidad de procesabilidad y no es posible dispersar sin un cambio en su estructura, se somete a un proceso de desprotonación, que consiste en la remoción H^+ de la forma ES, resultando en el estado emeraldina base (EB). Se prepara 10

mg de PANi-ES con 0,5 mL de NH_4OH y se somete a ultrasonido (cubeta ultrasónica YX3560, Yaxun) durante 30 minutos a 40 kHz y 50 W de potencia. Se seca en estufa por 10 minutos y luego se agrega 0,5 mL del solvente orgánico NMP y se somete a ultrasonido durante 30 minutos a 40 kHz y 50 W de potencia. A la solución desprotonada EB se le agrega 5 mg de OGr para dispersarse en 1 mL del solvente orgánico NMP y se somete a ultrasonido durante 1 hora a 40 kHz y 50 W de potencia.

Enseguida, se deposita 20 μL de la solución dispersada mediante la técnica de *drop-casting* sobre el sustrato (electrodo de cobre), como se muestra en la figura 2.

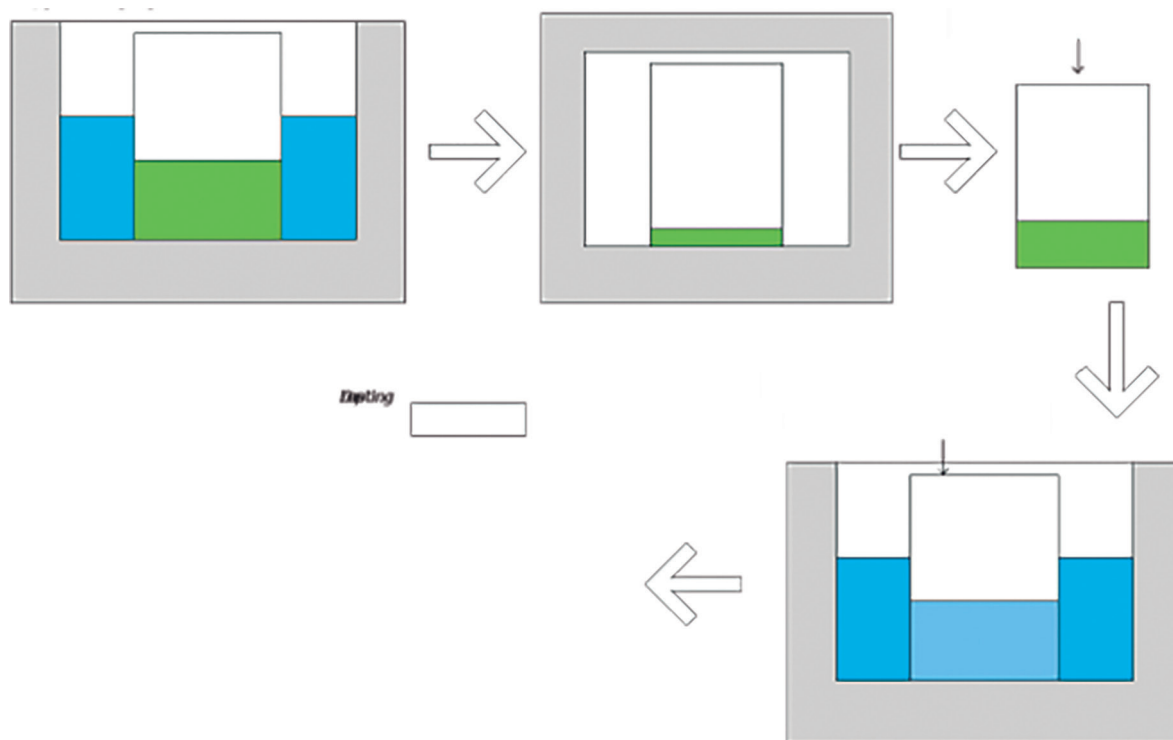


Figura 2. Preparación de las películas de PANi/OGr mediante drop-casting sobre el sustrato

Fuente: Elaboración propia.

Secado de la película de PANi/OGr con luz infrarroja y spin coater

Se realizó el secado de 4 muestras con luz infrarroja (IR) durante 30 minutos, y 4 muestras mediante *spin coating* a 1100 rpm durante 1 minuto; en la tabla 1, se especifica los análisis que se realizarán posteriormente con las muestras; asimismo, en la figura 3, se aprecia el secado por IR de la película.

Tabla 1
Número de muestras y el tipo de secado

Película	Método de secado	Electrodos	Análisis	Etiqueta
PANi/OGr	Luz IR	2	CV	PANi/OGr-IR
		2	CA	
	Spin Coating (SC)	2	CV	PANi/OGr-SC
		2	CA	

CV: Voltametría cíclica, CA: Cronoamperometría

Fuente: Elaboración propia.

Inmovilización de la enzima GOx en la película de PANi/OGr

El paso fundamental en la fabricación del biosensor es la inmovilización de la enzima GOx sobre la película de PANi/OGr, se busca principalmente evitar la pérdida del GOx inmovilizado, para ello se retícula la superficie del biosensor con glutaraldehído GA. Se prepara una solución de 25 mg de GOx en 1mL de PBS a pH 7,2 y se depositan 20 µL sobre la película de PANi/OGr, por un tiempo de 30 minutos a una temperatura ambiente de 9 C. Posteriormente, se prepara una solución de 1 mL de GA al 0,1 % con agua desionizada para inmovilizar y reticular la enzima a la matriz; se deposita 20 µL de esta solución en cada electrodo.

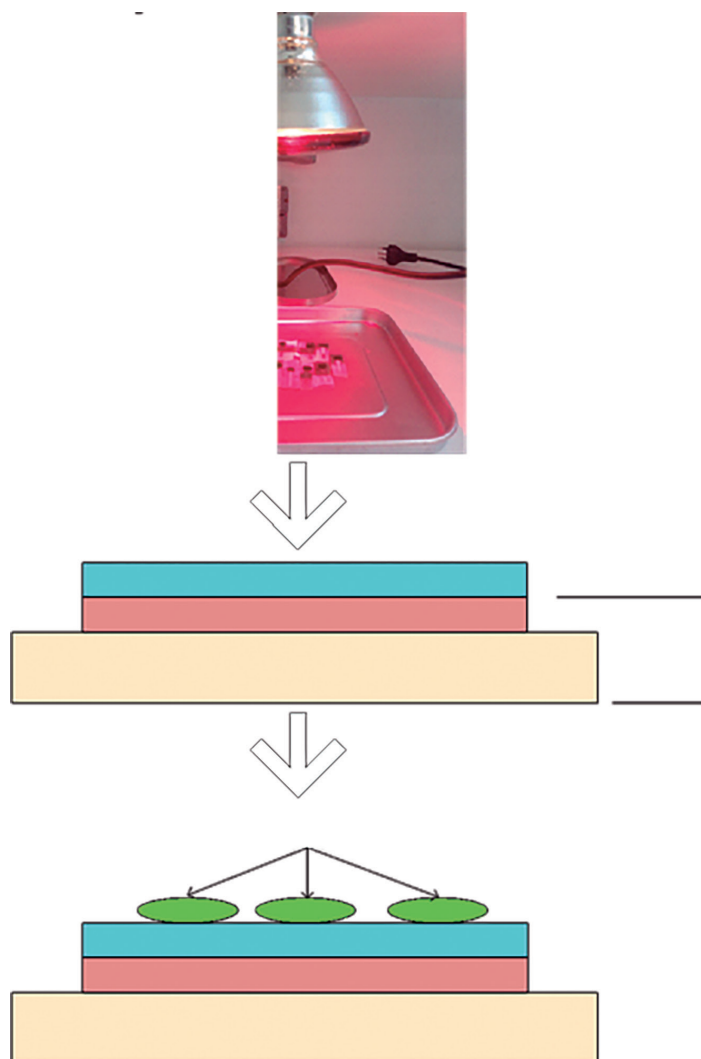


Figura 3. Formación de la película de PANi/OGr sobre el sustrato

Fuente: Elaboración propia.

Procedimiento analítico

Para evaluar el desempeño electroquímico de los electrodos modificados, se utilizó un analizador de parámetros de semiconductores (Keithley 4200-SCS), el esquema de conexión de los electrodos se muestra en la figura 4. Se realiza la conexión de los electrodos de referencia (RE); así, se verificó la variación del potencial y la corriente entre el electrodo de trabajo (WE) de polaridad positiva y el contraelectrodo (CE) de polaridad negativa, los tres electrodos se conectan al analizador de parámetros de semiconductores (SCA).

Se realizaron pruebas de voltametría cíclica (VC) y cronoamperometría (CA); a la muestra de PAni/OGr-IR se le agregó 0,240 g de DG y 4 mL de PBS para realizar el voltamograma a una velocidad de barrido de 0,1 mV/s a 2 mV/s. Para desarrollar la cronoamperometría, se esperó un tiempo de 110 s hasta que se estabilizar y luego se fue agregando 100 µL de DG cada 30 s 10 veces. El mismo procedimiento se realizó con la muestra PAni/OGr-SC. Este se resume en la tabla 2.

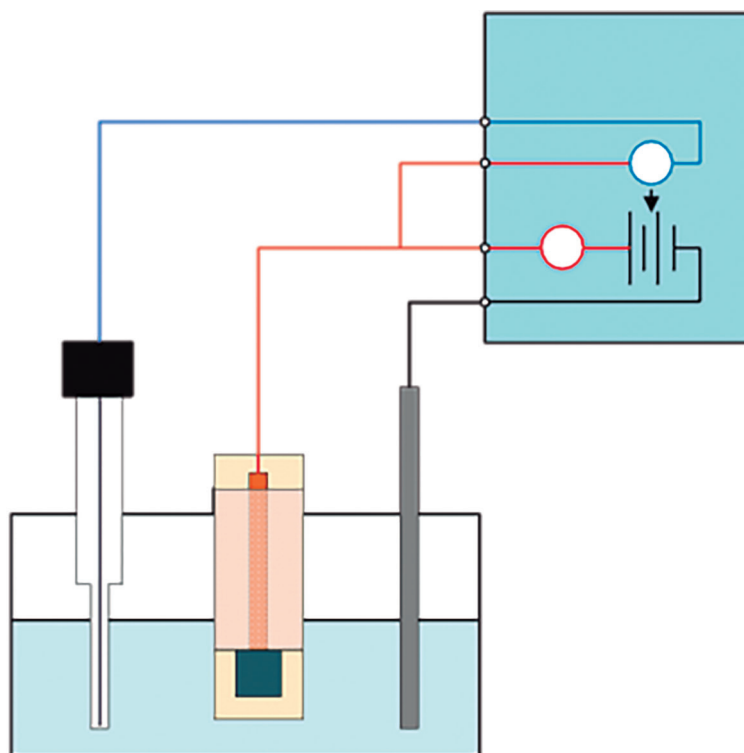


Figura 4. Conexión de los electrodos de referencia (RE), electrodo de trabajo (WE), contraelectrodo (CE) al analizador de parámetros de semiconductores (SCA)

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 2
Evaluación de la electroactividad de los sensores

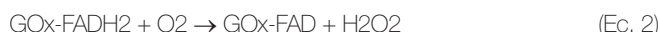
Etiqueta	Análisis	Soluciones adicionales	Rango, V	Velocidad de barrido, mVs ⁻¹
PAni/OGr-IR	CV	- 0,240 g DG + 4 mL PBS	-0,15 a +0,15	0,1 a 2
	CA	100 µL DG (10 veces)	-0,15 +0,15	- -
PAni/OGr-SC	CV	- 1 mL DG +20 mL PBS	-0,15 a +0,15	0,1 a 2
	CA	100 µL DG (10 veces)	-0,15 +0,15	- -

Fuente: Elaboración propia.

RESULTADOS

Actividad electrocatalítica

La reacción redox involucrada en el comportamiento electroquímico del electrodo compuesto PAni/OGr es catalizada por la enzima GOx inmovilizada, a través del cofactor Flavin adenina dinucleótido (FAD) presente en el sitio activo. Esta oxida la glucosa y reduce el cofactor FAD, lo que resulta en glucono-delta lactona (GDL) y FADH₂ respectivamente, además de la generación de peróxido de hidrógeno, como se muestra en las ecuaciones (1) – (3) [9].



Se obtuvieron voltametrías cíclicas para observar el comportamiento electroquímico de la enzima GOx inmovilizada en la matriz PAni/OGr en el electrodo de cobre para ambos procesos

de secado. Las voltametrías de las muestras se registraron a diferentes velocidades de barrido en un rango de potencial de -0,15 V a +0,15 V, en PBS a pH 7,2, como se muestra en la tabla 2. La figura 5 muestra la voltametría cíclica de PAni/OGr-IR en presencia de 100 μL de DG a 16 mM a velocidades de barrido de 0,15; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,7 y 0,8 mV/s.

De acuerdo con la figura 5, se observa una alta correlación con el proceso de oxidación anódica, los picos de oxidación *I_{pa}* tienen una mejor proporcionalidad a la variación de la velocidad de barrido, mostrando un comportamiento lineal bien definido con el aumento de la velocidad de barrido de 0,3 a 0,8 mV/s. Los picos de corriente anódica calculados restando el fondo de la solución de soporte de PBS fueron de 0,110; 0,131; 0,147; 0,159; 0,170 y 0,171 mA, con una separación de picos (de 0,181, 0,194, 0,208, 0,235, 0,244 y 0,255 V a un potencial formal de +0,091; +0,097; +0,104; +0,117; +0,122 y +0,127 obtenidos a partir de voltamogramas a velocidades de barrido de 0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,7 y 0,8 mV/s, respectivamente. A partir de estos resultados, se observa una alta transferencia de carga a 0,8 mV/s, aumentando el potencial máximo y la separación entre picos de potencial, alcanzando una reversibilidad bien definida.

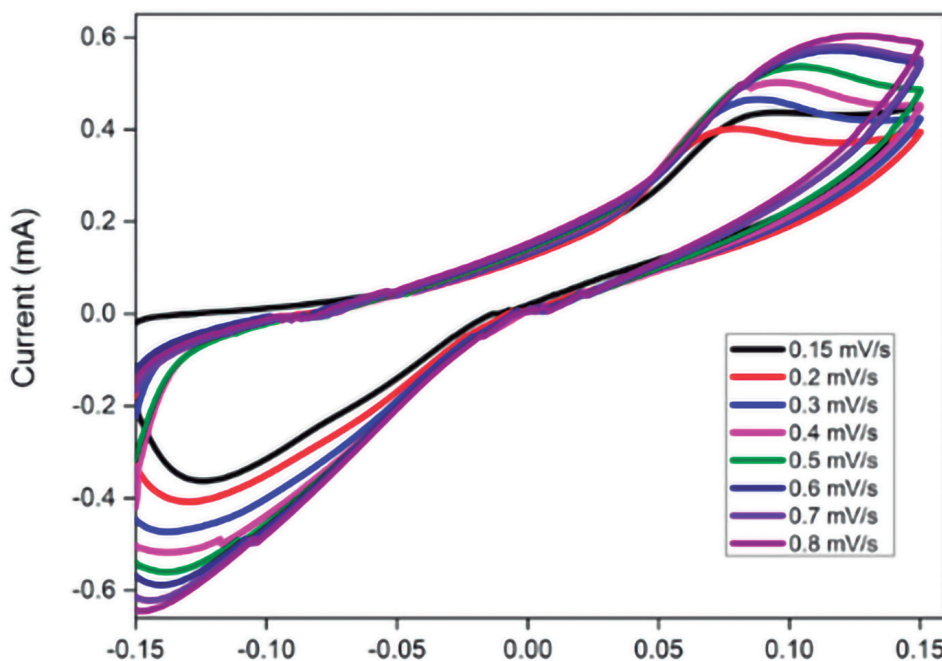


Figura 5. Voltametrías cíclicas de PAni/OGr-IR en PBS a pH 7.2 en presencia de 16 mM DG a velocidades de barrido de 0,15 a 0,8 mV/s..

Fuente: [1].

Tanto la corriente *I_{pc}* como *I_{pa}* (corriente de pico anódico) son proporcionales a la velocidad de barrido, como se muestra en la figura 6 (a), lo que indica que la cinética electroquímica siguió el proceso de superficie controlada. *I_{pa}* e *I_{pc}* aumentaron linealmente a medida que aumentó la velocidad de barrido. El potencial de pico del cátodo (*E_{pc}*), el potencial de pico del ánodo (*E_{pa}*) y su diferencia variaron con la velocidad de barrido y la cinética de transferencia de carga del electrodo. La figura 6 (b) muestra *E_{pa}* y *E_{pc}* del electrodo PAni/OGr-IR en función del logaritmo de la velocidad de barrido. El potencial del cátodo y del ánodo se desplazó linealmente con una velocidad de barrido logarítmica en el rango de 0,3 a 0,8 mV/s. El cálculo del coeficiente de difusión,

a partir del gráfico *I_{pa}* (A) en función de $v^{(1/2)} (V^{1/2} s^{-1/2})$, como se muestra en la figura 7, se relaciona con la ecuación de Randles–Ševčík (Ec. 4). Esto puede deber a un área electroactiva calculada a partir del coeficiente de difusión de referencia (0,19 cm²) menor que el área original (0,25 cm²) [1].

$$I_{pa} = 0,4463 \left(\frac{F^3}{RT} \right)^{1/2} An^{3/2} C_o D^{1/2} v^{1/2} \quad (\text{Ec. 4})$$

Donde *I_{pa}* es la corriente de pico anódico (A) para cada velocidad de barrido *v* (V/s), F es la constante de Faraday (96485 C/mol), T es la temperatura absoluta (291,15 K), R es la constante de

los gases (8,314 J/K mol), A es la superficie efectiva (cm²), n es el número de electrones transferidos, es la concentración de la

especie redox en solución a granel (mol/cm³), y D es el coeficiente de difusión de la especie electroactiva (cm²/s).

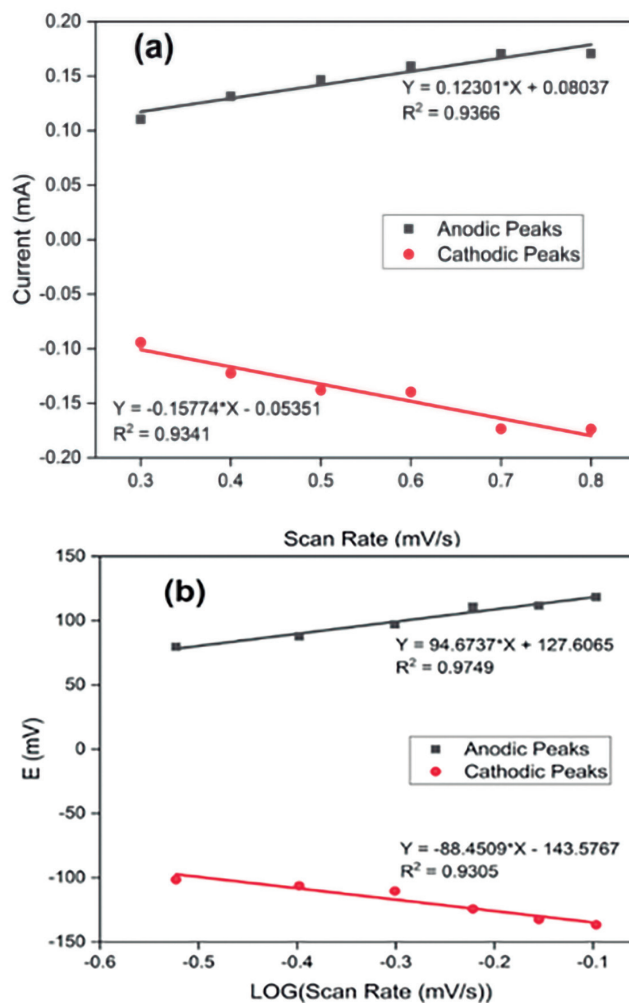


Figura 6. (a) Corriente de picos anódicos y catódicos vs. regresión lineal de la velocidad de barrido y (b) picos de potencial vs regresión lineal del logaritmo de la velocidad de barrido

Fuente: [1].

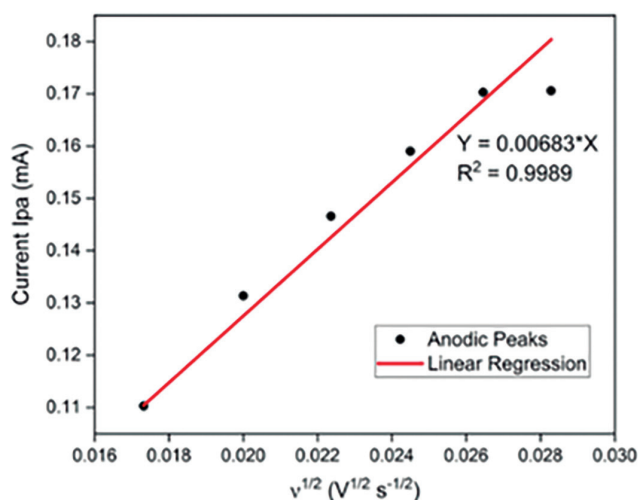


Figura 7. Gráfico de las corrientes de pico anódicas en las voltametrías cíclicas del compuesto PANi/OGr-IR en PBS a pH 7,2 en presencia de 16 mM de D-glucosa en función de la raíz cuadrada de la velocidad de barrido

Fuente: [1].

Para el caso del electrodo PANi/OGr/GOx-SC (*spin coating*), la figura 8 muestra las voltametrías cíclicas a diferentes velocidades de barrido (0,4 a 0,8 mV/s) en un rango de potencial de -0,15 V a +0,15 V, con una solución de PBS pH 7,2 en presencia de 100 μ L de DG a 16 mM. Se observó que, a medida que aumentaba la velocidad de barrido, el pico de la corriente anódica disminuye, lo que significa que hay una reducción en la tasa de transferencia de electrones, en comparación con la figura 5 (en la que se alcanza la reversibilidad). Por otro lado, se observa una mayor separación de los picos de potencial [7]. Además, considerando la ausencia de picos de reducción, la respuesta de este electrodo implica reacciones irreversibles; el análisis no se realizará como en el caso del electrodo PANi/OGr/GOx-IR. Se asume que la naturaleza de este comportamiento puede deberse al sustrato del electrodo (cobre metálico) o a problemas en la inmovilización de la enzima mediante el método *spin coating*.

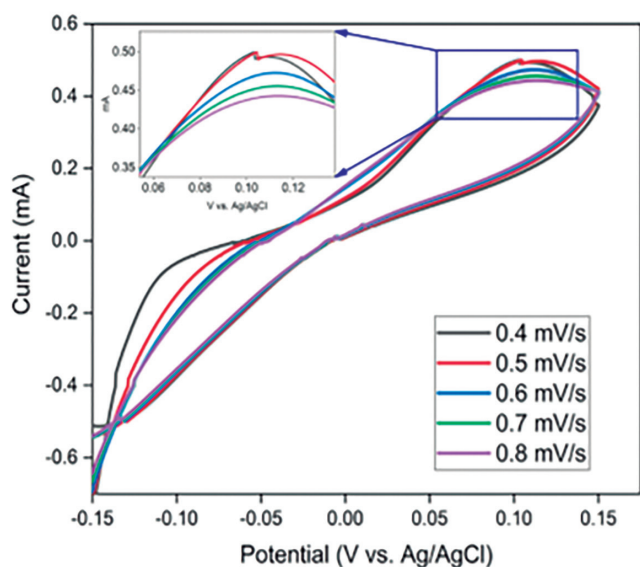


Figura 8. Voltametrías cíclicas del compuesto PANi/OGr/GOx-SC en PBS a pH 7,2 en presencia de 16 mM de D-glucosa a velocidades de barrido de 0,4 a 0,8 mV/s

Fuente: [7].

CONCLUSIONES

En este estudio, se preparó un sensor con una matriz de PANi/OGr comparando los secados por IR y *spin coating*, utilizando la enzima GOx inmovilizada en la superficie de PANi/OGr. Los resultados indican que el sensor secado con luz IR se comportó mejor a una velocidad de barrido de 0,3 a 0,8 mV/s, lo que sugiere una alta transferencia de carga de electrones a 0,8 mV/s además con un acercamiento a reversibilidad a esa tasa. Los electrodos secados mediante el método *spin coating* demostraron no tener una buena reversibilidad; sin embargo, mostraron picos de oxidación ligeramente definidos. Este comportamiento puede deberse al sustrato del electrodo (cobre metálico) o a problemas en la inmovilización de la enzima GOx.

Se demuestra la factibilidad de construir un biosensor selectivo, lo que conlleva a un gran potencial para la fabricación de sensores con la capacidad de detectar glucosa para la población diabética en Perú.

REFERENCIAS

- [1] Bilgi, M., Sahin, E. M., y Ayranci, E. (2018). Sensor and biosensor application of a new redox mediator: Rosmarinic acid modified screen-printed carbon electrode for electrochemical determination of NADH and ethanol. *Journal of Electroanalytical Chemistry*, 813, 67-74.
- [2] Christwardana, M., y Kwon, Y. (2015). Effects of multiple polyaniline layers immobilized on carbon nanotube and glutaraldehyde on performance and stability of biofuel cell. *Journal of Power Sources*, 299, 604-610.
- [3] Hu, F., Li, W., Zhang, J., & Meng, W. (2014). Effect of graphene oxide as a dopant on the electrochemical performance of graphene oxide/polyaniline composite. *Journal of Materials Science & Technology*, 30(4), 321-327.
- [4] Luong, A. D., Roy, I., Malhotra, B. D., & Luong, J. H. (2021). Analytical and biosensing platforms for insulin: a review. *Sensors and Actuators Reports*, 3, 100028. doi: 10.1016/J.SNR.2021.100028.
- [5] Maity, D., Minitha, C., y Rajendra, K. (2019). Glucose oxidase immobilized amine terminated multiwall carbon nanotubes/reduced graphene oxide/polyaniline/gold nanoparticles modified screen-printed carbon electrode for highly sensitive amperometric glucose detection. *Materials Science and Engineering*, 105:110075. doi: 10.1016/j.msec.2019.110075.
- [6] Nuñez-Chavez, O., Mayorga, Untiveros-Mayorga, C., Tapia-Zegarra, L. (2004). Diabetes mellitus tipo 2 en el Hospital II Essalud-Cañete: Aspectos demográficos y clínicos. *Revista Médica Herediana*, 15(1), 19-23.
- [7] Pletcher, D., Greff, R., Peat, R., Peter, L., y Robinson, J. (2001). *Instrumental Methods in Electrochemistry*. Elsevier.
- [8] Serafín González-Carrato, V. (2015). Biosensores electroquímicos basados en nanomateriales y en materiales magnéticos para la determinación de analitos de interés bioquímico.
- [9] Suzuki, N., Lee, J., Loew, N., Takahashi-Inose, Y., Okuda-Shimazaki, J., Kojima, K., ... & Sode, K. (2020). Engineered glucose oxidase capable of quasi-direct electron transfer after a quick-and-easy modification with a mediator. *International Journal of Molecular Sciences*, 21(3), 1137. doi: 10.3390/ijms21031137.

ACERCA DE LOS AUTORES

John Alexander Flores Tapia

Magíster en Educación Superior por la Universidad Católica de Santa María, licenciado en Física por la Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa y, actualmente, con estudios de doctorado en Ciencias y Tecnologías Medioambientales, por la Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, con experiencia en películas delgadas. Ha participado en proyectos de investigación unas, donde investiga en actividades relacionadas con sensores y biosensores. Es docente en la UNSA, y en Tecsup sede sur en la especialidad de electricidad y electrónica con cursos de Taller Electromecánico y Electricidad Industrial.

 jflorestap@unsa.edu.pe


Fabrizio Valer Gomez

Ingeniero químico y bachiller en Ingeniería Mecánica por la Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa. Estudios concluidos en la maestría en Ciencias con mención en Seguridad y Medio Ambiente por la Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa. Docente en Tecsup sede sur en el Departamento de Mecánica.

 fvaler@tecsup.edu.pe

José Luis Vega Ramírez

Doctor en Física por la Universidad de Sao Paulo Brasil, con especialización en Radiodiagnóstico clínico, Radioterapia en la planificación de los sistemas de tratamiento. Experto en dosimetría de Resonancia Paramagnética Electrónica en materiales equivalentes a tejidos humanos, en materiales poliméricos y dosimétricos utilizados en la calibración y tratamientos de tumores. Docente de la Escuela de Física de la Universidad Nacional de San Agustín; responsable del área de investigación: Física Médica Aplicada a la Medicina y Biología, coordinador de la Maestría en Física Médica.

 jvegar@unsa.edu.pe

Recibido: 30-06-23

Revisado: 03-07-23

Aceptado: 23-10-23



Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons AtribuciónNoComercial 4.0 Internacional.

Valores óptimos de pH
y dosificación de químicos
para el tratamiento
de líquidos residuales
derivados de tintorería



Optimización del proceso fenton en el tratamiento de aguas residuales de la industria textil a escala de laboratorio

“Optimization of the fenton process in the treatment of textile wastewater in lab scale”

RESUMEN

La presente investigación tiene el propósito de evaluar la optimización del proceso Fenton en el tratamiento de aguas residuales de una industria textil, mediante el análisis de la remoción de carga orgánica como DQO obtenido durante el tratamiento realizado.

La metodología empleada en la investigación fue de tipo aplicada, enfoque cuantitativo y diseño experimental. La toma de muestras de las aguas residuales se realizó del proceso de teñido de la industria textil. Para la caracterización fisicoquímica de las aguas residuales de la industria textil, se midió los parámetros de pH, temperatura, conductividad, turbidez, sólidos suspendidos totales (SST), demanda química de oxígeno (DQO) y demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅). La determinación de las dimensiones que influyen en el proceso Fenton durante el tratamiento de las aguas residuales de la industria textil se realizó mediante la interacción de las 4 dimensiones con sus respectivos niveles las cuales son las siguientes: pH (2,5 y 3,0), metabisulfito de sodio Na₂S₂O₅ (1,0 y 1,5 g/L), sulfato ferroso heptahidratado FeSO₄·7H₂O (1,0 y 1,5 g/L) y H₂O₂ (1,0 y 2,0 mL/L).

El resultado final de DQO obtenido es de 374,00 mg/L lo que significa un 83 % de remoción de carga orgánica; con las siguientes condiciones de trabajo óptimas, pH igual a 3,0, dosis de Na₂S₂O₅ de 1,0 g/L, dosis de FeSO₄·7H₂O de 1,0 g/L y dosis de H₂O₂ igual a 2,0 mL/L. La principal conclusión es que, con la aplicación del proceso Fenton como tratamiento de las aguas residuales de una industria textil y trabajando a las condiciones óptimas ya señaladas, se obtiene un mayor porcentaje de remoción de carga orgánica que garantiza el cumplimiento de los VMA (valores máximos admisibles) según el D. S. n.º 010-2019 – Vivienda.

ABSTRACT

This research aims at evaluating the optimization of the Fenton process in the treatment of textile wastewater under industrial conditions, by analyzing the removal of COD organic load resulting from such treatment.

The methodology used in the research was of the applied type, quantitative approach, experimental design. The sampling of wastewater was carried out from the dyeing process of the textile industry. For the physicochemical characterization of wastewater from the textile industry, the parameters of pH, Temperature, Conductivity, Turbidity, Total Suspended Solids (TSS), Chemical Oxygen Demand (COD) and Biochemical Oxygen Demand (BOD₅) were measured. The determination of the dimensions that influence the Fenton process during the treatment of wastewater from the textile industry, was carried out through the interaction of the 4 dimensions with their respective levels, which are: pH (2.5 and 3.0), metabisulfite sodium Na₂S₂O₅ (1.0 and 1.5 g/L), ferrous sulfate heptahydrate FeSO₄·7H₂O (1.0 and 1.5 g/L) and H₂O₂ (1.0 and 2.0 mL/L).

The final COD result obtained is 374.00 mg/L, which means 83% elimination of organic load; with the following optimal working conditions, pH equal to 3.0, Na₂S₂O₅ dose of 1.0 g/L, FeSO₄·7H₂O dose of 1.0 g/L and H₂O₂ dose equal to 2.0 mL/L. The main conclusion is that with the application of the Fenton process as a treatment of wastewater from a textile industry and working under the optimal conditions already indicated, a higher percentage of organic load removal is obtained, complying so with the VMA (Values Maximum allowable) according to D.S. No. 010-2019 of the Peruvian Ministry of Housing, Construction and Sanitation.



Palabras Claves

Tratamiento de aguas residuales, VMA, DQO, pH, dosis, proceso Fenton, oxidación avanzada.

Key words

Wastewater treatment, VMA, COD, pH, dose, Fenton Process, Advanced oxidation.

INTRODUCCIÓN

El presente estudio tiene por finalidad identificar los valores óptimos de pH y la dosificación de químicos para el tratamiento de un efluente textil derivado de tintorería por el método Fenton. La importancia radica en que, con la identificación de dichos tratamientos y además su optimización, se deje un precedente en el tratamiento de aguas en textiles y otros sectores que presentan efluentes con los llamados contaminantes orgánicos refractarios o recalcitrantes, y puedan así aplicar tratamientos eficaces y eficientes.

La importancia de esta investigación también radica en que el sector textil en el Perú y el mundo tienen mucha relevancia, y muchas veces contiene contaminantes orgánicos recalcitrantes o refractarios gracias a los métodos oxidativos y, sobre todo, por la llamada oxidación avanzada. Pero además, la investigación quiere ir más allá: busca plasmar una metodología que le permita al área de investigación y desarrollo de cualquiera de estas empresas optimizar sus tratamientos a partir de no tener un tratamiento o a partir de lo que ya está aplicando.

El Perú posee una gran cantidad de riquezas netamente naturales, siendo uno de los más resaltantes el de diversas fibras naturales, como el algodón que encontramos principalmente en valles costeros y lana de camélidos sudamericanos en la región andina, particularmente la alpaca y su muy cotizada fibra. De acuerdo con el Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI), de enero a julio de 2022, la fabricación de prendas de vestir se incrementó en 22,2 % con respecto al mismo periodo de 2021, mientras que, en julio, el aumento fue del 28,4 %. Estos resultados, según el INEI, obedecen a una mayor producción de polos, pantalones, camisas, blusas, ropa para bebé, ternos, faldas, sacos, ropas de baño, chalecos, gorras, sombreros, poleras y abrigos, destinados al mercado interno y externo (EE. UU., Brasil, Alemania, entre otros). Las exportaciones peruanas de confecciones y textiles siguen cosechando resultados positivos. Según cifras de la Sunat, de enero-julio de 2022, los envíos sumaron USD 1081 millones, un 32,2 % más que el valor exportado en el mismo periodo de 2021 (USD 818 millones) [9].

Fabricación de prendas de vestir (en unidades) en el período enero-junio de 2022

Producto	2021	2022	Var. %
Polo	24,405,954	30,624,581	25.5
Pantalón	1,627,123	2,301,015	41.4
Camisa	547,926	1,019,222	91.5
Ropa Interior	2,307,009	2,677,610	16.1
Blusa	105,371	173,295	64.6
Ropa de bebe	388,087	589,577	51.9
Bermuda, short	215,989	259,126	20.0
Terno	6,148	19,024	209.4
Falda	27,237	26,751	-1.8
Vestido	334,933	327,077	-2.3
Saco (ropa)	65,620	91,294	39.1
Pijama	610,376	396,402	-35.1
Conjunto de ropa (dos piezas)	77,093	76,710	-0.5
Ropa de baño	9,395	19,661	109.3
Chaleco	32,384	50,150	54.9
Mameluco	12,162	18,699	53.7
Gorra y sombrero	49,597	22,943	-63.7
Polera	135,864	216,969	69.7
Enterizo	19,652	23,107	17.6
Abrigo	19,623	38,827	97.9
Bividos	1,106,210	1,818,586	64.4
Total	32,103,753	40,820,626	27.2

Figura 1. Comparación entre los años 2021 y 2022 respecto a la producción de textiles

Fuente: [9].

A nivel departamental, Lima se posiciona como el principal exportador textil, con USD 776 millones en envíos (70,4 % del total), un 39,2 % más que los USD 557 millones registrados entre enero y julio de 2021. En segundo lugar, se encuentra Ica, con USD 135 millones, un crecimiento del 33 % y una participación del 12,3 % a nivel nacional. Le siguen Arequipa, con USD 118 millones (+0,99 %) y el 10,7 % de participación; y Callao, con USD 60 millones (+81,1 %) y el 5,4 % de participación [17].

Respecto a su aporte al PBI, en 2019 (último año que se tiene cifras oficiales), el sector manufactura aportó con un 13 % y dentro de este, el sector textil representó el 6,4 % ocupando el tercer lugar, tal como muestra la figura n.º 1.

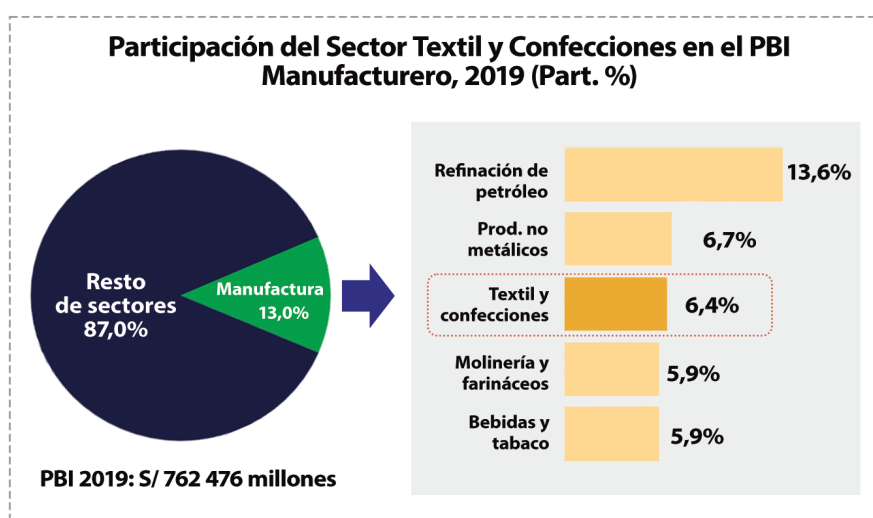


Figura 2. Participación del sector textil y confecciones en el PBI

Fuente: [17].

Estadísticas de fines de 2022 e inicios de 2023, indican el aporte del sector textil al PBI manufacturero.

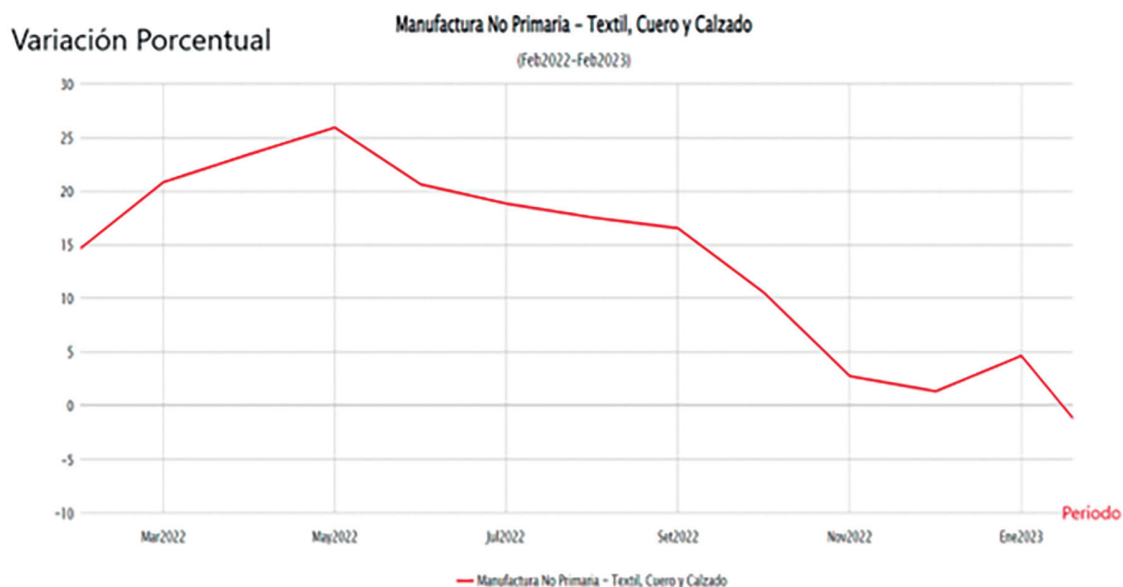


Figura 3. Fluctuaciones del crecimiento del sector textil, cuero y calzado (2022-2023)

Fuente: BCRPData.

Las industrias textiles no siempre tienen la misma producción, por lo que los efluentes variarán en su color, la temperatura, la concentración de contaminantes que poseen, la cantidad de sustancias, los metales pesados y tóxicos que tienen, entre otros. Por lo tanto, no se puede establecer una única caracterización y tratamiento de efluentes para resolver el problema de todo el conjunto de industrias que operan en el Perú.

Los efluentes textiles poseen elevadas concentraciones de colorantes, contaminantes orgánicos biodegradables y no biodegradables, iones de calcio y magnesio que les proporcionan dureza, compuestos clorados, sales, metales pesados, sólidos en suspensión, disueltos, entre otros provenientes de los diferentes procesos productivos de fibras [16].

Por la gran variedad de colorantes químicos utilizados, se generan efluentes de diferentes composiciones. Todas estas aguas residuales pueden ser vertidas a la alcantarilla, un río, el mar o alguna laguna, entre otros sitios; al no tener una adecuada caracterización ni un tratamiento, puede llegar a contaminarlos y, por consiguiente, extinguir la vida acuática. Además, estas ya no son útiles para los seres humanos, ya que no será apta en la utilización para sus necesidades básicas y consumo, lo cual representa un riesgo para la salud; tampoco no será útil para la agricultura, y peligra el medioambiente y la vida de los seres vivos como animales y plantas [4].

Los objetivos del presente estudio, a detalle son los siguientes:

Objetivo general

Optimizar el proceso Fenton en el tratamiento de aguas residuales provenientes del proceso de tintorería de una industria textil.

Objetivos específicos

- Caracterizar el efluente proveniente del proceso de tintorería de una industria textil.

- Secuenciar las etapas del proceso Fenton para tratar aguas residuales de tintorería de una industria textil.
- Determinar el pH óptimo para el proceso Fenton en el tratamiento de aguas residuales provenientes de tintorería de una industria textil.
- Determinar la dosis óptima de los reactivos químicos que participan en el proceso Fenton en el tratamiento de aguas residuales provenientes de tintorería de una industria textil.

FUNDAMENTOS

A. Antecedentes

En Brasil, Favero et al. [6] en su investigación «Evaluation of the efficiency of coagulation/ flocculation and Fenton process in reduction of colour, turbidity and COD of a textile effluent», buscaron presentar la eficiencia de los procesos fisicoquímicos de coagulación, floculación y proceso oxidativo avanzado de Fenton en la reducción de los parámetros de color, turbidez y demanda química de oxígeno (DQO) de un efluente real de una industria textil. La metodología fue experimental porque evaluó el efecto del proceso oxidativo avanzado Fenton, aplicación en la eliminación de color, DQO y turbiedad del efluente previamente tratado mediante el proceso fisicoquímico. Las eliminaciones de estos parámetros se analizaron en dos pH diferentes rangos (pH 6,0 y 7,0). Tanto en pH 6,0 como en pH 7,0 se observaron reducciones en todos los parámetros, obteniendo 170,78 mg O₂/L de DQO, 22,19 mg/L de color y 0,80 NTU de turbidez (a pH 6,0) y 151,80 mg O₂/L de DQO, 26,73 mg/L de color, 0,94 NTU de turbidez (a pH 7,0). Teniendo como resultado después de las pruebas 72,60 % de DQO, 36,25 % de color y 98,59 % de turbidez fueron removidos, utilizando coagulante de policloruro de aluminio y floculante AN 905. En conclusión, de acuerdo a los resultados obtenidos se demuestra la eficacia de este proceso en la reducción de los parámetros analizados [6].

En Turquía, Ilhan *et al.* [8], en su investigación «Treatability of raw textile wastewater using Fenton process and its comparison with chemical coagulation», buscaron realizar el tratamiento de aguas textiles utilizando el proceso Fenton; así, optimizaron el rendimiento del proceso Fenton para minimizar el daño de las aguas residuales que la industria textil causaba al medioambiente. La metodología fue experimental porque en este caso regularon la dosificación de los reactivos Fe^{+2} y H_2O_2 , el pH y el tiempo de reacción, utilizando como métodos la demanda química de oxígeno (DQO), color y carbono orgánico total (COT). Los resultados se compararon con los resultados de la coagulación química. El parámetro más eficaz del proceso Fenton se determinó como dosificación de Fe^{+2} para este tipo de muestra de aguas residuales. Como resultado de la optimización, se obtuvieron eficiencias del 82,8 %, 96,2 % y 75,6 % para DQO, color y remoción COT, respectivamente, mediante el proceso de Fenton. En conclusión, las eficiencias de eliminación se pueden lograr a través de Fenton controlando los parámetros de la concentración de Fe^{+2} y la mejor la mejor remoción se logró con 1,093 mg/L Fe^{+2} concentración, 1,600 mg/L H_2O_2 concentración, pH 3,2 y 150 min de tratamiento.

En Brasil, Ramos *et al.* [15], en su trabajo «A review on the treatment of textile industry effluents through Fenton processes», debido a las limitaciones y baja eficiencia de los procesos convencionales, buscaron evaluar alternativas para el tratamiento de efluentes textiles. La metodología fue experimental; destacan los procesos de oxidación de Fenton, basados en el uso de hierro como catalizador en la conversión de H_2O_2 en radicales libres altamente reactivos. En sus investigaciones, obtuvo como resultado al proceso Fenton como alternativa al tratamiento de efluentes textiles, así como un estudio de la reducción de importantes parámetros de caracterización como concentración de materia orgánica, color y turbidez para efluentes textiles, reduciendo en promedio 82 % de DQO y 95 % de color. En conclusión, utilizando el proceso Fenton, se logró mayor porcentaje de remoción de la materia orgánica, lo que consiguió resultados efluentes tratados que presentan menor toxicidad, los cuales han sido reutilizados en la etapa de teñido, aunque esto aún se está evaluando [15].

En China, Zhang *et al.* [19], en su estudio de investigación «Treatment of textile wastewater using advanced oxidation processes a critical review», buscaron realizar una revisión exhaustiva de los procesos de oxidación avanzada (AOP) en el tratamiento de aguas residuales textiles, incluidos sus rendimientos, mecanismos, ventajas, desventajas, factores influyentes y energía eléctrica. La metodología fue descriptiva porque tuvo como referencias trabajos de oxidación avanzada, las cuales tuvo que analizar los procesos realizados. Como resultado, menciona que el proceso Fenton puede tratar efluentes textiles al costo más bajo posible debido a la entrada mínima de energía y el bajo costo de los reactivos, mientras que los AOP basados en ultrasonido muestran la eficiencia eléctrica más baja debido al alto consumo de energía. En conclusión, analizando los resultados de una implementación a gran escala de la tecnología Fenton mejorada en una planta de tratamiento de aguas residuales de una industria textil, la tecnología mejorada de Fenton es eficiente y rentable en el tratamiento industrial para efluentes textiles [19].

En Perú, Ames *et al.* [1], en su investigación «Determinación de la tecnología más adecuada para remover los contaminantes de los efluentes industriales de colorantes de bixina y carmín», buscaron determinar la tecnología fisicoquímica más adecuada para la remoción de contaminantes de los efluentes industriales de colorantes de bixina y carmín. La metodología es experimental utilizando como tratamiento tecnologías de oxidación avanzada

como procesos de Fenton simple, foto Fenton y Fenton térmico activado, utilizando metabisulfito de sodio. Los resultados con mayor remoción de carga orgánica se obtuvieron con el proceso Fenton térmico activado obteniéndose un DQO promedio de 876,00 mg/L y un DBO_5 de 387,00 mg/L cumpliendo con los VMA. En conclusión, el proceso de tratamiento de remoción de carga orgánica más eficiente desde el punto de vista fisicoquímico es el proceso Fenton térmico activado, por lo que se propone su aplicación a efluentes que provienen de la producción de colorantes de alimentos a base de bixina y carmín [1].

B. Bases teóricas

a. Métodos de oxidación avanzada (POA)

Los procesos de oxidación avanzada (POA) se caracterizan por aprovechar la alta reactividad del radical hidroxilo ($^{\circ}OH$) que actúa como agente oxidante para oxidar los contaminantes orgánicos disueltos en el agua hasta su mineralización; es decir, son procesos donde se oxida la materia orgánica con ayuda de los radicales hidroxilos hasta convertirla completamente en dióxido de carbono y agua, o al menos en compuestos menos peligrosos [14].

Los POA son especialmente útiles como pretratamiento antes de un tratamiento biológico para contaminantes resistentes a la biodegradación o como proceso de postratamiento para efectuar un pulido de las aguas antes de la descarga a los cuerpos receptores. Los procesos que están involucrados en este método poseen una mayor factibilidad termodinámica y una mayor velocidad de oxidación debido a la presencia de radical hidroxilo $^{\circ}OH$. Este radical posee propiedades adecuadas para atacar a todos los componentes orgánicos y tener una velocidad de reacción de 10^6 - 10^{12} veces más rápido que otros oxidantes como el O_3 [16].

En la siguiente tabla, podemos ver cómo varía la facilidad como agente oxidante para ciertas especies.

Tabla 1
Potencial de oxidación

Agente oxidante	Potencial de oxidación (E°) (V)
Flúor (F)	3,06
Radical hidroxilo ($^{\circ}OH$)	2,80
Oxígeno atómico (O)	2,42
Ozono (O_3)	2,08
Peróxido de hidrógeno (H_2O_2)	1,78
Cloro (Cl_2)	1,36
Oxígeno molecular (O_2)	1,23

Fuente: [16].

Las moléculas presentes en los colorantes empleadas en la industria textil son muy complejas, de origen sintético, algunas son solubles en agua, muy resistentes al ataque de los agentes químicos y no se biodegradan fácilmente. Casi el 60 % de los colorantes utilizados en la industria textil son muy reactivos, ya que forman una unión éter con la fibra, lo que garantiza que el color del tejido permanezca por mayor tiempo. En sus estructuras contienen grupo azo, antraquinona o ftalocianina [16].

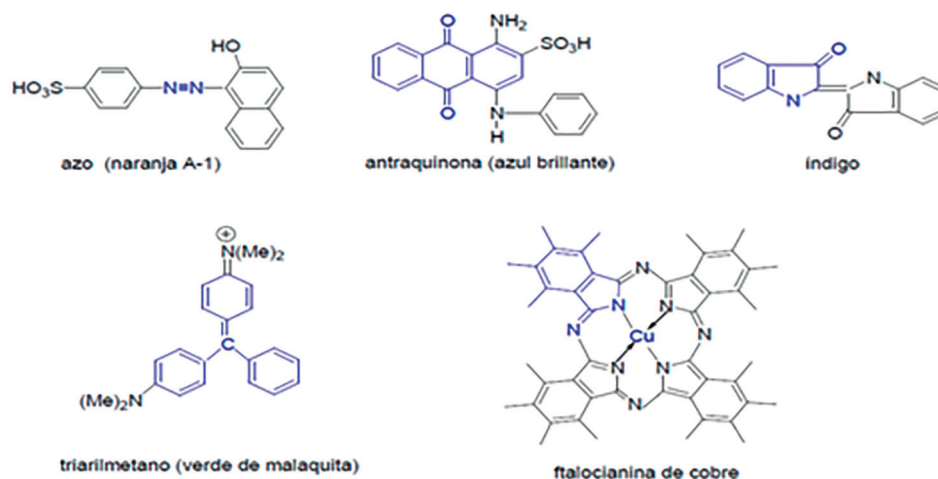


Figura 4. Estructuras de los colorantes textiles

Fuente: [3].

Debido a las características de los colorantes de solubilidad y estabilidad, los métodos que comúnmente se emplean son floculación, sedimentación y flotación, aunque no son los adecuados en la remoción de los colorantes dispersos en las aguas residuales, mas no de los colorantes reactivos; es por ello que una alternativa más óptima sería el método de oxidación avanzada.

Los colorantes reactivos, a diferencia de los dispersos, contienen menos grupos para formar enlaces covalentes entre un átomo del colorante y uno de oxígeno, azufre o nitrógeno de la tela que se teñirá. Por ello, el colorante reactivo no fijado estará en solución o disuelto en el agua residual de la empresa textil como un compuesto orgánico refractario. Se puede decir que la separación de un tinte disperso se puede dar por coagulación-floculación y flotación; para el tinte reactivo, se emplea la oxidación avanzada [16].

Entre las ventajas de las tecnologías de oxidación avanzada sobre los métodos convencionales, se encuentran los siguientes:

No solo se produce un cambio de fase en el producto contaminante, sino que también ocurre una transformación química. En la mayoría de casos, se consigue la destrucción o la mineralización de los contaminantes; en cambio, en las tecnologías convencionales, no permite que toda la materia orgánica se oxide completamente. Estos métodos son muy aplicables para contaminantes refractarios que se resisten a otros métodos como el biológico. Se emplean para tratar contaminantes de muy baja concentración en ppb. Estos métodos mejoran las propiedades organolépticas como el color, el olor o el sabor del agua residual tratada. Asimismo, consumen menos energía que otros métodos; transforman contaminantes refractarios en productos que puedan ser tratables por otros métodos más económicos; y disminuyen o eliminan los efectos en la salud de los desinfectantes y oxidantes residuales como el cloro [2].

Entre los inconvenientes que presentan los métodos de oxidación avanzada, se encuentran los siguientes:

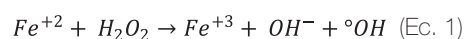
Costo elevado en los procesos donde se emplea el ozono y la radiación ultravioleta. En algunos casos, se pueden presentar la formación de subproductos indeseables. Algunos procesos requieren tiempos elevados para que se produzcan las reacciones. Además, costos altos de inversión y operación. Para la ejecución

de los procesos de oxidación avanzada, se requiere mano de obra especializada [2].

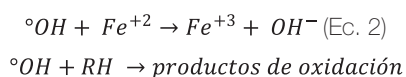
b. Proceso Fenton

Según Bes, Silva y Bengoa [2] el proceso Fenton es un método que consiste en la adición de sales de hierro (Fe^{+2}) como un catalizador en presencia de H_2O_2 para la producción de radicales HO° . Durante este proceso, se forman los radicales HO° debido a la interacción entre el Fe^{+2} y H_2O_2 en medio ácido entre los rangos pH 2,5-4 [2].

«El método se basa en la generación de radical hidroxilo ($^\circ OH$) por la adición de H_2O_2 a sales metálicas de hierro (Fe^{+2}) en disolución, obteniendo mejores resultados a valores de pH = 3,0» [16].



En la ecuación, se puede observar la formación de radicales hidroxilos, debido a la descomposición del H_2O_2 por efectos del hierro, oxidándose de Fe^{+2} a Fe^{+3} . En el proceso Fenton, luego de que el Fe^{+2} descompone el H_2O_2 , los radicales $^\circ OH$ continúan reaccionando con el Fe^{+2} remanente en disolución hasta convertirse a Fe^{+3} , además de oxidar toda materia orgánica presente (RH), ocurriendo la siguiente reacción [16]:



La ejecución del proceso Fenton de manera discontinua fue realizada en un tanque no presurizado en condiciones atmosféricas, donde se utiliza una serie de inyectores externos, a fin de adicionar el reactivo que regule el pH, ya sea ácido o base, dosificar el $FeSO_4$ y el H_2O_2 en una concentración de 35-50 % en disolución [2].

METODOLOGÍA

La presente investigación es de tipo aplicada, porque los conocimientos desarrollados ayudarán a resolver un problema social, de una comunidad, región o país, así como los problemas de contaminación ambiental. Según la

intervención del investigador, el método de investigación del proyecto es de tipo experimental, el método experimental es una técnica de investigación que consiste en recabar datos y verificar las hipótesis planteadas. Además, es refinada porque utiliza sofisticadas técnicas como el control de las variables y la medición de las diferencias estadísticas de los resultados [11].

Por su enfoque, es cuantitativo, ya que se consideran los principios teóricos y emplea métodos cuantitativos para la recolección de datos. Por su nivel, es explicativo, debido a que se tiene una relación causal, recogiendo la información sobre las variables en estudios para describir las características y rasgos importantes de las mismas y encontrar las causas de este [7].

Se especifican las mediciones realizadas en la siguiente imagen.

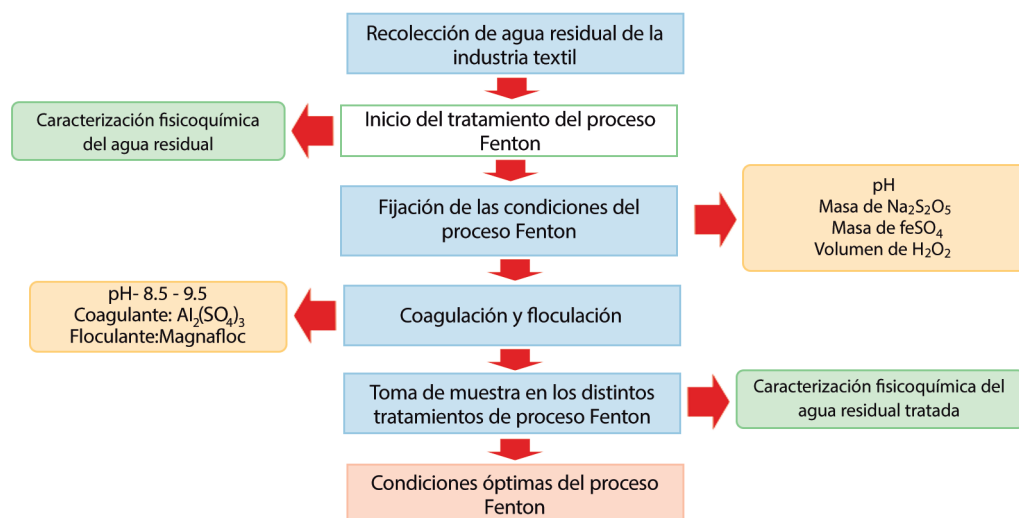


Figura 5. Diseño experimental del proyecto de investigación

Fuente: Elaboración propia.

Nota: En la figura 5, se especifican los procedimientos ejecutados durante el desarrollo la investigación, desde la recolección del agua residual de la industria textil hasta definir el tratamiento óptimo. El diseño de la investigación se desarrollará en diferentes etapas, las cuales se detallan a continuación:

- **Etap 1:** Recolección de la muestra
 - I. Se realizó la recolección de la muestra en la planta de operaciones de la industria textil al finalizar el proceso de teñido.
 - II. Se realizó el acondicionamiento de las aguas residuales de la industria textil para realizar los análisis en laboratorio.
- **Etap 2:** Procedimiento experimental en el laboratorio
 - I. Caracterización fisicoquímica inicial en laboratorio de las aguas residuales de la industria textil: pH, turbidez, ORP, conductividad, DQO, DBO₅ y SST.
 - II. Aplicación del proceso Fenton a las aguas residuales de procedencia textil, para fijar las condiciones del proceso: pH, masa de Na₂S₂O₅, masa de FeSO₄ y volumen de H₂O₂
 - III. Caracterización fisicoquímica final de las aguas procedentes luego de aplicar el tratamiento del proceso Fenton para determinar las condiciones óptimas del proceso.

La muestra son las proporciones de las aguas residuales del proceso de teñido de la industria textil, tomando un 1 L. Por prueba experimental, se utilizó un diseño factorial completo 2k que permite identificar el valor óptimo del parámetro a analizar. Donde 2 indica el nivel y K = 4 indica los factores (indicadores) [9].

De acuerdo con ello, se utilizó un diseño factorial de 2⁴, que equivale a realizar 16 pruebas experimentales analizando las cuatro condiciones de proceso: pH (2,5-3,0), masa del sulfato ferroso (1,0-1,5 g), volumen de peróxido de hidrógeno (1,0-2,0 mL) y masa de metabisulfito de sodio (1,0-1,5 g). Además, se realizó una réplica para cada prueba experimental, en total se realizaron 32 pruebas experimentales.

La industria textil, en la cual sus efluentes son objeto de estudio para aplicar el proceso Fenton como tratamiento, está ubicada en el departamento de Lima, distrito de San Juan de Miraflores. Los estudios experimentales se ejecutaron en los laboratorios de química ambiental de Tecsup n.º 1, ubicado en el distrito de Santa Anita en la provincia de Lima.

A. Recolección de las muestras de agua residual

La muestra de agua residual se tomó en una sola fecha, a la salida de la tubería que conduce al almacenamiento de los efluentes de dicha industria. En un solo día se llegó a muestrear 40 L de agua residual que se almacenó en un frasco oscuro preservándolo a un pH < 2 haciendo uso de H₂SO₄ a una temperatura < 4 °C para realizar mediciones de DQO por 28 horas como máximo, para medir DBO₅ la muestra solo permaneció a una temperatura < 4 °C por 24 horas como máximo [5].

B. Caracterización fisicoquímica de las aguas residuales

La caracterización fisicoquímica de las aguas residuales de la industria textil se realizó antes y después del tratamiento con el proceso Fenton y fueron los siguientes:

Tabla 2
Métodos para la caracterización fisicoquímica del agua residual de la industria textil

Análisis fisicoquímico	Método
Determinación de la demanda química de oxígeno	Método normalizado de oxidación al dicromato (reflujo cerrado colorímetro) (APHA, 1995)
Determinación de la demanda bioquímica de oxígeno	Método de Winkler (APHA, 1992)
Determinación de sólidos suspendidos totales	Sólidos suspendidos totales en aguas secado a 103-105 °C NMX-AA-034-SCFI-2015
Determinación de la turbidez	Turbidez por nefelometría (APHA, 1998)

Fuente: Elaboración propia.

Nota: En la tabla 2, se detalla los análisis fisicoquímicos que se realizó como parte de la caracterización del efluente textil, además, se indica el método normalizado según en APHA.

Además de los parámetros mencionados en la tabla 2, se midió los parámetros de pH, turbidez, ORP y conductividad antes, durante y después de aplicar el proceso Fenton como tratamiento a las aguas residuales de la industria textil.

C. Tratamiento del proceso Fenton en las aguas residuales

Una vez realizada la caracterización inicial del agua residual proveniente de la industria textil, se procedió a ejecutar los procedimientos del proceso Fenton para determinar las condiciones del proceso. En la siguiente figura, se indican los procedimientos para cada proceso:

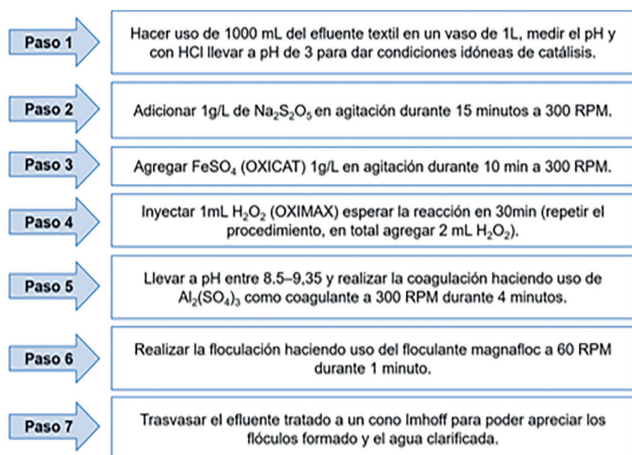


Figura 6. Procedimiento de tratamiento proceso Fenton

Fuente: Elaboración propia.

D. Instrumentos

Para la recolección de datos obtenidos durante las pruebas experimentales, se utilizó un registro de datos en una lista de cotejo. Entre los instrumentos tenemos a los materiales, equipos y reactivos químicos utilizados para los análisis fisicoquímicos y el tratamiento del proceso Fenton de las aguas residuales de industria textil, se tiene materiales para las pruebas experimentales en laboratorio, lo cual se detalla en la siguiente tabla:

Tabla 3
Materiales usados en las pruebas experimentales

	Instrumentos
Materiales	<ul style="list-style-type: none"> Vaso de precipitado de 1000 mL, 500 mL y 250 mL Probeta de 100 mL Fiola de 100 mL Pipeta graduada de 10 mL y 5 mL Propipeta Micropipeta automática de rango de 1- 5 mL Pastilla magnética Cono Imhoff Soporte universal Aro con nuez Papel de filtro para análisis gravimétrico 934AH Whatman Desecador con sílica gel Cápsula de porcelana Gradilla para tubos

a. Equipos para las pruebas experimentales en laboratorio

Tabla 4
Equipos usados en las pruebas experimentales

	Instrumentos
Equipos	<ul style="list-style-type: none"> Equipo reactor de DBO₅ marca Sheldon Manufacturing Equipo digestor de DQO marca Hach Colorímetro marca Hach Turbidímetro 2100Q Hach Test de jarras marca Didacta Italia Equipo de filtración al vacío: embudo Buchner, matraz kitasato y bomba de vacío. Estufa marca Memmert UN-60 Balanza analítica de 0,0001 g Medidor digital de pH y ORP Medidor digital de conductividad Plancha de agitación marca Stuart

b. Reactivos químicos e insumos para las pruebas experimentales en laboratorio

Tabla 5
Reactivos usados en las pruebas experimentales

	Instrumentos
Reactivos	<ul style="list-style-type: none"> Solución de HCl al 10 % v/v Solución de NaOH al 10 % v/v Na₂S₂O₅ FeSO₄ H₂O₂ al 50 % Al₂(SO₄)₃ Magnafloc H₂SO₄ concentrado Vial para DQO 200-15000 mg/L marca Hach KOH Nutriente para análisis de DBO₅ marca Hach

c. Lista de cotejo para la recolección de datos obtenidos durante las pruebas experimentales

El diagrama de flujo se expresa en la figura 7 como sigue:

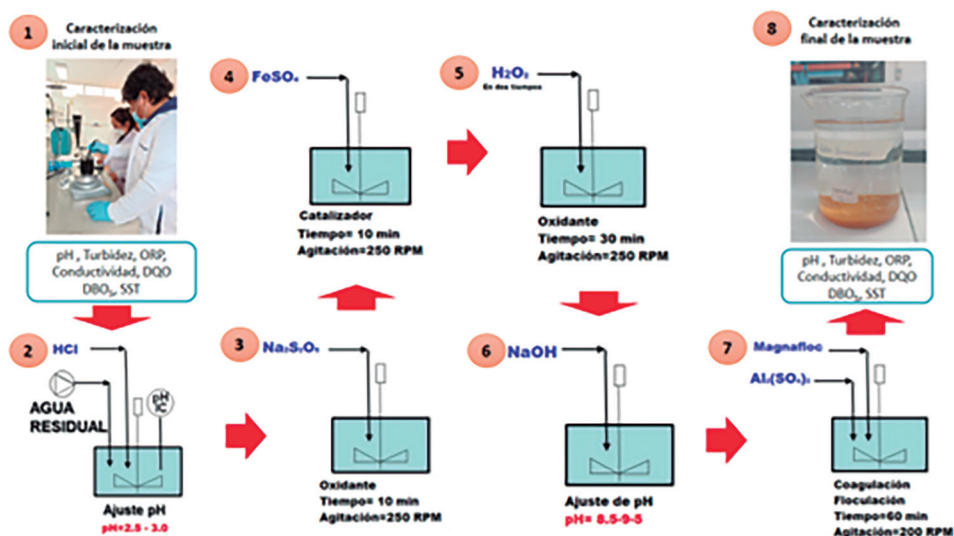


Figura 7. Procedimiento de tratamiento proceso Fenton

Fuente: Elaboración propia.

RESULTADOS

A. Caracterización fisicoquímica inicial de la muestra

Se tomó una muestra de 40 L de agua residual de proceso de teñido de la industria textil, a fin de realizar las pruebas experimentales. Se homogeneizó la muestra para la caracterización y se tomó 2 L, del cual se realizaron dos réplicas para determinar los parámetros que se indican en la tabla 6.

En la tabla 6, se observa los resultados de los parámetros correspondientes a la caracterización fisicoquímica inicial de la muestra, encontrando que los valores de pH, SST, DQO y DBO₅ son mayores a los valores establecidos en los VMA del D. S. n.º 021-2009 vivienda modificada por D. S. n.º 010-2019 vivienda. En la figura 8, muestra la comparación de los valores promedios de los parámetros de la caracterización fisicoquímica inicial de muestra con los valores del VMA del D. S. n.º 021-2009 vivienda modificada por D. S. n.º 001-2015 vivienda.

Tabla 6
Caracterización fisicoquímica inicial de la muestra

Parámetros	Unid.	Resultados		Promedio	*VMA D. S. n.º 010-2019
		M01	M02		
Turbidez	NTU	155,4	160,2	157,8	----
pH	---	10,61	10,52	10,57	6,0-9,0
Temperatura	°C	32,5	33,4	32,95	<35
SST	mg/L	546,5	575,9	561,20	500
DQO	mg/L	2180,0	2220,0	2200,00	1000
DBO ₅	mg/L	1010,0	1100,0	1055,00	500

Fuente: *Información tomada y adaptada del D. S. n.º 010-2019 vivienda modificada por D. S. n.º 001-2015 vivienda.

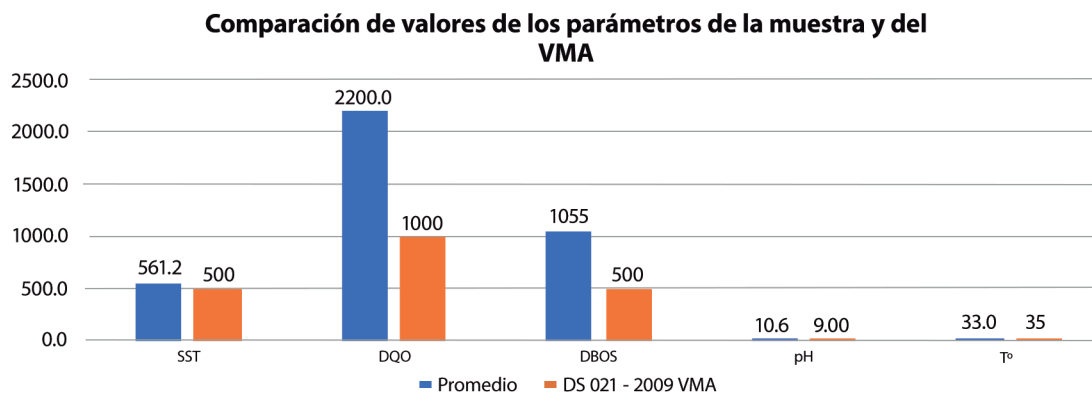


Figura 8. Comparación de valores de los parámetros de la muestra y del VMA

Fuente: Elaboración propia.

B. Determinación del DQO en el proceso Fenton

Para el proceso Fenton, los rangos de pH de trabajo son 2,5 y 3,0, las dosis de los reactivos que se trabajarán son las siguientes: $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$ (g/L) 1,0 y 1,5 g, FeSO_4 (g/L) 1,0 y 1,5 g y H_2O_2 (mL/L) 1,0 y 2,0 mL.

Para ello, se realizó 16 pruebas experimentales con sus réplicas, en total 32 pruebas experimentales. Estas se trabajaron a diferentes rangos, obteniéndose los siguientes resultados presentados en la tabla 7:

Tabla 7
Determinación de condiciones óptimas del trabajo del proceso Fenton

Muestra	pH	$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$ (g)	FeSO_4 (g)	H_2O_2 (mL)	DQO final (mg/L)
M-01	2,50	1,00	1,00	1,00	890,00
M-02	2,49	1,00	1,50	1,00	815,00
M-03	2,50	1,00	1,00	2,00	540,00
M-04	2,51	1,00	1,50	2,00	549,00
M-05	2,51	1,50	1,00	1,00	915,00
M-06	2,50	1,50	1,50	1,00	750,00
M-07	2,50	1,50	1,00	2,00	590,00
M-08	2,49	1,50	1,50	2,00	635,00
M-09	3,01	1,00	1,00	1,00	670,00
M-10	3,00	1,00	1,50	1,00	710,00
M-11	3,01	1,00	1,00	2,00	353,00
M-12	3,02	1,00	1,50	2,00	463,00
M-13	3,01	1,50	1,00	1,00	624,00
M-14	3,01	1,50	1,50	1,00	695,00
M-15	3,02	1,50	1,00	2,00	495,00
M-16	3,02	1,50	1,50	2,00	540,00

Muestra	pH	Na ₂ S ₂ O ₅ (g)	FeSO ₄ (g)	H ₂ O ₂ (mL)	DQO final (mg/L)
R M-01	2,50	1,00	1,00	1,00	720,00
R M-02	2,50	1,00	1,50	1,00	835,00
R M-03	2,52	1,00	1,00	2,00	525,00
R M-04	2,50	1,00	1,50	2,00	555,00
R M-05	2,51	1,50	1,00	1,00	890,00
R M-06	2,50	1,50	1,50	1,00	820,00
R M-07	2,49	1,50	1,00	2,00	593,00
R M-08	2,50	1,50	1,50	2,00	629,00
R M-09	3,02	1,00	1,00	1,00	620,00
R M-10	3,00	1,00	1,50	1,00	690,00
R M-11	3,00	1,00	1,00	2,00	395,00
R M-12	3,02	1,00	1,50	2,00	510,00
R M-13	3,00	1,50	1,00	1,00	655,00
R M-14	3,00	1,50	1,50	1,00	705,00
R M-15	3,00	1,50	1,00	2,00	515,00
R M-16	3,02	1,50	1,50	2,00	551,00

Fuente: Elaboración propia.

Nota: En la tabla 7, se observó que todos los resultados de DQO (mg/L) obtenidos durante el proceso Fenton son menores al rango establecido en el VMA del D. S. n.° 010-2019 Vivienda.

2,5 y 3,0 con las dosis de reactivos 1,0-1,5 g/L de Na₂S₂O₅, 1,0-1,5 g/L de FeSO₄ y 1,0-2,0 mL/L de H₂O₂, además del cálculo del % de remoción del DQO, contrastando el DQO inicial y el DQO final:

A continuación, en la tabla 8 se muestra el promedio de DQO (mg/L) de las 16 pruebas y sus réplicas entre los rangos de pH

Tabla 8
Promedio de los valores de DQO durante el proceso Fenton

Muestra	pH	Na ₂ S ₂ O ₅ (g)	FeSO ₄ (g)	H ₂ O ₂ (mL)	DQO inicial (mg/L)	DQO final (mg/L)	Remoción de DQO
M-01							
R M-01	2,50	1,00	1,00	1,00	2200,00	805,00	63,41
M-02							
R M-02	2,49	1,00	1,50	1,00	2200,00	825,00	62,50
M-03							
R M-03	2,50	1,00	1,00	2,00	2200,00	532,50	75,80
M-04							
R M-04	2,51	1,00	1,50	2,00	2200,00	552,00	74,91
M-05							
R M-05	2,51	1,50	1,00	1,00	2200,00	902,50	58,98
M-06							
R M-06	2,50	1,50	1,50	1,00	2200,00	785,00	64,32

Muestra	pH	Na ₂ S ₂ O ₅ (g)	FeSO ₄ (g)	H ₂ O ₂ (mL)	DQO inicial (mg/L)	DQO final (mg/L)	Remoción de DQO
M-07	2,50	1,50	1,00	2,00	2200,00	591,50	73,11
R M-07							
M-08	2,49	1,50	1,50	2,00	2200,00	632,00	71,27
R M-08							
M-09	3,01	1,00	1,00	1,00	2200,00	645,00	70,68
R M-09							
M-10	3,00	1,00	1,50	1,00	2200,00	700,00	68,18
R M-10							
M-11	3,01	1,00	1,00	2,00	2200,00	374,00	83,00
R M-11							
M-12	3,02	1,00	1,50	2,00	2200,00	486,50	77,89
R M-12							
M-13	3,01	1,50	1,00	1,00	2200,00	639,50	70,93
R M-13							
M-14	3,01	1,50	1,50	1,00	2200,00	700,00	68,18
R M-14							
M-15	3,02	1,50	1,00	2,00	2200,00	505,00	77,05
R M-15							
M-16	3,02	1,50	1,50	2,00	2200,00	545,50	75,20
R M-16							

C. Procesamiento de los resultados obtenidos

Los resultados obtenidos en la parte experimental han sido procesados utilizando los programas Minitab y SPSS. En la tabla

9, se muestra los resultados de DQO obtenidos de acuerdo con la interacción de los 4 factores y sus 2 niveles cada uno.

Tabla 9
Resultados de DQO de acuerdo con la interacción de los 4 factores y sus niveles

pH	Peróxido							
	1,0				2,0			
	Sulfato							
	1,0		1,5		1,0		1,5	
	Meta							
2,5	1,0	1,5	1,0	1,5	1,0	1,5	1,0	1,5
	890	915	815	750	540	590	549	635
3,0	720	890	835	820	525	593	555	629
	670	624	710	695	353	495	463	540
	620	655	690	705	395	515	510	551

Nota: En la tabla se muestran las interacciones de los factores: pH con sus niveles 2,5 y 3,0, META (metabisulfito de sodio) con sus niveles 1,0 y 1,5 (g), sulfato (sulfato ferroso) con sus niveles 1,0 y 1,5 (g) y peróxido (peróxido de hidrógeno) con sus niveles de 1,0 y 2,0 (mL).

Para determinar la interacción más óptima de los 4 factores (pH, meta, sulfato, peróxido) con sus respectivos niveles donde se obtiene el DQO más bajo, se presenta la siguiente figura:

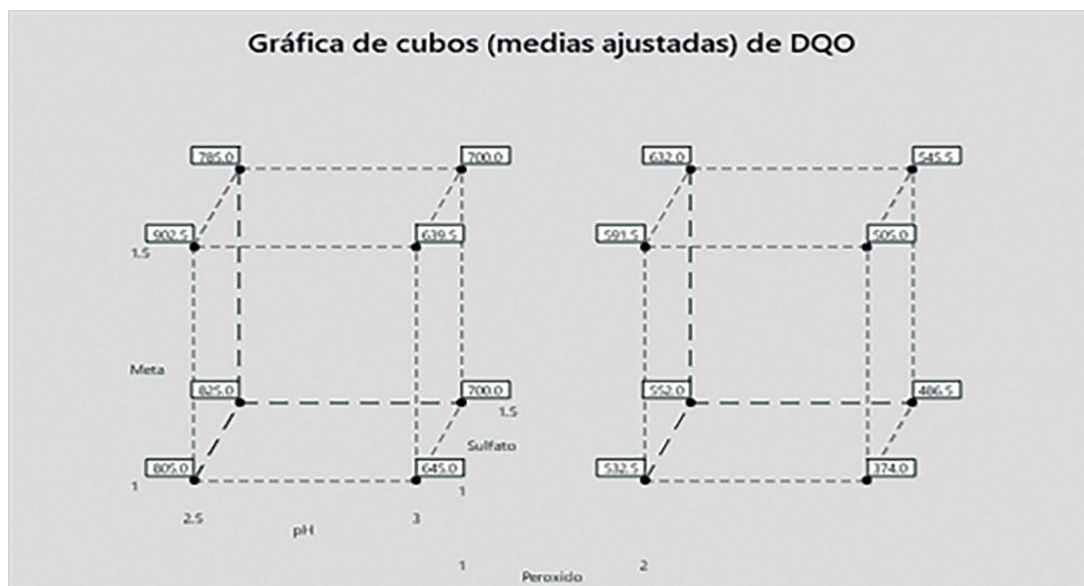


Figura 9. Gráfica de cubos (medias ajustadas) para DQO

Fuente: Elaboración propia.

Nota: De la figura podemos decir lo siguiente: pH = eje y, meta = eje z, sulfato = eje X y el peróxido queda globalmente dentro de las dos gráficas; en el caso del valor = 1, está la gráfica de la izquierda y, en caso de que el valor = 2, es el gráfico de la derecha.

De la figura 9, podemos decir que los mejores valores del DQO (por ser el menor valor) se encuentran en cada uno de los vértices y son los siguientes:

Los mejores resultados del DQO siendo el menor valor de la reacción son pH (+1 = 3,0), meta (-1 = 1,0), sulfato (-1 = 1,0) y Peróxido (+1 = 2,0), el más bajo valor de DQO que podemos conseguir es 374,00 mg/L.

Otra combinación sería pH (+1 = 3,0), meta (-1 = 1,0), sulfato (+1 = 1,5) y peróxido (+1 = 2,0), da un valor de DQO = 486,50 mg/L.

CONCLUSIONES

De acuerdo con los resultados obtenidos en la presente investigación se concluye lo siguiente:

- La evaluación de la optimización del proceso Fenton en el tratamiento de aguas residuales de una industria textil nos permitió determinar los parámetros óptimos de trabajo como el pH, dosis de $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$, de FeSO_4 y de H_2O_2 , a fin de obtener como resultado un DQO de 374,00 mg/L con un porcentaje de remoción de carga orgánica de 83 %. Esto indica que se está cumpliendo con los VMA del D. S. n.º 010-2019 Vivienda.
- El pH óptimo del proceso Fenton en el tratamiento de aguas residuales de una industria textil fue de 3.0 y la masa óptima de $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$ de 1,0 g/L, con los cuales se obtuvo un mayor porcentaje de remoción de carga orgánica.

- La masa óptima de FeSO_4 fue de 1,0 g/L y el volumen óptimo de H_2O_2 del proceso Fenton en el tratamiento de aguas residuales de una industria textil fue de 2,0 mL y, con los cuales, se obtuvo un mayor porcentaje de remoción de carga orgánica.
- La eliminación de carga orgánica en aguas residuales textiles se puede lograr al aplicar el proceso Fenton y se consiguen mejores resultados controlando los parámetros de pH a 3,0, masa de $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$ a 1,0 g/L, masa de FeSO_4 a 1,0 g/L y volumen de H_2O_2 a 2.0 mL. Por lo tanto, se concluye que el proceso Fenton es un tratamiento de oxidación avanzada eficiente para la remoción de altos contenidos de carga orgánica en efluentes de industrias textiles.

REFERENCIAS

- [1] Ames H., Reque M., y Vásquez C. (2015). Determinación de la tecnología más adecuada para remover los contaminantes de los efluentes industriales de colorantes de bixina y carmín. *Revista I + i. Investigación Aplicada e Innovación*, 9, 70-78.
- [2] Bes, S., Silva, A. y Bengoa, C. (2018). *Manual técnico sobre procesos de oxidación avanzada aplicados al tratamiento de aguas residuales industriales*. CYTED.
- [3] Cerrón, A., y Unterlass, M. (2018). Síntesis ecoamigables de colorantes. *Revista de Química PUCP*, 32(1), 18-31.
- [4] Cortazar A., Coronel C., Escalante A., y Gonzales C. (2016). Contaminación generada por colorantes de la industria textil. *Vida Científica Boletín Científico de la Escuela Preparatoria No. 4*, 2(3).
- [5] Digesa. (2007). *Protocolo de monitoreo de la calidad sanitaria de los recursos hídricos superficiales. Resolución Directoral del Ministerio de Salud, n.º 2254*. Digesa.

- [6] Favero, B. *et al.* (2018). Evaluation of the efficiency of coagulation/flocculation and Fenton process in reduction of colour, turbidity and COD of a textile effluent. *Revista Environmental Technology*.
- [7] Hernández, R., Fernández, C., y Baptista, M. (2014). *Metodología de la investigación*. Mc Graw Hill.
- [8] İlhan, F. *et al.* (2019). *Treatability of raw textile wastewater using Fenton process and its comparison with chemical coagulation*. Yildiz Technical University.
- [9] INEI. (s. f.). *Elaboración COMEX-Perú*.
- [10] López V. y Crespi R. (2015). *Gestión de los Efluentes de la Industria Textil*. Universidad Politécnica de Cataluña Ediciones.
- [11] Nieto R., y Huamán J. (2019). *Optimización de los parámetros operacionales del proceso de oxidación avanzada en el tratamiento de las aguas residuales provenientes de un matadero de porcinos* [Tesis de pregrado]. Universidad Nacional de Callao del Perú, Lima.
- [12] Ñaupas, H., Valdivia, M., Palacios, J., y Romero, H. (2018). *Metodología de la Investigación cuantitativa-cualitativa y redacción de tesis* (5.ª ed.). Ediciones de la U.
- [13] Padilla, E. (2012). *Desarrollo de los aspectos metodológicos para la implementación de un sistema integrado de gestión en la industria textil y confecciones* [Tesis de pregrado]. Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima.
- [14] Perez, W., y López, J. (2017): *Application of a Factorial design in the Rimac River Turbidity Removal by Coagulation and Flocculation using Tara Gum*. Universidad Peruana Unión.
- [15] Pinos, V. (2020). *Proceso de oxidación avanzada. Nueva planta de tratamiento se requiere para el 2020*. Universidad de Cuenca. <https://www2.ucuenca.edu.ec/260-espanol/investigacion/blog-de-ciencia/ano-2020/enero-2020/1509-oxidacion>
- [16] Ramos, M., *et al.* (2021). *A review on the treatment of textile industry effluents through Fenton processes*. Elsevier.
- [17] Salas G. (2010). Tratamiento por oxidación avanzada (Reacción Fenton) de aguas residuales de la industria textil. *Revista Peruana de Química e Ingeniería Química de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos*, 3(1), 30-38.
- [18] SNI (2021). *Reporte sectorial: Industrial Textil y Confecciones*. <https://sni.org.pe/wp-content/uploads/2022/01/27-Industria-Textil-y-Confecciones.pdf>
- [19] Terán, M. (2016). *Estudio de la aplicación de procesos de oxidación avanzada e aguas contaminadas* [Tesis de pregrado]. Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Industrial de España, Barcelona.
- [20] Zhang, Y. *et al.* (2021). *Treatment of Textile Wastewater Using Advanced Oxidation Processes a critical review*. *Revista Water Switzerland*.

ACERCA DEL AUTOR

Ing. Huguez Enrique Ames Ramírez

Ingeniero químico egresado de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, perteneciente al Colegio de Ingenieros del Perú; magíster en Educación por la Universidad de Piura. Actualmente, estudia el doctorado Doctoris Philosophiae (PhD) en Ingeniería y Ciencias Ambientales en la Universidad Nacional Agraria La Molina. Cuenta con experiencia en la industria química y metalúrgica, pero sobre todo ha realizado su actividad profesional en diversas empresas dedicadas al tratamiento de aguas residuales, aguas industriales y relaves mineros, donde fue parte del desarrollo de diversas plantas de detoxificación de cianuro, plantas de tratamiento de relaves y plantas de tratamiento de drenajes ácidos de mina. Ha sido docente en la Universidad Privada del Norte, Universidad Nacional Agraria La Molina, Universidad Continental, Universidad María Auxiliadora, entre otras; así como autor de diversos textos. Las diversas actividades laborales le han permitido desarrollar competencias blandas de trabajo en equipo, comunicación asertiva y liderazgo. Hasta 2021, fue coordinador de la carrera de Procesos Químicos y Metalúrgicos en Tecsup Lima, institución en la que sigue siendo docente y consultor en temas ambientales. Es ingeniero de procesos en una reconocida empresa dedicada al tratamiento de aguas y de efluentes industriales, dirigiendo proyectos desde la caracterización, pruebas a nivel de laboratorio, pilotajes, ingeniería básica y de detalle para luego arrancar plantas de tratamiento. Hoy en día, es miembro de la comisión nacional por una economía circular, donde aplica la experiencia profesional adquirida por un desarrollo sostenible.

Ing. Yorsel Soledad Mayhua Soto

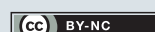
Ingeniera industrial egresada de la Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC), perteneciente al Colegio de Ingenieros del Perú, licenciada en Educación de la Universidad Enrique Guzmán y Valle la Cantuta y magíster

en Gestión Ambiental para el desarrollo sostenible por la Universidad Nacional del Callao. Cuenta con experiencia en la industria en el rubro de control de calidad en empresas como Kimberly Clark y Laboratorios SMASAC. Desde 2013 hasta la actualidad se desempeña como docente en el área de Minería y Procesos Químico-Metalúrgicos en Tecsup Lima, labor que le permite trabajar conjuntamente con otros docentes investigaciones y proyectos relacionados con el tratamiento de aguas y de efluentes industriales. Todas estas actividades laborales le han posibilitado obtener conocimientos dentro del rubro y desarrollar competencias como trabajo en equipo, liderazgo, adaptabilidad, capacidad analítica y de resolución de problemas.

Ing Juan Jesús Malpica Mateo

Ingeniero forestal y ambiental especializado en temas ambientales, elaboración y desarrollo de estudios y proyectos. Su experiencia laboral está determinada por la elaboración, la ejecución, el control y la supervisión de estudios ambientales y forestales, así como también la ejecución de programas de monitoreo aire, ruido ambiental, agua, suelo, biológico y forestal. Con experiencia profesional de más de 10 años desempeñándose como consultor ambiental y forestal, actualmente, ejerce como coordinador de proyectos y trabajos de campo, para los sectores de minería, hidrocarburos, forestal y transportes. Ha desarrollado trabajos de análisis ambiental, monitor y especialista ambiental en evaluación ambientales y de recursos naturales. Su experiencia se integra con la capacidad de formular diversos proyectos de desarrollo forestal y ambiental, y de los permisos que se requieren.

Recibido: 15-08-23
Revisado: 18-08-23
Aceptado: 03-10-23



Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons AtribuciónNoComercial 4.0 Internacional.

Determinar por el método
de anulación de señales
el sensor que afecta en
mayor medida la potencia
del motor Cat C7 en el
régimen de calado



Desconexión sensorial y su influencia en la potencia del motor de combustión interna marca Cat modelo C7

“Sensory Disconnection and its Influence on the Power of the Cat C7 Internal Combustion Engine”

RESUMEN

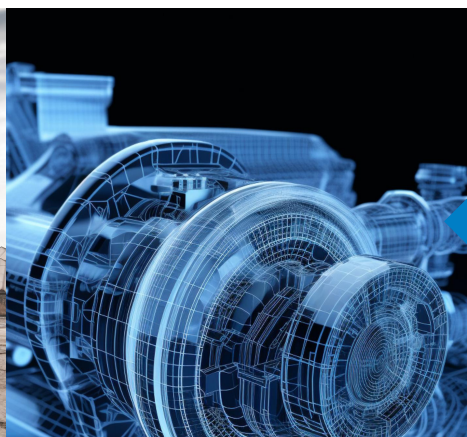
La maquinaria pesada actual cuenta con sensores, los cuales optimizan las tareas relacionadas con la eficiencia del motor. Estos se utilizan para transmitir a la unidad de control un valor determinado. De este modo, se regula el suministro de combustible para que el motor funcione siempre de forma óptima. Si uno de los sensores tiene un defecto, no emite ningún valor o valores incorrectos, la unidad de control malinterpreta esos datos repercutiendo en la potencia del motor.

El objetivo de esta investigación es determinar en qué medida la desconexión sensorial influye en la potencia del motor de combustión interna marca Cat modelo C7. En el presente proyecto de investigación, se empleó el método descriptivo. En las pruebas se utilizó el motor Cat C7 el cual trabajó, en condiciones de calado, en el cargador frontal 950H del Instituto Privado Tecsup N.º 1 filial Trujillo. También se utilizó el software de diagnóstico Electronic Technician Caterpillar que, a través de su herramienta Data Log Recorder, nos permitió obtener los datos correspondientes a cada prueba que fueron organizados y procesados para obtener las conclusiones de la investigación. La primera prueba se llevó a cabo con la conexión de todos los sensores a la cual llamamos «funcionamiento de diseño», las diez siguientes se realizaron desconectando un sensor diferente por cada prueba a lo cual llamamos «desconexión sensorial». Los resultados muestran que el sensor de presión atmosférica reduce la potencia del motor en un 10 %; el sensor de presión de inyección del inyector, la potencia del motor en un 100 %; el sensor de temperatura de aire de admisión, la potencia del motor en un 2 %, y el resto de sensores no reducen la potencia del motor. En conclusión, el sensor que más afecta en la reducción de la potencia del motor es el de presión de inyección del inyector y es importante destacar que tenerlo en stock nos permitirá disminuir los tiempos de paradas de la producción.

ABSTRACT

Today's heavy machinery has sensors which optimize tasks related to engine efficiency. Sensors are used to transmit a certain value to the control unit. In this way, the fuel supply is regulated so that the engine always operates optimally. If one of the sensors has a failure, it does not emit any value or incorrect values, the control unit misinterprets this data, affecting the engine power.

The objective of this research is to determine to what extent sensory disconnection influences the power of the Cat C7 internal combustion engine. In this research project the descriptive method was used. In the tests, the Cat C7 engine was used which worked in stall conditions in the 950H Front Loader of the Tecsup Private Institute No. 1 Trujillo subsidiary. The Electronic Technician Caterpillar diagnostic software was also used whose Data Log Recorder tool allowed us to collect information about each test that was organized and processed to obtain the conclusions of this research. The first test, called «design operation», was carried out with the connection of all the sensors; the other 10 tests, called «sensory disconnection», were carried out by disconnecting a different sensor per test. The results show that the atmospheric pressure sensor reduces the engine power by 10 %, the injector injection pressure sensor reduces the engine power by 100 %, the intake air temperature sensor reduces the engine power by 2 % and the rest of the sensors do not reduce the engine power. In conclusion, the sensor that affects the reduction of engine power the most is the injector injection pressure sensor and it is important to highlight that having it in stock will allow us to reduce production downtime.



Palabras Claves

Anulación sensorial, motor Cat C7, potencia, rendimiento, calado.

Key words

Sensory override, Cat C7 engine, power, performance, stall.

INTRODUCCIÓN

Dejar de producir un día en la minera Las Bambas ocasiona pérdidas de US\$ 9,5 millones según la Sociedad Nacional de Minería, Petróleo y Energía (SNMPE). Tomemos, por ejemplo, un cargador frontal que trabaja a \$ 200,00 / hora y con dos camiones de cangilones a \$ 100,00 / hora cada uno. Con 10 horas de trabajo por día, este equipo en conjunto genera \$ 4000,00 en ingresos diarios. Ahora, suponga que el cargador se detiene por falla del sensor de presión de inyección del inyector y que el mantenimiento tarda tres días en resolverse. En este escenario, el menor monto de facturación es de \$ 12 000,00 al final del mes, sin mencionar las paradas de otras máquinas, molestias de obras demoradas y el costo de mantenimiento. Por tanto, es importante destacar que tener en *stock* el sensor de presión de inyección del inyector nos garantiza el buen estado y funcionamiento de la maquinaria a costos mucho menores.

Los sensores son dispositivos que forman parte de los vehículos en la actualidad. Su principal función es monitorear todas aquellas condiciones de tipo operativas del vehículo, e igualmente hacer la transmisión de datos a la computadora, tanto si se encuentran funcionando bien todas las partes del vehículo como además si hay fallas o averías en el mismo.

El motor Caterpillar C7, trabajando en condiciones de cargas, con todos sus sensores conectados simultáneamente, desarrolla su potencia según los parámetros de diseño, el cual está orientado a buscar la mayor posible, disminuyendo esta y, por ende, la productividad de la maquinaria cuando uno de sus sensores deja de enviar información.

La información recibida por la computadora es procesada según el mapeo de diseño. Esto permite lograr un acercamiento a la relación estequiometría de la combustión (14,5:1) y se refleja en el tiempo de inyección del combustible.

Por estas razones, el **objetivo** de nuestra investigación fue el siguiente: determinar por el método de anulación de señales el sensor que afecta en mayor medida la potencia del motor Cat C7 en el régimen de calado.

FUNDAMENTOS

El sistema de inyección electrónica en el motor es el encargado de administrar la dosificación de combustible. Está provisto de diferentes elementos para cumplir su función. El sistema de inyección utiliza las señales obtenidas por los sensores, las compara con los parámetros del módulo de control electrónico y las controla a través de los actuadores. Esto significa que la computadora realizará pequeños ajustes en diferentes partes del motor y sistemas para ajustarse a las distintas condiciones de trabajo.

«En los motores diésel la relación estequiométrica aire/combustible es de 14,5:1, es decir, para quemar 1 gramo de diésel, se necesitan 14,5 gramos de aire» [5], logrando de esta manera la combustión completa de todo el combustible inyectado y por lo tanto mejorando la potencia del motor. Al respecto, «La computadora del motor recibe la información de todos los sensores y elabora la señal que ha de llegar al inyector, el cual debe aportar la cantidad de combustible necesaria para formar una mezcla en la proporción estequiométrica» [4].

«La cartografía o mapeo del motor impone los parámetros de funcionamiento del motor para las distintas condiciones de operación» [2]. En ese sentido, «El módulo electrónico de control vigila los parámetros del motor, generando códigos de diagnóstico de fallos de cableado, fallo de sensores, de alarmas y paradas del motor» [1]. Este mismo autor destaca que el modelo del motor usado por el cargador frontal 950h es el C7 Caterpillar y cuenta con 11 sensores.

DIAGRAMA BÁSICO DE UN ECM

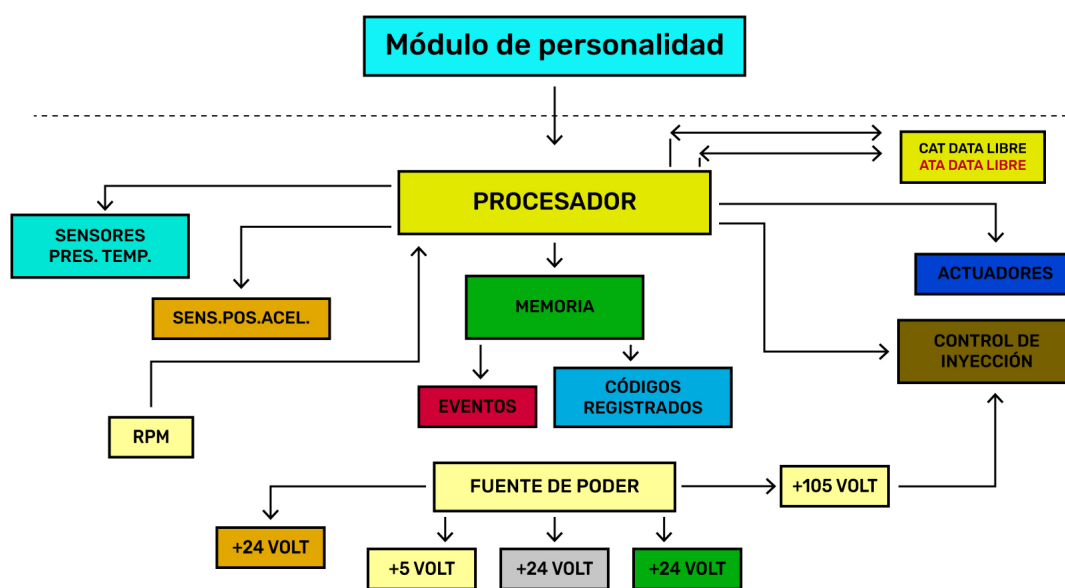


Figura 1. Diagrama básico de un ECM

Fuente: Elaborado por Caterpillar.

«Cabe recordar que el equipo debe ser calado para simular que el equipo está en operación real» [3]. El calado se conoce como la acción del paro repentino o de la reducción de ritmo en el giro de un motor de combustión interna de forma accidental.

El motor Caterpillar C7, trabajando en condiciones de cargas de operaciones (calado) con todos sus sensores conectados

simultáneamente, desarrolla su potencia según los parámetros de diseño (mapeo), variando su potencia cuando uno de sus sensores deja de enviar información.

En el presente gráfico, podemos evidenciar que, cuando el motor trabaja según condiciones de diseño (con todos sus sensores), la reducción de su potencia es cero.

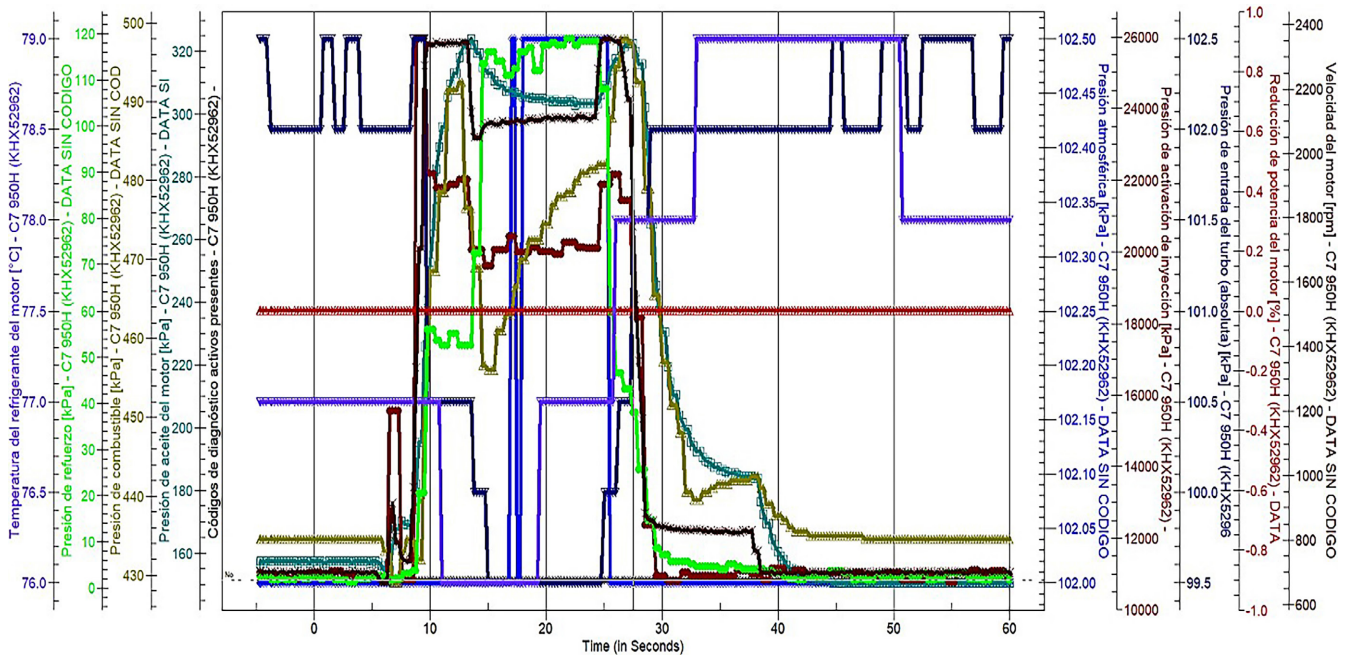


Figura 2. Gráfico de resultados del funcionamiento de sensores en régimen de calado (2200 rpm)

Fuente: Elaboración propia.

No se encontraron estudios sobre la desconexión sensorial y su influencia en la potencia del motor Caterpillar C7. El sensor de posición del pedal de aceleración no participa en esta investigación, ya que, al desconectarse el equipo, no puede ser calado.

La primera prueba se llevó a cabo con la conexión de todos los sensores a la cual llamamos «Funcionamiento de diseño», las otras diez pruebas se realizaron desconectando un sensor diferente por cada prueba a lo cual llamamos «desconexión sensorial».

Los datos de potencia del motor obtenidos en las pruebas de «desconexión sensorial» fueron comparados con los datos de potencia registrados en la primera prueba. Los parámetros tomados en las pruebas fueron los siguientes:

METODOLOGÍA

El estudio se basó en una metodología descriptiva, queriendo determinar por el método de anulación de señales el sensor que afecta en mayor medida la potencia del motor Cat C7 en el régimen de calado.

- potencia del motor (kW),
- régimen calado (2200 rpm),
- temperatura (°C),
- presión (Psi),
- velocidad (rpm).

El objeto de estudio de esta investigación es el motor Caterpillar C7 con número de serie JLX00317, que trabaja en el cargador frontal 950H de propiedad del Instituto Privado Tecsup n.º 1 filial Trujillo, el cual empleó en régimen de calado.

Para obtener la data se utilizó el software de diagnóstico Electronic Technician Caterpillar que a través de su herramienta Data Log Recorder nos permitió obtener los datos correspondientes a cada prueba.

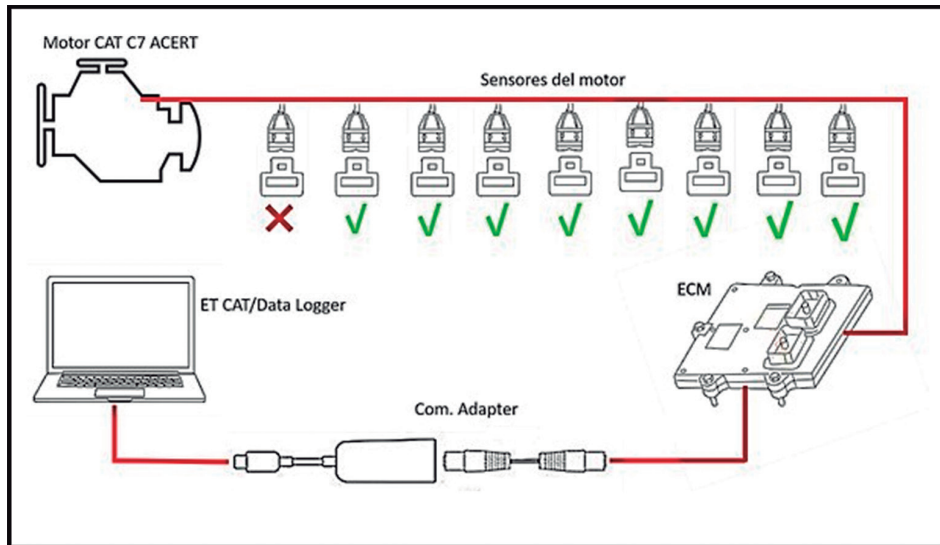


Figura 3. Gráfico del procedimiento de prueba «asincrónica».

Fuente: Elaboración propia.

1. Gráfico de resultados de la primera prueba: «Funcionamiento de diseño»

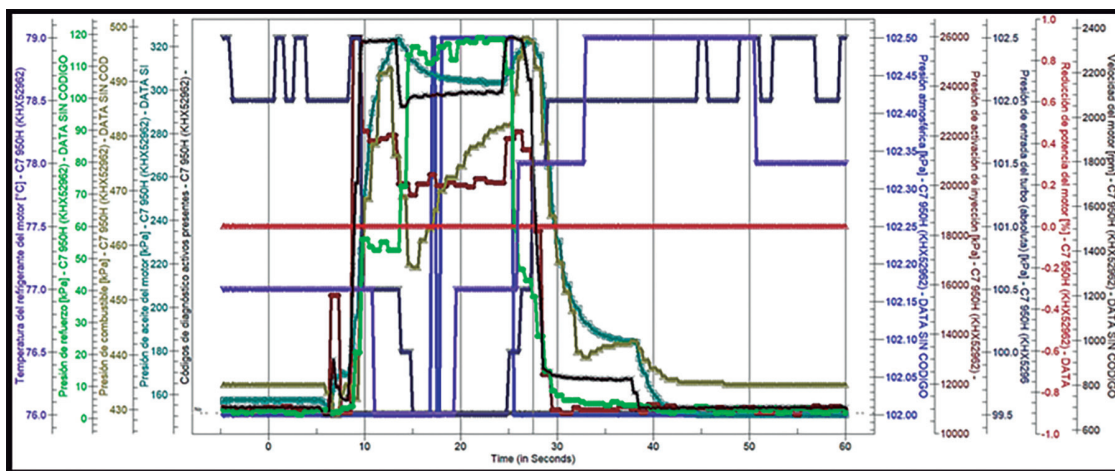


Figura 4. Gráfico de resultados de la prueba: «Funcionamiento de diseño».

Fuente: Elaboración propia.

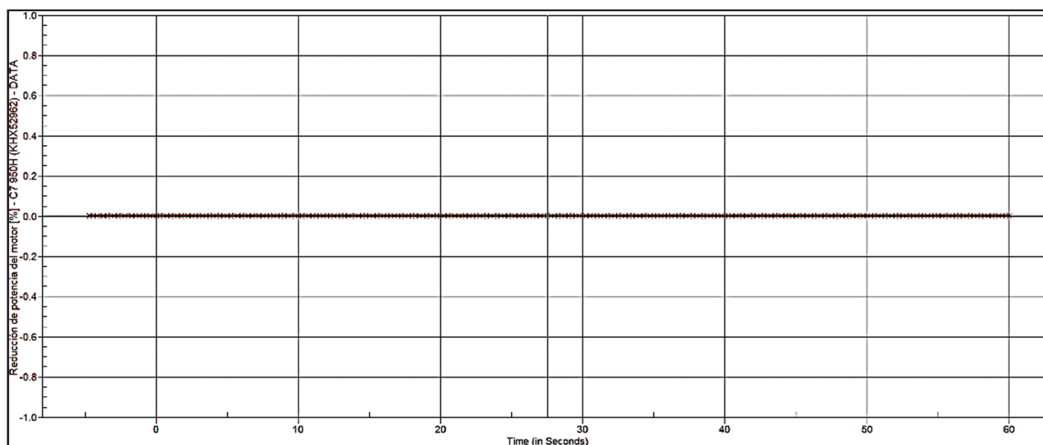


Figura 5. Gráfico de resultado de la reducción de la potencia del motor de la prueba: «Funcionamiento de diseño».

Fuente: Elaboración propia.

En el gráfico, podemos evidenciar que cuando el motor trabaja según «condiciones de diseño» (con todos sus sensores y sin código de diagnóstico activo presente, el cual aparecerá cada

vez que se desconecta un sensor), la reducción de su potencia es cero.

2. Gráfico de resultados de la prueba: «Desconexión sensorial»

2.1 Desconexión del sensor de presión atmosférica

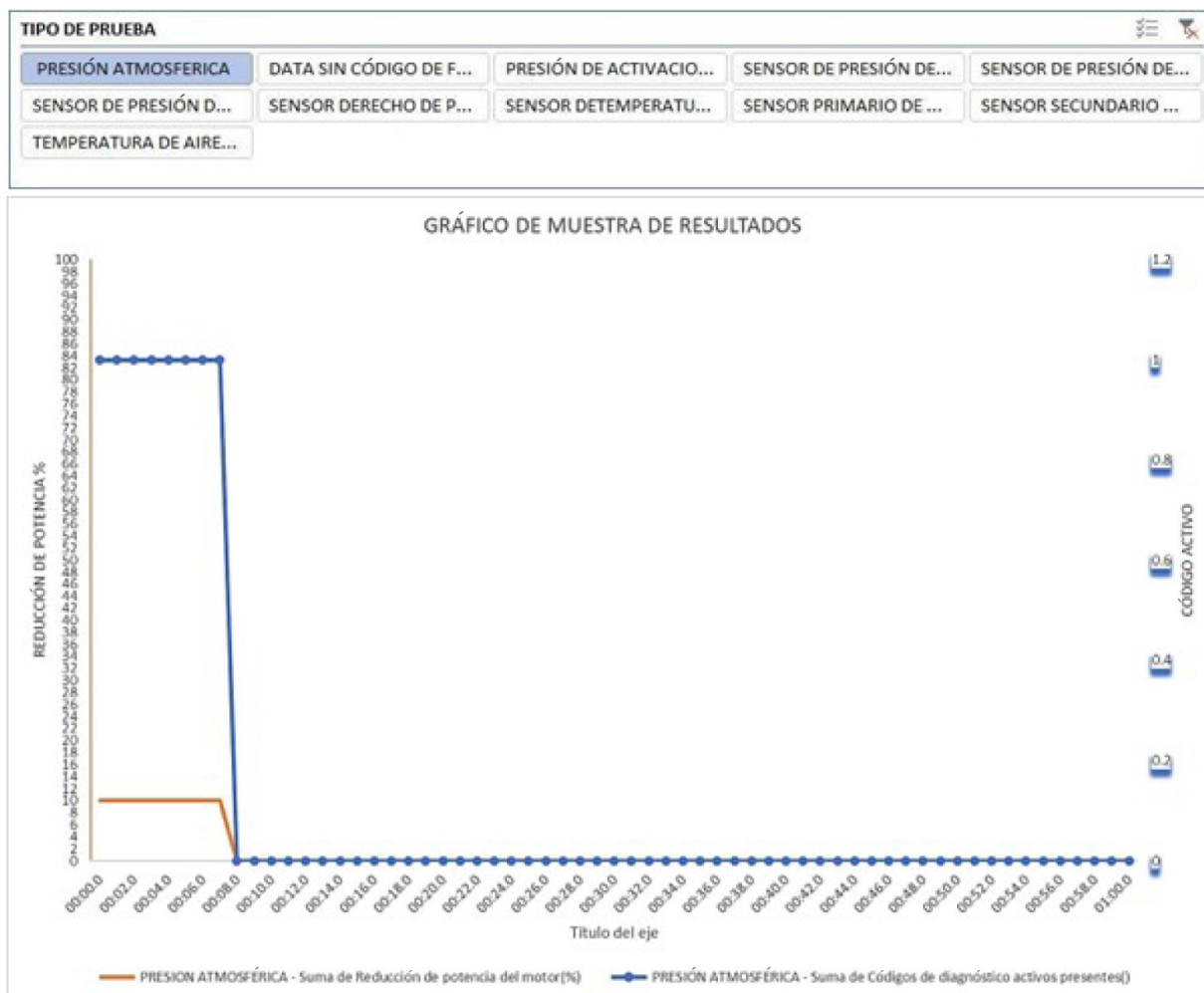


Figura 6. Gráfico de resultado de la reducción de la potencia del motor en la prueba de «desconexión sensorial» con desconexión del sensor de presión atmosférica

Fuente: Elaboración propia.

En el gráfico, se evidencia que, cuando el motor trabaja con desconexión del sensor de presión atmosférica (el *data logger* muestra el código activo «1» cada vez que se desconecte un

sensor y «0» cuando se vuelve a conectar), la reducción de su potencia es 10 %.

2.2 Desconexión del sensor de presión de activación del -

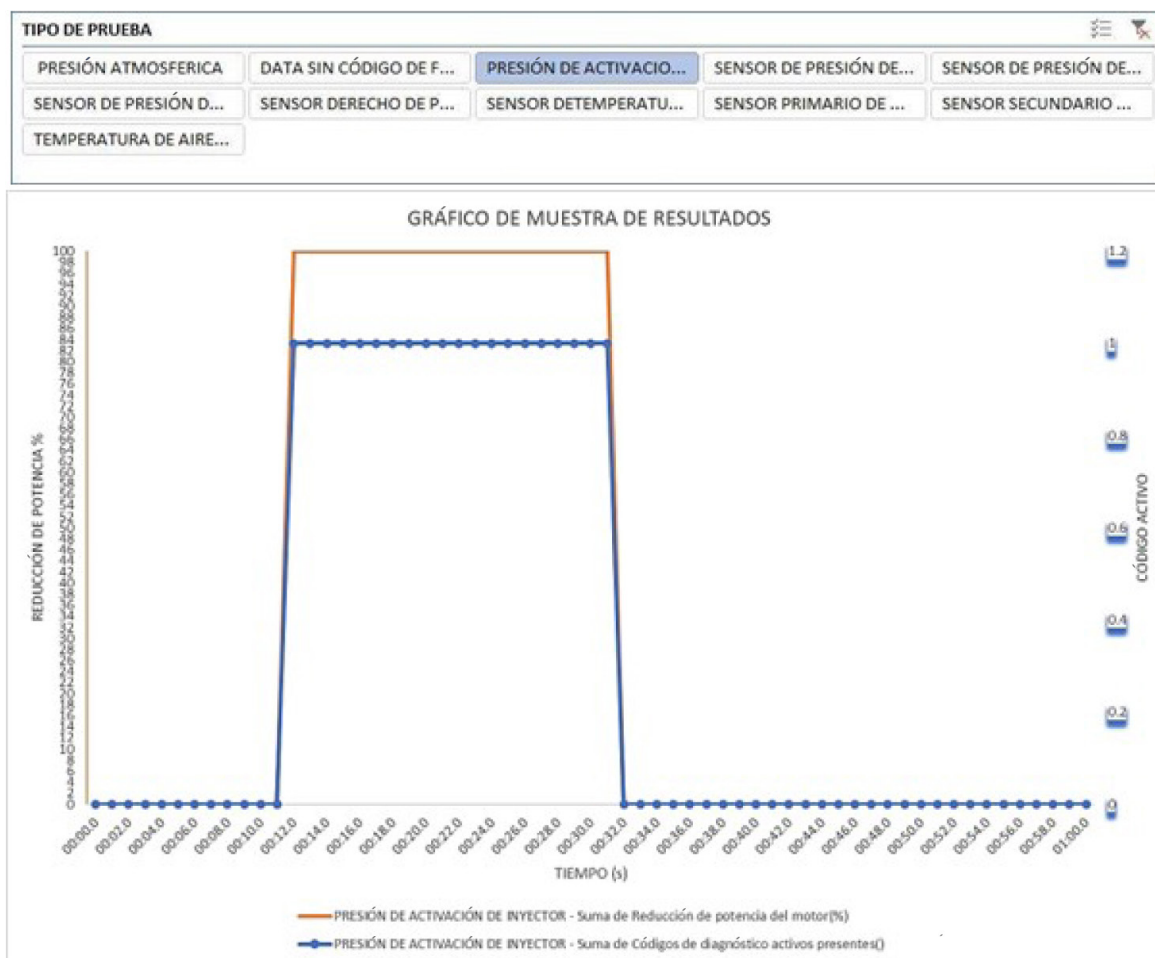


Figura 7. Gráfico de resultado de la reducción de la potencia del motor en la prueba de «desconexión sensorial» con desconexión del sensor de presión de activación del inyector

Fuente: Elaboración propia.

En el gráfico, notamos que, cuando el motor trabaja con desconexión del sensor de presión de activación del inyector (el *data logger* muestra el código activo «1» cada vez que se

desconecte un sensor y «0» cuando se vuelve a conectar), la reducción de su potencia es 100 %.

2.3 Desconexión del sensor de presión de aceite del motor

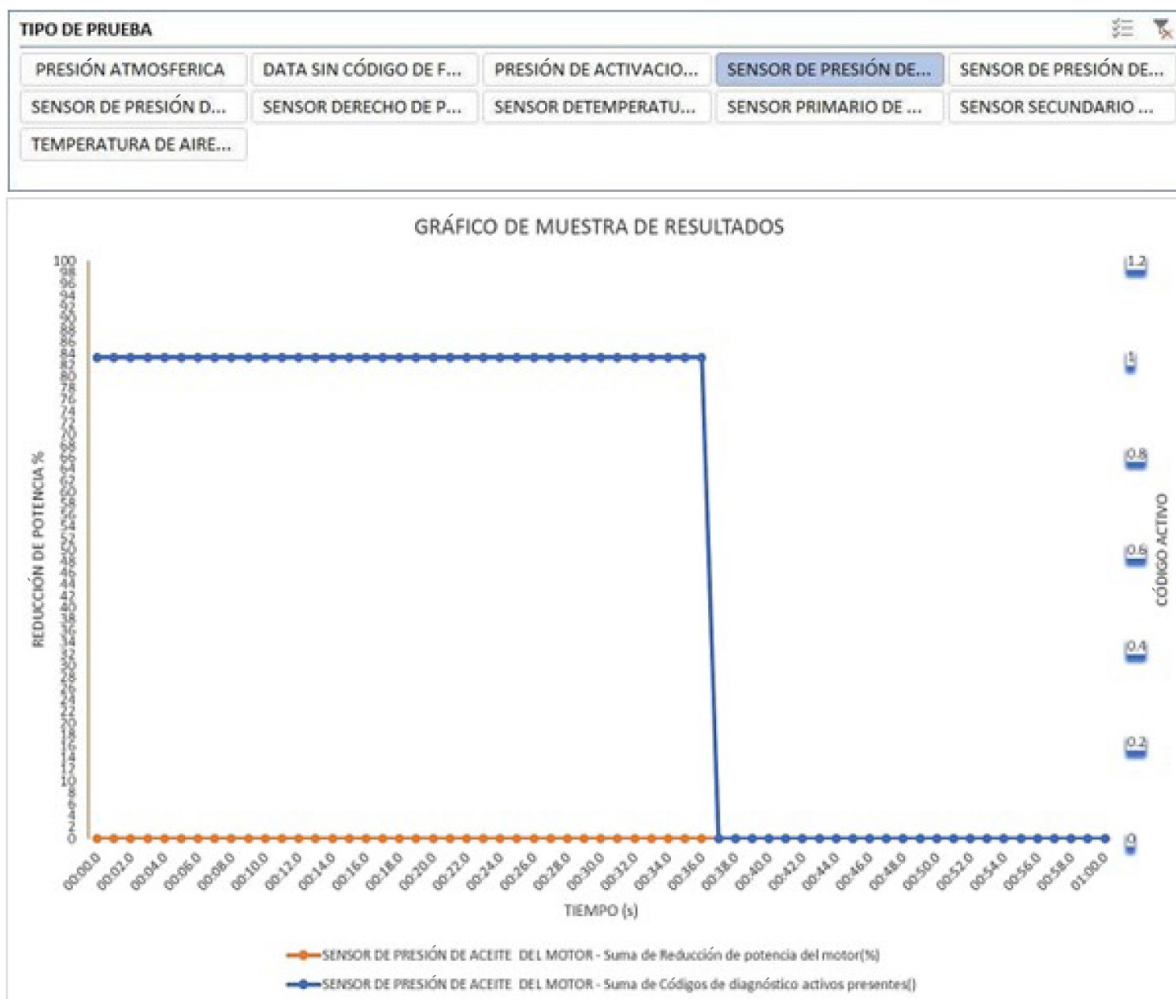


Figura 8. Gráfico de resultado de la reducción de la potencia del motor en la prueba de «desconexión sensorial» con desconexión del sensor de presión de aceite

Fuente: Elaboración propia.

En el gráfico, se observa que, cuando el motor trabaja con desconexión del sensor de presión de aceite (el *data logger* muestra el código activo «1» cada vez que se desconecte un

sensor y «0» cuando se vuelve a conectar), la reducción de su potencia es 0 %.

2.4 Desconexión del sensor de presión de combustible

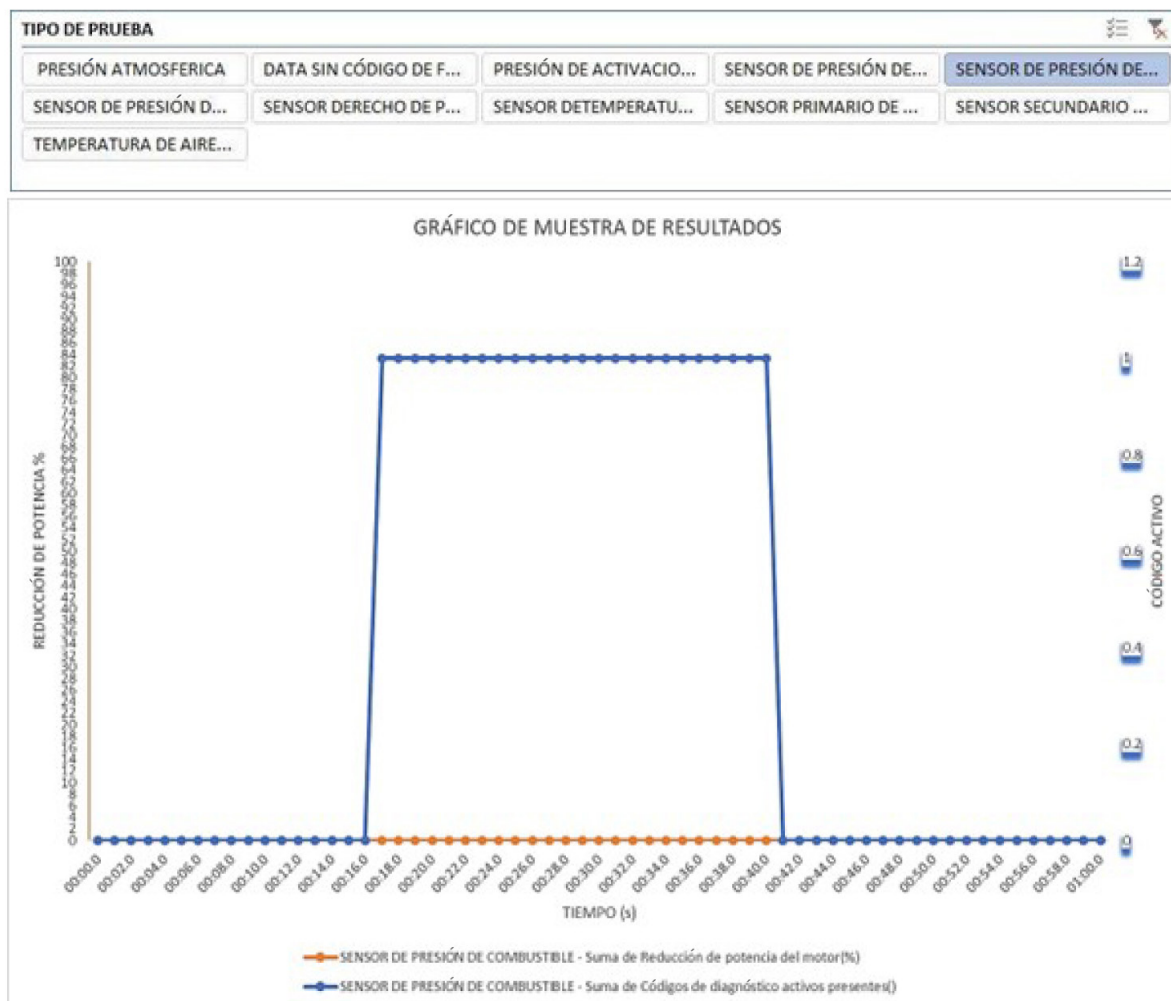


Figura 9. Gráfico de resultado de la reducción de la potencia del motor en la prueba de «desconexión sensorial» con desconexión del sensor de presión de combustible

Fuente: Elaboración propia.

En el gráfico, se evidencia que, cuando el motor trabaja con desconexión del sensor de presión de combustible (el *data logger* muestra el código activo «1» cada vez que se desconecte un

sensor y «0» cuando se vuelve a conectar), la reducción de su potencia es 0 %.

2.5 Desconexión del sensor de presión del aire de admisión



Figura 10. Gráfico de resultado de la reducción de la potencia del motor en la prueba de «desconexión sensorial» con desconexión del sensor de presión de aire de admisión

Fuente: Elaboración propia.

En el gráfico, notamos que, cuando el motor trabaja con desconexión del sensor de presión de aire de admisión (el *data logger* muestra el código activo «1» cada vez que se desconecte

un sensor y «0» cuando se vuelve a conectar), la reducción de su potencia es 0 %.

2.6 Desconexión del sensor derecho de presión de entrada al turbo

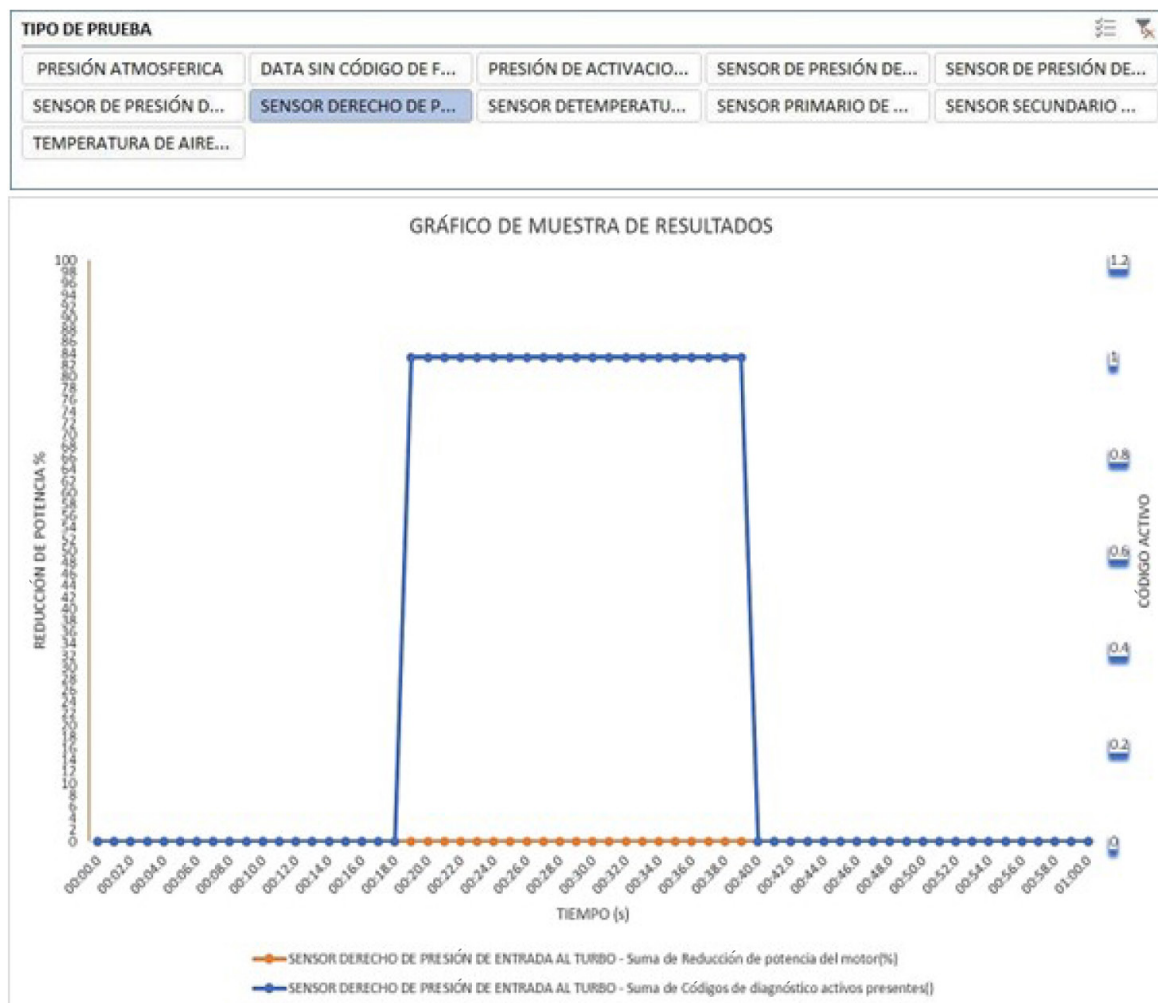


Figura 11. Gráfico de resultado de la reducción de la potencia del motor en la prueba de «desconexión sensorial» con desconexión del sensor derecho de presión de entrada al turbo

Fuente: Elaboración propia.

En el gráfico, notamos que, cuando el motor trabaja con desconexión del sensor derecho de presión de entrada al turbo (el *data logger* muestra el código activo «1» cada vez que se

desconecta un sensor y «0» cuando se vuelve a conectar), la reducción de su potencia es 0 %.

2.7 Desconexión del sensor de temperatura de refrigerante del motor

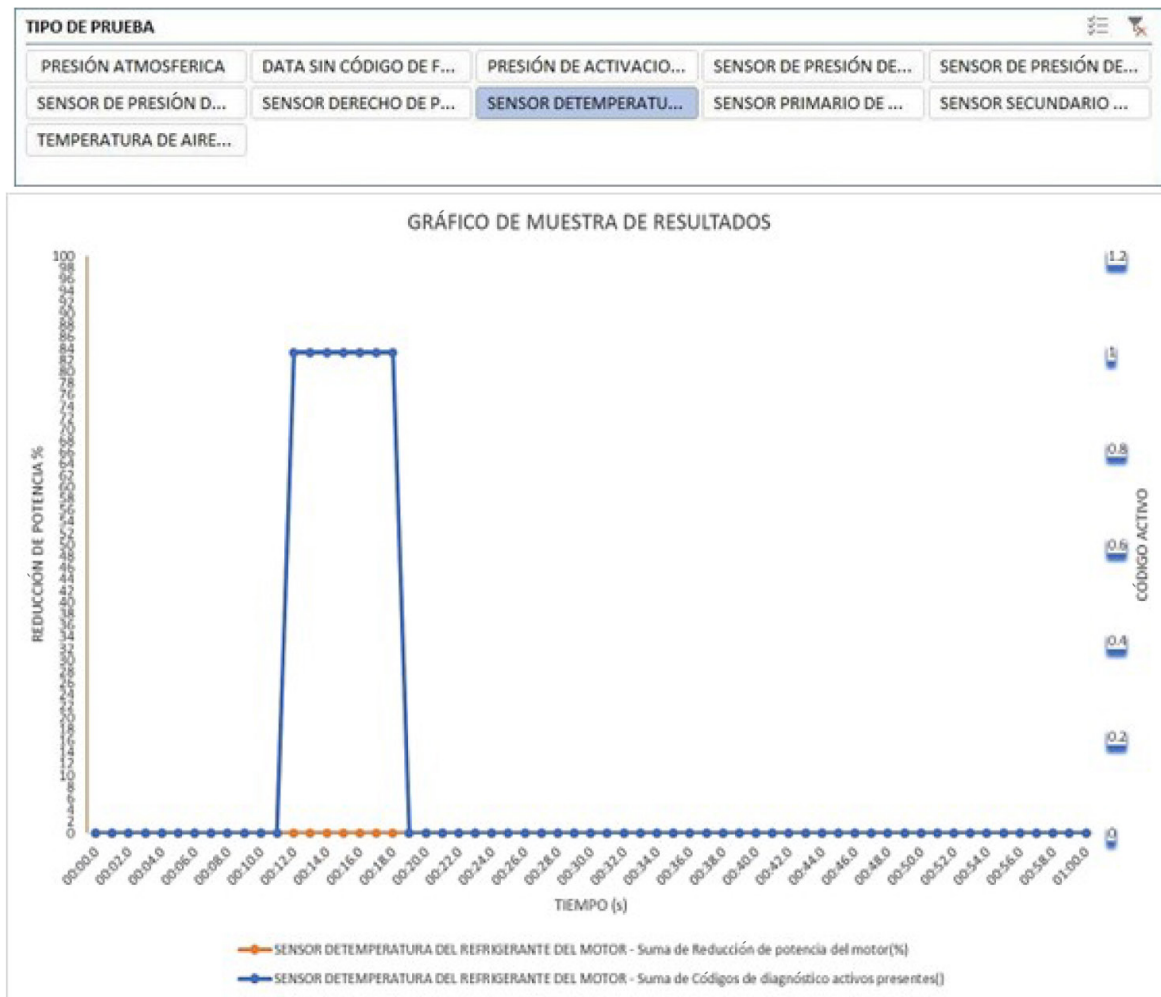


Figura 12. Gráfico de resultado de la reducción de la potencia del motor en la prueba de «desconexión sensorial» con desconexión del sensor de temperatura del refrigerante del motor

Fuente: Elaboración propia.

En el gráfico, se observa que, cuando el motor trabaja con desconexión del sensor de temperatura del refrigerante del motor (el *data logger* muestra el código activo «1» cada vez que se

desconecta un sensor y «0» cuando se vuelve a conectar), la reducción de su potencia es 0 %.

2.8 Desconexión del sensor de velocidad primaria del motor

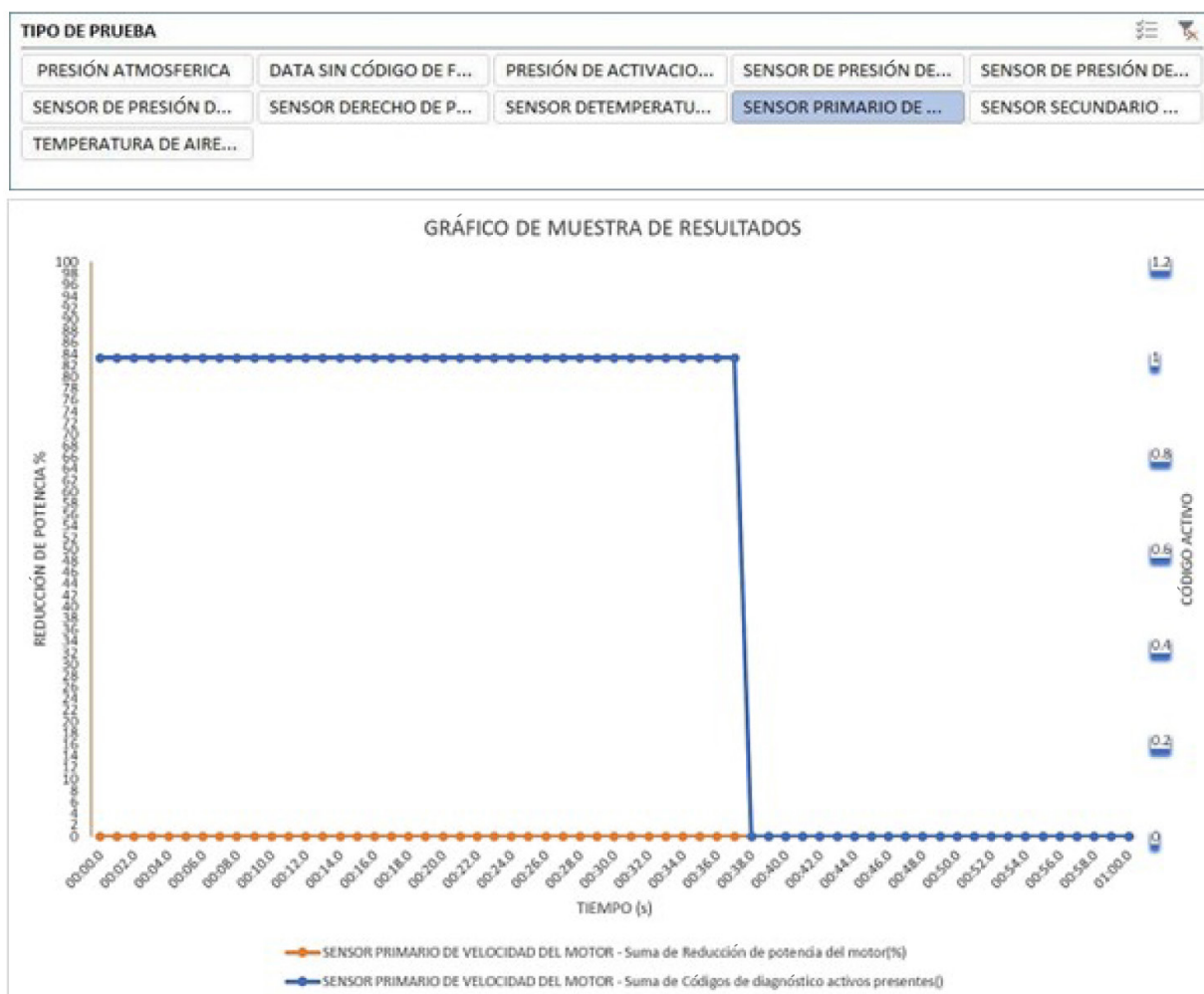


Figura 13. Gráfico de resultado de la reducción de la potencia del motor en la prueba de «desconexión sensorial» con desconexión del sensor de velocidad primaria del motor

Fuente: Elaboración propia.

En el gráfico, se evidencia que, cuando el motor trabaja con desconexión del sensor de velocidad primaria del motor (el *data logger* muestra el código activo «1» cada vez que se desconecta

un sensor y «0» cuando se vuelve a conectar), la reducción de su potencia es 0 %.

2.9 Desconexión del sensor de velocidad secundaria de motor

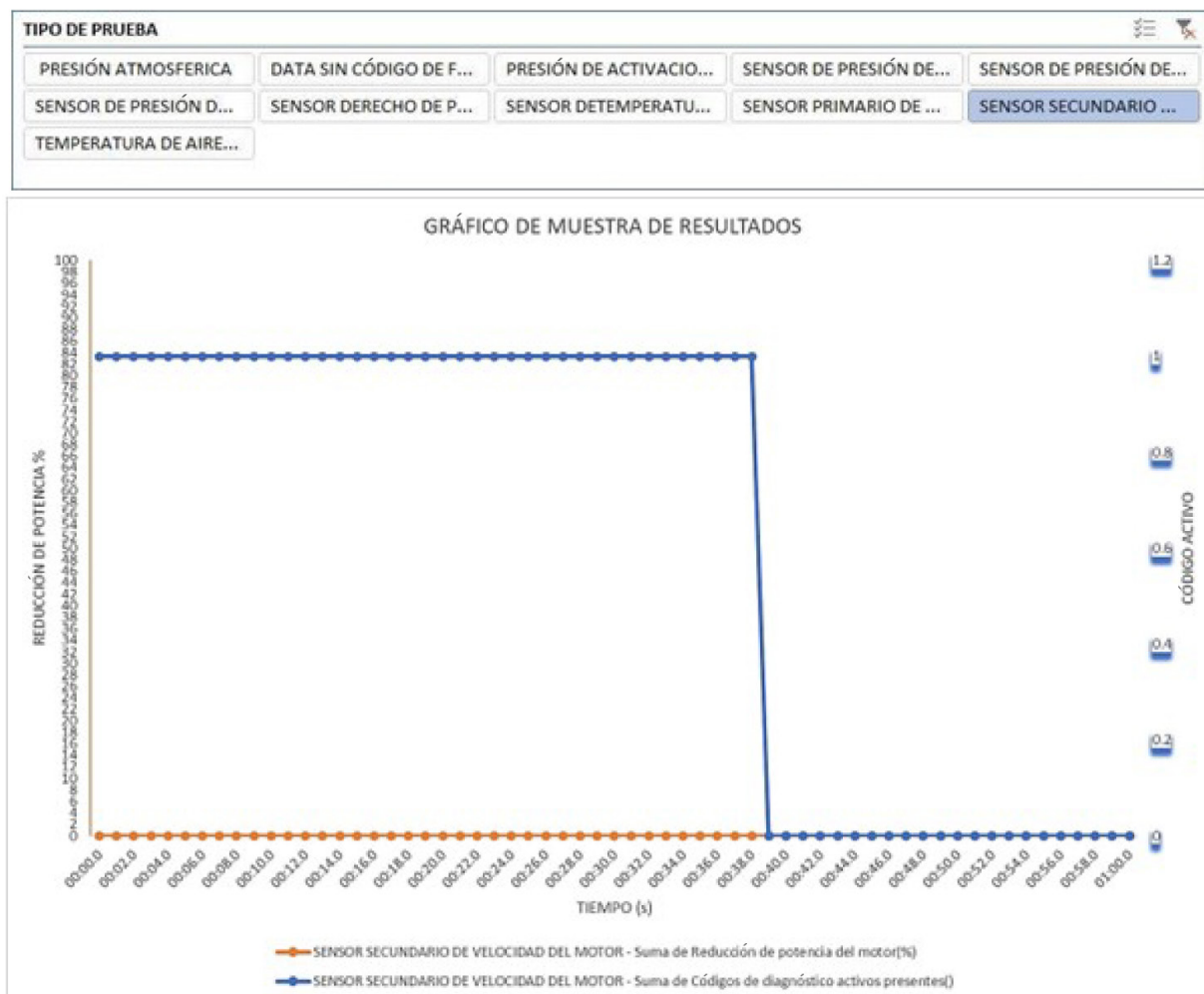


Figura 14. Gráfico de resultado de la reducción de la potencia del motor en la prueba de «desconexión sensorial» con desconexión del sensor de velocidad secundaria del motor

Fuente: Elaboración propia.

En el gráfico, notamos que, cuando el motor trabaja con desconexión del sensor de velocidad secundaria del motor (el *data logger* muestra el código activo «1» cada vez que se

desconecte un sensor y «0» cuando se vuelve a conectar), la reducción de su potencia es 0 %.

2.10 Desconexión del sensor de temperatura de aire de admisión



Figura 15. Gráfico de resultado de la reducción de la potencia del motor en la prueba de «desconexión sensorial» con desconexión del sensor de temperatura del aire de admisión

Fuente: Elaboración propia.

En el gráfico, se evidencia que, cuando el motor trabaja con desconexión del sensor de temperatura del aire de admisión (el *data logger* muestra el código activo «1» cada vez que se

desconecte un sensor y «0» cuando se vuelve a conectar), la reducción de su potencia es 2 %.

3. Evidencias del procedimiento

3.1. Maquinaria donde se realizó el trabajo de investigación



Figura 16. Cargador frontal 950H de la sede Tecsup Trujillo

Fuente: Elaboración propia.

3.2. Desconexión de sensor



Figura 17. Desconexión del sensor de presión de combustible

Fuente: Elaboración propia.

3.3. Calado del motor

Las condiciones de calado son las siguientes:

- pedal del acelerador totalmente presionado (máxima velocidad: 2200 rpm),
- forward (F) cuarta velocidad,
- pedal de freno totalmente presionado.



Figura 18. Calado del motor

Fuente: Elaboración propia.

3.4. Conexión del ET CAT



Figura 19. Conexión del ET CAT

Fuente: Elaboración propia.

3.5. Obtención de información sobre el comportamiento de los parámetros del motor a través de la herramienta «data logger» del ET CAT

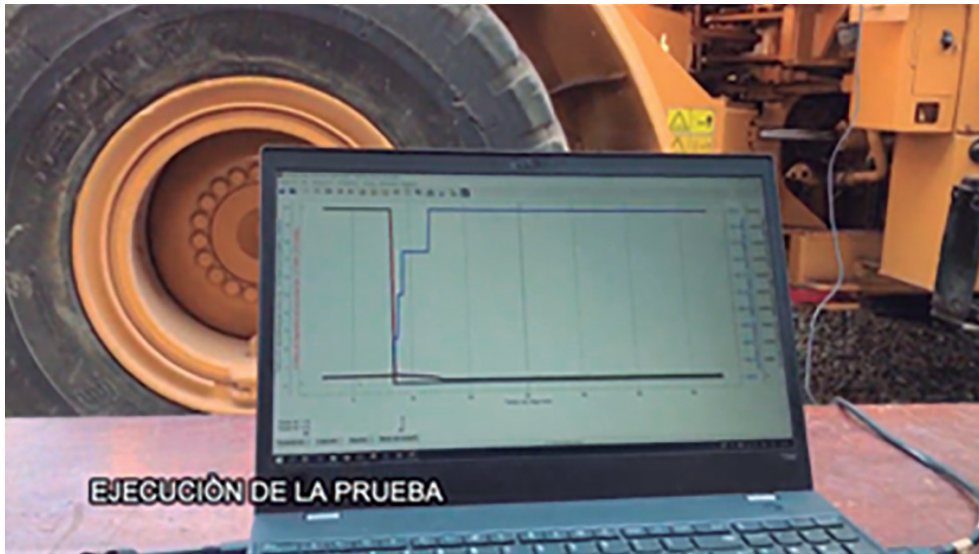


Figura 20. Obtención de información gráfica

Fuente: Elaboración propia.

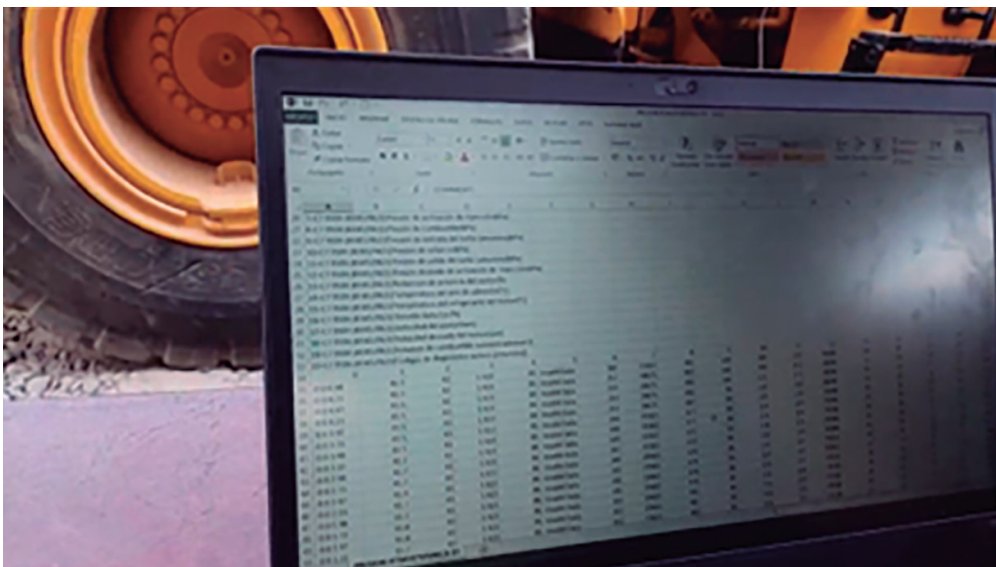


Figura 21. Procesamiento en Excel para organizar la data correspondiente

Fuente: Elaboración propia.

CONCLUSIONES

Luego de analizar los resultados obtenidos, se llegó a las siguientes conclusiones:

La desconexión sensorial causada por el sensor de presión de activación del inyector reduce la potencia del motor en un 100 %.

La desconexión sensorial causada por el sensor de presión atmosférica reduce la potencia del motor en un 10 %.

La desconexión sensorial causada por el sensor de temperatura de aire de admisión reduce la potencia del motor en un 2 %.

La desconexión sensorial causada por el sensor de presión de aceite, el sensor de presión de combustible, el sensor de presión de aire de la admisión, el sensor derecho de presión de entrada al turbo, el sensor de temperatura, el sensor de velocidad primaria del motor y el sensor de velocidad secundaria del motor no afectan en la reducción de la potencia del motor (0 %).

El sensor que más afecta en la reducción de la potencia del motor es el sensor de presión de inyección del inyector. Es importante destacar que tener en stock el sensor de presión de inyección del inyector nos permitirá disminuir los tiempos de paradas de la máquina y, por lo tanto, mejorar la producción.

REFERENCIAS

- [1] Ferreyros. (2011). Motor Industrial C7 ACERT. España. Finanzauto.
- [2] Gismero, A. (2017). *Diseño y optimización de la cartografía motor en un vehículo Fórmula SAE* [Trabajo de fin de grado]. Universidad Politécnica de Madrid. Recuperado de https://oa.upm.es/45307/1/TFG_ALEJANDRO_GISMERO_GALIATSATOS.pdf
- [3] Maqpe.com (s. f.). *Maquinaria pesada del mundo*. Recuperado de <https://maqpe.com/maquinaria-pesada/perdida-de-potencia-del-motor-diesel/>

[4] Nevot, J. (1999). *Diseño de un controlador avanzado basado en redes neuronales para la gestión de la mezcla aire - gasolina en un motor alternativo* [Tesis doctoral]. Universitat Politècnica de Catalunya. Recuperado de <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/93248/Tesis.pdf>

[5] Vargas, S., y Cardenas, J. (2014). *Repotenciación de un motor diésel e implementación a un banco didáctico para el laboratorio de la escuela de ingeniería automotriz de la ESPOCH* [Tesis de bachiller]. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

ACERCA DEL AUTOR

Wilson Jaime Saucedo León

Magíster en Ciencias de la Educación con mención en Tecnologías de la Información e Informática Educativa, licenciado en Educación, ingeniero mecánico con especialización en Software Electronic Technician, TMI y Product link. Docente tiempo completo de la carrera profesional de Gestión y Mantenimiento de Maquinaria Pesada de Tecsup sede norte y a cargo del taller de Motores de Combustión Interna.

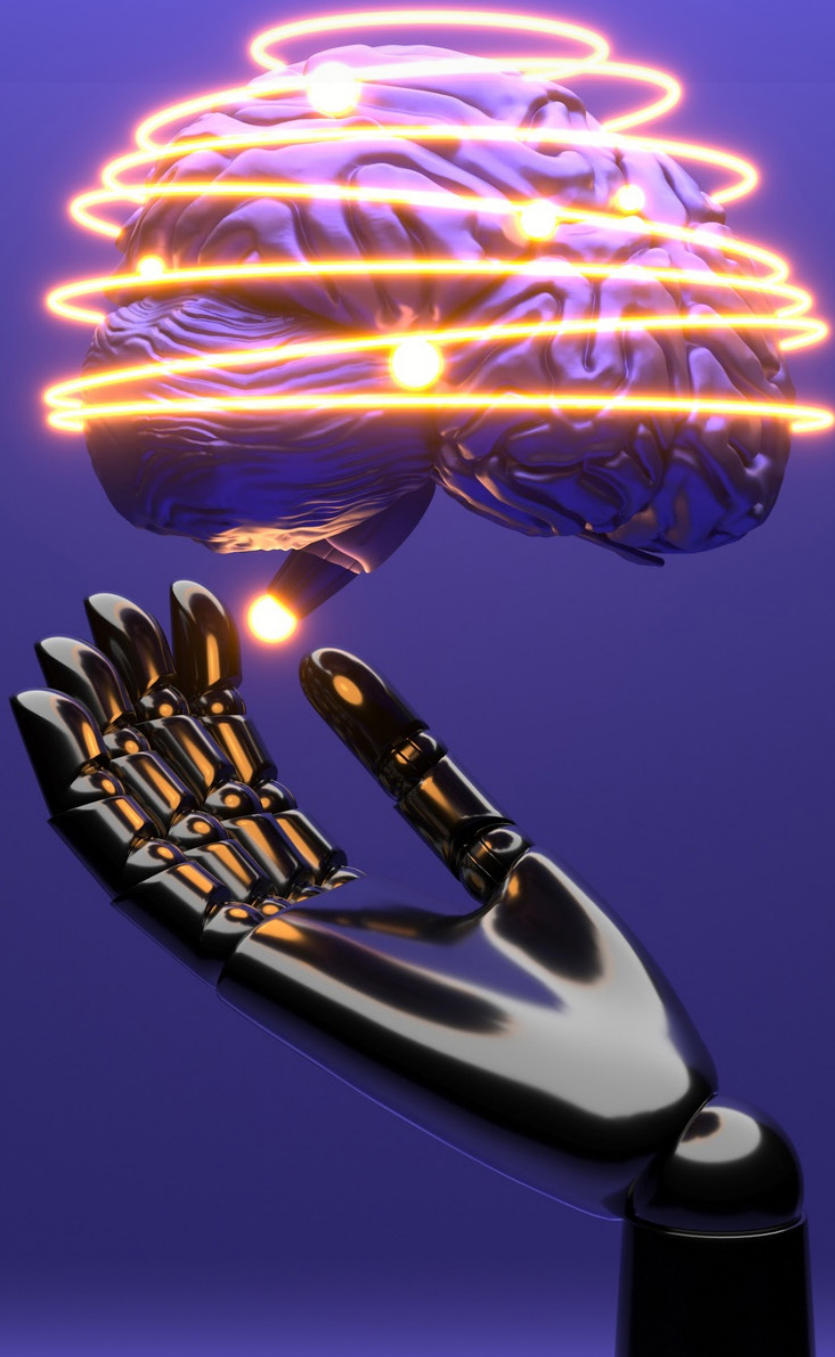
 wsaucedo@tecsup.edu.pe

Recibido: 28-05-23
 Revisado: 15-07-23
 Aceptado: 29-08-23



Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons AtribuciónNoComercial 4.0 Internacional.

Importancia de los factores asociados
a la felicidad y patrones
en la evolución de los
países que participan en el
informe mundial anual de
Gallup utilizando técnicas
de *Machine Learning*



Análisis de los factores asociados a la felicidad utilizando técnicas de *Machine Learning*

Analyzing factors linked to happiness through Machine Learning techniques

RESUMEN

El estudio tiene por objetivo identificar la importancia de los factores asociados a la felicidad y encontrar patrones en la evolución de los países que participan en el informe mundial anual de la felicidad de Gallup utilizando técnicas de *Machine Learning*. Metodológicamente, la investigación fue de tipo aplicada, de nivel explicativo y de diseño no experimental longitudinal (2008-2022). La metodología de trabajo utilizada es CRISP-DM (Cross Industry Standard-Data Mining). En la imputación de datos faltantes, se utilizaron técnicas de series de tiempo, asumiendo que cada factor para un determinado país era una serie de tiempo univariada. Para identificar la importancia de los factores asociados a la felicidad, se generó la variable dependiente nivel de felicidad a partir de la variable continua felicidad y se propusieron tres niveles: alto, medio y bajo. Durante el análisis exploratorio de datos, se encontró que los países con nivel alto de felicidad son más sensibles a los factores bajo estudio. La aplicación de técnicas basadas en árboles de decisión para clasificación obtuvo un *accuracy* promedio de 0.80 y que las variables eran significativas; las tres principales ordenadas por importancia para explicar el nivel de felicidad eran: PBI per cápita, esperanza de vida al nacer y red de apoyo. Estos resultados coinciden con la regresión por mínimos cuadrados con efectos fijos planteada por Gallup, salvo en el orden del segundo y tercer factor. Respecto a los patrones en la evolución de la variable felicidad, se seleccionaron a los países que participaron en los últimos diez años; se aplicaron diversas técnicas para determinar el número de conglomerados y se establecieron cuatro grupos para el análisis de *clustering*, los resultados muestran que los primeros tres grupos mantienen o mejoran su nivel de felicidad en tanto que el cuarto grupo lo desmejora.

ABSTRACT

This study aims to identify the importance of factors associated with happiness and to find patterns in the evolution of the countries that participate in the Annual world happiness report of Gallup using Machine Learning techniques. This is a longitudinal non-experimental and explanatory research of applied method (2008-2022). The work methodology used is CRISP-DM (Cross Industry Standard-Data Mining). For data imputation purposes, time series techniques were used assuming that each factor per country was a univariate time series. To identify the importance of happiness-associated factors a dependent variable level of happiness was generated from the continuous happiness variable and three other levels were proposed: high, medium, and low. During the exploratory data analysis, it was found that countries with a high level of happiness are more sensitive to the study factors. Through the decision tree model there was an average accuracy of 0.80 and three significant variables listed in order of importance: GDP per capita, life expectancy at birth and support networking. These results match with the regression by least squares with fixed effects proposed by Gallup, except in the order of the second and third factor. As for the patterns in the happiness variable evolution, the countries that participated in the last 10 years were selected, a range of techniques were applied to determine the number of clusters, and four groups were established for the clustering analysis. The results show that the first three groups maintain or improve their level of happiness while the fourth group deteriorates it.



Palabras Claves

Felicidad, Machine Learning, limpieza e imputación de datos, clasificación, árboles de decisión, modelos ensamblados, clustering.

Key words

Happiness, machine learning, cleaning and data imputation, classification, decision trees, ensemble models, clustering.

INTRODUCCIÓN

La felicidad es un concepto multidimensional presente en diversos contextos, el Diccionario de la Real Academia de La Lengua Española lo define del siguiente modo: «Estado de grata satisfacción espiritual y física» [1].

Para Lopez Otin, desde el punto de vista genético, la felicidad es el resultado último del equilibrio molecular, el cual se expresa como la relación entre las condiciones genéticas inherentes a las personas y el contexto ambiental en el cual se desarrollan sus actividades. Adicionalmente, con referencia a estudios sobre gemelos idénticos y estudios genéticos, indica que existen correlaciones altas que harían sospechar de la existencia de genes que predeterminan la felicidad en los humanos y propone tentativamente una fórmula genómica parcial¹ [2]:

$$\text{Felicidad} = \text{RAPGEF6 (rs3756290/rs3756290)} + \text{CSE1L (rs2075677/rs2075677)} + \text{NMUR2 (rs4958581/rs4958581)} + \text{5-HTTLPR (largo/largo)} + \text{FAAH (A/A)} + \text{VMAT2 (C/C)} + \text{ECM1 (amígdala -/-)} + \text{STMN1(amígdala -/-)} + \text{SCN9A/ZFHx2/PRDM12/NTRK1 (niveles reducidos de expresión)} + \dots$$

La felicidad también es abordada en la teoría política; Neira, en su revisión de la creación de las repúblicas a finales del siglo XVIII, que representaban un pequeño número respecto de las formas de gobierno predominantes en imperios y reinos en el mundo de ese siglo, resalta que la declaración de independencia de los Estados Unidos de América reconoce el derecho a la búsqueda de la felicidad de sus ciudadanos, y esto tendría una influencia en los países y repúblicas hasta nuestros días [3].

El mayor estudio sobre la felicidad ha sido realizado por la Universidad de Harvard, que abarca varias generaciones por más de 80 años y es la principal fuente para que su actual director, el profesor de psiquiatría Waldinger distinga entre la eudaimonia y la hedonía. La primera fue acuñada por Aristóteles y asociada al concepto de felicidad donde la persona le encuentra significado y valor a su vida; en tanto que la segunda refiere a momentos de satisfacción efímeros generados por los placeres. La principal conclusión a la que llega es que el factor preponderante para la felicidad son las buenas relaciones o cálidas, haciendo referencia a nuestra naturaleza de animal social y que explicaría también el progreso de nuestra especie. En su libro *La buena vida*, acuña el término: «*fitness social*», haciendo el paralelismo con el «*fitness físico*» en el sentido que las buenas o cálidas relaciones requieren constancia y dedicación para que se mantengan energizadas y en buen estado, también aconseja mantener siempre la curiosidad y atención en las personas para mejorar las relaciones [4].

El Reporte Anual de la Felicidad Gallup 2023 menciona que la preocupación por la felicidad en los países está presente en las agendas de política pública; esto ha generado que la Organización de Naciones Unidas declare el 20 de marzo como «Día de la Felicidad». El reto que se plantea es cómo medir la felicidad de los países a escala mundial, es decir, cómo pasar de la percepción individual, referida en los párrafos anteriores, a una escala agregada. La solución es recurrir a una encuesta sobre la base de una muestra representativa por país, donde se indague sobre el nivel de satisfacción de las vidas de las personas. En

primera instancia, el promedio general nos dará una aproximación a la felicidad del país; sin embargo, el estudio también recomienda revisar los niveles bajos de satisfacción o miseria, cuyos factores deberían ser traducidos a derechos humanos para garantizar mejoras en los niveles actuales y futuros. La influencia de las políticas de los estados tiene un efecto significativo sobre la percepción de la felicidad de sus ciudadanos, sus interacciones abarcan desde la recaudación de impuestos a la prestación de los servicios como la seguridad, la salud, la educación y la construcción de institucionalidad. El Reporte Anual de la Felicidad 2023 plantea seis factores: el ingreso (log PBI per cápita), la red de apoyo, la esperanza de vida al nacer, la libertad para hacer elecciones, la generosidad y la percepción de corrupción; se adicionaron dos factores con base en las respuestas de la encuesta: afecto positivo y afecto negativo. El estudio prueba la validación de los factores utilizando una regresión múltiple por medio de mínimos cuadrados ordinarios con efectos fijos por años, en aplicación de las técnicas de panel de datos, los resultados se presentan en la tabla 1 [5].

Tabla 1
Resultados de la regresión múltiple con efecto fijo por años

Factor	Felicidad
Log GDP per cápita	0.359 (0.067)***
Social support	2.56 (0.356)***
Healthy life expectancy at birth	0.027 (0.01)***
Freedom to make life choices	1.331 (0.297)**
Generosity	0.537 (0.256)**
Perceptions of corruption	-0.716 (0.262)***
Observaciones	1964

Nota. Los valores entre paréntesis son los errores estándar, *p < 0.1, **p < 0.05, ***p < 0.01.

Fuente: [5].

El trabajo tiene como primer objetivo utilizar las técnicas de *Machine Learning* para explorar los factores de la felicidad y su importancia desde un cambio de perspectiva. Para ello, se crea una nueva variable respuesta: el nivel de felicidad, en lugar de la variable continua, planteado en el reporte anual de Gallup. Esto permite agrupar valores y aplicar técnicas que posibiliten una mejor revisión de la relación entre los factores y, a continuación, utilizar modelos de clasificación semitransparentes como los árboles de decisión para determinar la importancia de los factores. El segundo objetivo planteado es agrupar los países por evolución en el periodo bajo estudio (2008-2022) y cuantificar el progreso del avance de la felicidad por cada uno de los grupos. Para encontrar, la similitud en la evolución de los grupos se utilizan las técnicas de *kmeans* y clúster jerárquico; y para determinar el avance o el retroceso de la felicidad, se utilizan los coeficientes de las regresiones lineales para cada país dentro de cada grupo.

¹ Los elementos de la fórmula son códigos de genes humanos.

FUNDAMENTOS

Se presentarán los conceptos y las técnicas empleadas en el desarrollo del presente trabajo: *Machine Learning*, limpieza e imputación de datos, clasificación, *clustering*, árboles de decisión y modelos ensamblados.

1. Machine Learning

Refiere a un subconjunto de técnicas de la inteligencia artificial, que, a diferencia del planteamiento simbólico, basado en reglas, presenta el paradigma de imputar datos para entrenar el algoritmo de modo que se obtengan las reglas, las mismas que pueden ser aplicadas a nuevos datos para generar pronósticos. Comparte elementos con la estadística matemática, sin embargo, plantea diferencias respecto al tamaño y complejidad de los datos y está orientado hacia la ingeniería, el subcampo de las redes neuronales tiene menos teoría matemática estadística y mucho de programación en comparación con los métodos clásicos como las regresiones lineales [6].

2. Limpieza e imputación de datos

Conforman las técnicas del análisis previo de datos; asimismo, tienen la finalidad de revisar las características de las variables e identificar los patrones de datos perdidos para proponer un esquema de tratamiento. Para los datos perdidos, se consideran, generalmente, dos técnicas que se pueden utilizar en combinación: la eliminación de los registros perdidos y la imputación de datos, aplicando alguna técnica como propagación hacia adelante y atrás de la última observación, regresiones, etcétera [7].

3. Clasificación

Es una categoría de técnicas de *Machine Learning* conocidas como aprendizaje supervisado donde las variables respuesta o dependientes son denominadas clases y presentan niveles. El modelo más básico es el que presenta dos niveles o binario, y puede extenderse a más de estos. Asimismo, las aplicaciones típicas corresponden a detectar si un mensaje de correo electrónico es *spam*, una persona es diagnosticada con cáncer, un equipo de fútbol ganará o perderá, una persona entrará a situación de impago, entre otras [8].

4. Clustering

Es una técnica de *Machine Learning* perteneciente a lo que se denomina aprendizaje no supervisado y consiste en agrupar observaciones de tal forma que cada grupo sea homogéneo, es decir, que se parezcan; en tanto que los grupos deben ser los más distintos posibles. A diferencia de las técnicas de aprendizaje supervisado, en esta no se conoce el número de grupos o clústeres que deben ser afinados por el analista. Una de las características más importantes que se debe manejar es el tipo de distancia y si es necesario homogeneizar las variables. Una de las técnicas más aplicadas al respecto es la estudentización de las variables [7].

5. Árboles de decisión

Son potentes clasificadores que utilizan la estructura de árbol para modelar las relaciones entre las características y los potenciales resultados. Su nombre deriva de la similitud a un árbol invertido donde se tiene el nodo inicial o raíz, los nodos de decisión y los elementos finales son representados por las hojas. Su estrategia corresponde a «dividir y vencer», esto porque los datos son divididos en subconjuntos recursivamente hasta que se determina que son suficientemente homogéneos conforme alguna métrica. Son una de las técnicas de *Machine Learning* más populares y con buen desempeño con datos fuera de la muestra [8].

6. Modelos ensamblados

Son métodos basados en el llamado criterio de expertos, en este caso, cada uno corresponde a un tipo de modelo, y la combinación de estos podría proporcionarnos un mejor modelo que refleje la ventaja combinada de los modelos base, el esquema es presentado en la figura 1. La función de combinación mostrada en la figura puede incluso corresponder a otro tipo de modelo y es la que asegura la adecuada gestión de las posibles discrepancias entre los modelos. Los beneficios de los modelos ensamblados encontrados en la práctica son los siguientes: mejor generalización para futuros problemas, mejora del rendimiento sobre grandes cantidades de datos. Ello porque, al interior, se desagrega la data para modelos más pequeños con técnicas como el Bootstrap, que puede utilizar las ventajas del procesamiento paralelo y la capacidad de sintetizar datos de distintos dominios y un matizado entendimiento en modelos complejos [8].

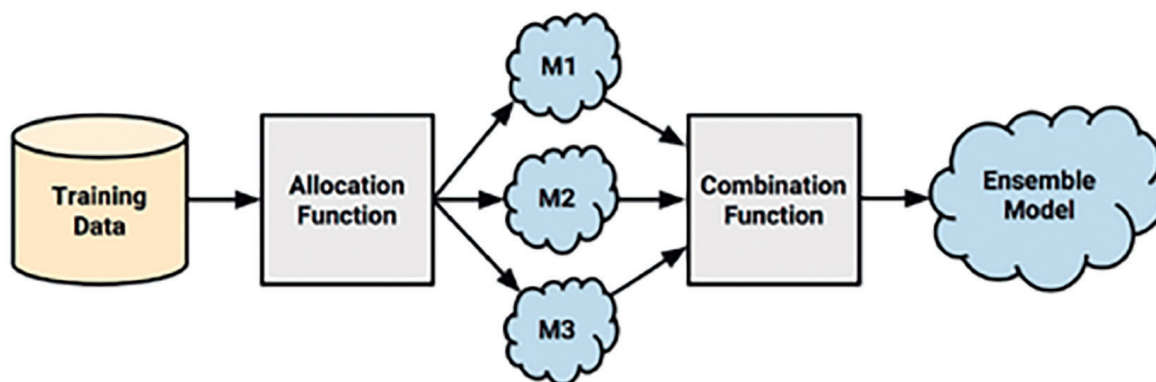


Figura 1. Esquema general del ensamble de modelos

Fuente: [8].

Existen dos esquemas generales para el ensamblaje de modelos, el primero se denomina *bagging* y consiste en generar un conjunto de *datasets* de entrenamiento utilizando Bootstrap. Estos *datasets* luego son utilizados por un conjunto de modelos de un solo tipo y la predicción final se hace combinando la votación de las predicciones de las categorías (para clasificación) o promediando las predicciones (para regresión). El segundo esquema corresponde al de *boosting* deriva su nombre del impulso que le da a los modelos previos o más débiles para hacerlos más fuertes, su estructura es similar al *bagging*, en el sentido que hace el remuestreo y la votación; sin embargo, tiene dos distinciones claves: los *datasets* son construidos específicamente para tener

modelo de aprendizaje complementarios y en lugar de que todas las predicciones o votos cuenten con el mismo peso, en esta técnica los pesos tienen como base el rendimiento previo; de esta manera, los modelos que tienen mejor rendimiento presentan mayor influencia en el modelo final [8].

Para el presente artículo se utilizaron dos implementaciones de modelos ensamblados, el *random forest* que es una utilización de la estrategia *bagging* y el *Generalized Boosted Regression Models* (GBM), que es la implementación de la estrategia *boosting* por medio del algoritmo AdaBoost. La figura 2 muestra el esquema de *random forest* y la figura 3 la de GBM [9].

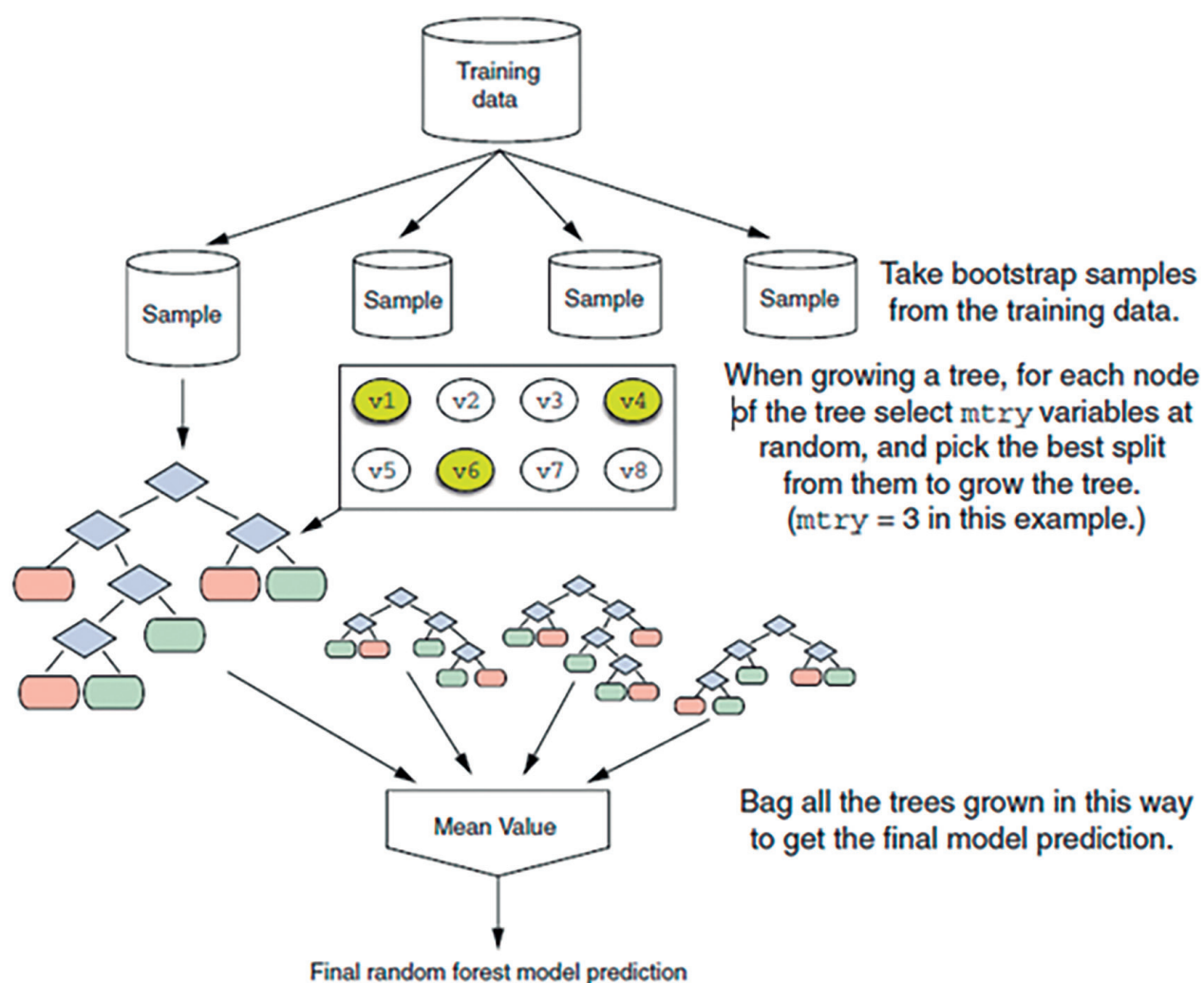


Figura 2. Esquema del modelo *random forest* (*bagging*)

Fuente: [9].

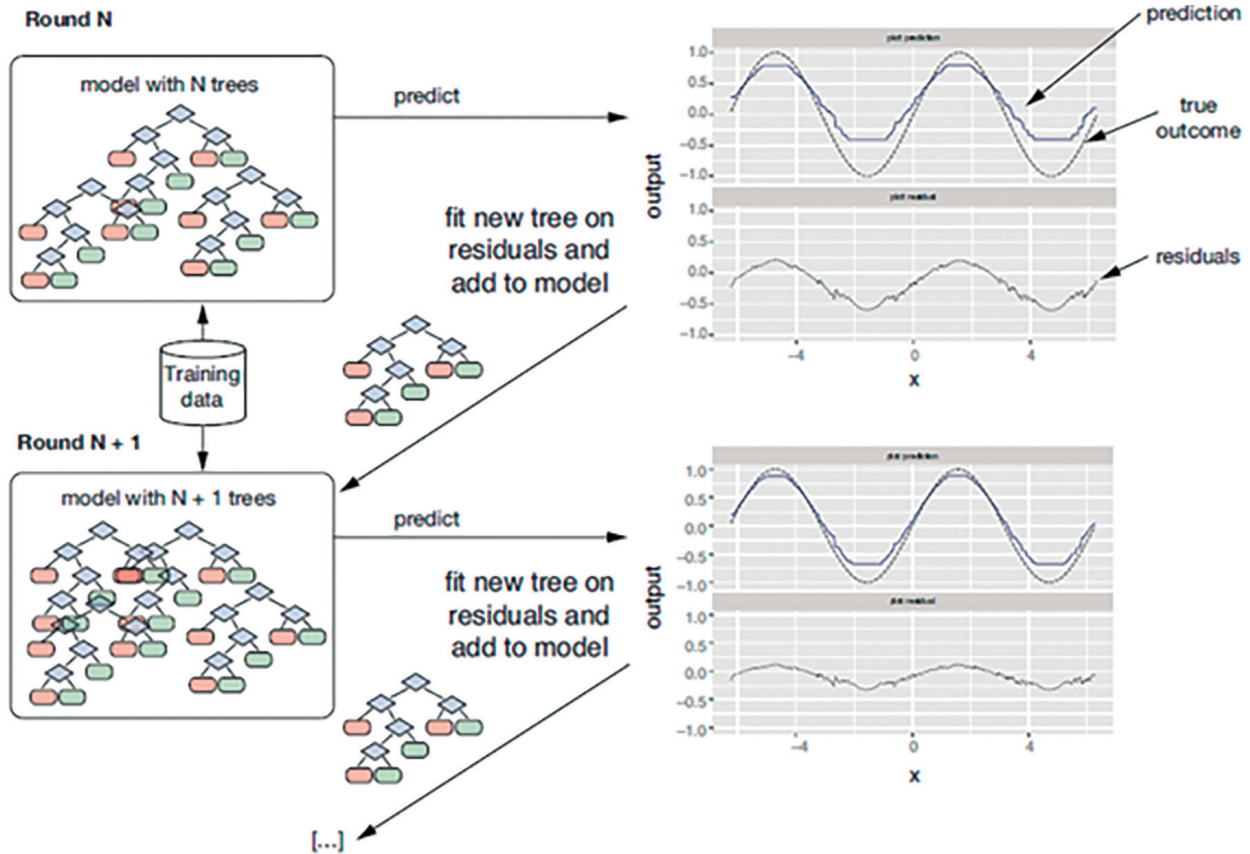


Figura 3. Esquema del modelo GBM (boosting)

Fuente: [9].

METODOLOGÍA

Se utilizó la metodología *Cross Industry Standard Process for Data Mining* (CRISP-DM) para el ciclo de iteraciones para abordar el problema [10]. Para el despliegue de las fases que le corresponden, se hizo uso de los paquetes mostrados en la tabla 2. El es-

tudio comprendió la ejecución de varios ciclos de la metodología CRISP-DM para aplicarla a los modelos de aprendizaje supervisado (clasificación de niveles de felicidad, regresiones lineales múltiples de soporte al análisis de *clustering*) y aprendizaje no supervisado (*kmeans*, jerárquico y revisión de métricas de resultados de los modelos de *clustering*).

Tabla 2
Paquetes de RStudio empleados

Paquete	Utilización
tidyverse	Manipulación de <i>dataframes</i> (<i>datasets</i>), tablas resúmenes y gráficos.
janitor	Importación de datos desde Excel y adecuación de nombres de variables.
skimmr	Estadísticas generales del <i>dataset</i> , detección de <i>missing values</i> y distribución de variables.
xts	Se utilizó para la imputación de datos asumiendo que los factores para cada país se ajustan a una serie de tiempo univariada.
caret	Modelamiento.
randomForest	Implementación del modelo <i>random forest</i> .
gbm	Implementación del modelo GBM.
ciValid	Métricas de comparación para modelos de <i>clustering</i> .
dendextend	Gráficos del <i>clustering</i> jerárquico.
purrr	Programación funcional, se utilizó para simplificar las regresiones lineales múltiples para los países.
broom	Obtención y manipulación de los resultados de las regresiones para cada país.

Fuente: Elaboración propia.

1. Fase I, entendiendo el negocio

Dado que en el estudio perseguimos dos objetivos: identificar la importancia de los factores que explican los niveles de felicidad y encontrar los patrones de la evolución de la felicidad por países, se utilizó para el primer objetivo modelos de clasificación con *random forest* y GBM, en tanto que el segundo técnicas de *clustering* con los modelos *kmeans* y jerárquico. Estos resultados se complementaron luego con la estimación de evolución de cada clúster por medio de regresiones lineales múltiples para los países que pertenecían a cada clúster.

2. Fase II, entendiendo datos

Los datos empleados provienen del Reporte Mundial de la Felicidad 2023, realizado por la consultora Gallup y de su encuesta mundial que se realiza desde 2005 donde participaron 27 países y la última de 2022 donde participaron 114 países [5].

En la revisión de datos, se encontró que algunos países no participaban en todas las encuestas y, en otros casos, estos no tenían ningún valor para algunos de los factores de la felicidad en ningún periodo; tal es el caso de China, donde la encuesta no recoge la percepción de la corrupción, por lo que no se pudo aplicar ninguna técnica de imputación de datos.

Para la selección de países, se tomaron aquellos que, a partir de 2008, tengan al menos 10 participaciones, los países que tuvieron menos participaciones en la encuesta fueron retirados del análisis (28 países).

Para la imputación de datos, se asumió que, para un determinado país, cada uno de sus factores seguía un comportamiento individual en una serie de tiempo. La imputación tuvo dos fases: en la primera, se completaron hacia adelante los datos faltantes con la última observación disponible y, en la segunda, hacia atrás con la observación más reciente. En caso de que luego de aplicadas las dos fases la serie de tiempo contuviera valores perdidos la serie y el país se retira del *dataset*, debido a que no se cuenta con una técnica sustentable para hacer la imputación. Se adoptó esta estrategia de dos fases porque, en la sección

estadística del informe de Gallup, se aplicó para las regresiones. El fundamento para duplicar valores de un año a otro es que los cambios en los factores son en general leves, una mejora podría ser aplicar una interpolación en lugar de duplicar los valores. Una posible técnica de imputación de datos para las series completas faltantes, como lo es el caso de China en corrupción, es buscar países similares y fuentes secundarias para aplicar regresiones sobre los factores, de esta manera, el factor ausente se convertiría en la variable dependiente y los demás factores en las variables independientes, aquí se puede utilizar la importancia de las variables, como se presenta posteriormente en el estudio para simplificar los modelos y el proceso de pronóstico.

Luego de aplicado la imputación y la limpieza de datos los resultados se presentan en la tabla 3, donde los datos limpios para el análisis exploratorio de datos (AED) conforman el 97 % del total de registros.

Tabla 3
Estructura de datos de la muestra

Tipo de registro	Número	%
Cargados (más de 10 observaciones desde el 2008 y con imputación por serie de tiempo)	1843	100 %
Registros con datos faltantes	50	3 %
Datos limpios para el análisis exploratorio de datos	1793	97 %

Fuente: Elaboración propia.

Respecto a la variable dependiente nuestro planteamiento, consiste en generar una nueva variable que sea el nivel de felicidad, es decir, una variable del tipo ordinal con tres niveles: bajo, medio y alto. Los valores umbrales son los terciles de la variable continua felicidad de la encuesta mundial de felicidad de todos los países participantes de la tabla 3.

La tabla 4 muestra las variables disponibles para el análisis y el modelado.

Tabla 4
Variables disponibles

Variable	Valores únicos	Descripción
country_name	131	País que participa en la encuesta anual.
year	15	Año de participación del país en la encuesta.
life_ladder	1793	Variable continua que representa la felicidad promedio por país.
level_happiness	3	Variable respuesta para nuestro estudio, con tres niveles: bajo, medio, alto.
log_gdp_per_capita	1783	Logaritmo del ingreso bruto promedio por persona en un año-país.
social_support	1784	Variable continua que representa el soporte social de una persona para poder compartir problemas y recibir apoyo, es el promedio de una variable binaria.
healthy_life_expectancy_at_birth	948	Variable continua que representa la expectativa de vida en años al nacer.
freedom_to_make_life_choices	1774	Variable continua que representa el empoderamiento de las personas en tomar sus propias decisiones.
generosity	1764	Variable continúa resultado de un residual generado con base a la pregunta si la persona donó dinero para apoyo en el último mes.
perceptions_of_corruption	1722	Variable continúa resultado del promedio nacional de pregunta sobre la corrupción en el Gobierno y en el sector privado.
positive_affect	1779	Variable continúa resultado del promedio nacional de preguntas asociadas al sonreír, disfrute y hacer cosas interesantes de las personas.
negative_affect	1783	Variable continúa resultado del promedio nacional de preguntas asociadas a experimentar preocupación, molestia o ira.

Fuente: Elaboración propia.

Fase II, entendiendo los datos por medio del análisis exploratorio de datos

Los resultados del análisis exploratorio de datos son los siguientes:

A. Evolución de felicidad por niveles

Segmentamos la evolución de los países con base en los niveles de felicidad, es decir, la variable ordinal creada con tres niveles:

bajo, medio y alto; la figura 4 presenta dicha evolución. Se aprecia que, en el caso de los países con niveles altos de felicidad, se mantienen relativamente constantes en media y dispersión, respecto a los países con nivel medio de felicidad se observa una ligera mejora y la dispersión va disminuyendo; finalmente, para el grupo de países con el nivel bajo se aprecia que el período de pandemia covid-19 los ha afectado negativamente, porque disminuyen su nivel de felicidad y adicionalmente presentan la mayor dispersión.

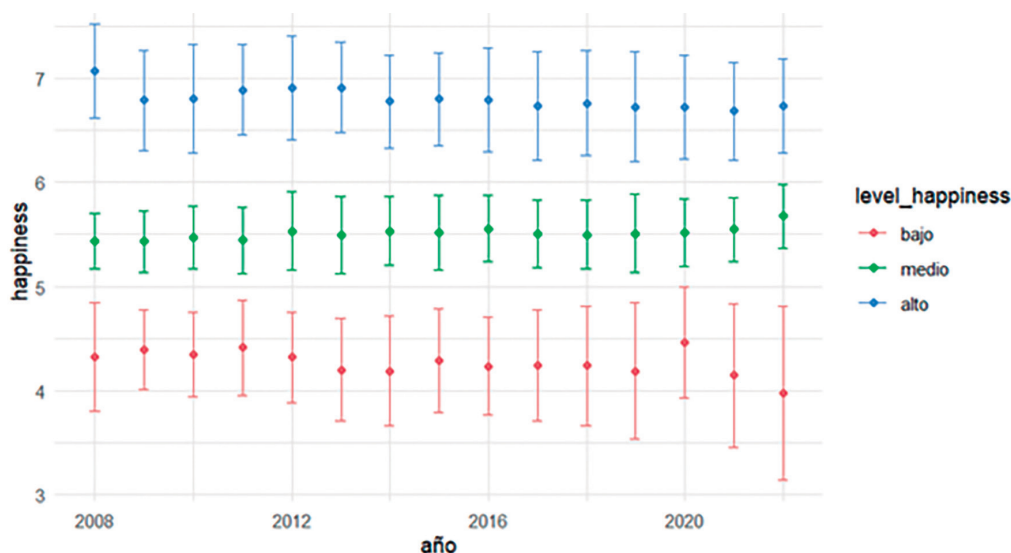


Figura 4. Evolución y dispersión de los países por niveles de felicidad, las barras representan $\pm 1S_x$

Fuente: Elaboración propia.

B. Relación de los factores versus el índice de felicidad segmentado por nivel de felicidad

A continuación, revisamos las relaciones de la felicidad por factor y segmentado por nivel de felicidad, esto nos permitirá encontrar patrones entre las variables y diferencias entre los niveles de felicidad. Utilizaremos para ello los diagramas de dispersión

y se agregará una línea de regresión lineal para determinar su tendencia.

La figura 5 presenta la relación entre el ingreso y la felicidad. Se aprecia que es más marcada en los niveles altos de felicidad, en el nivel medio la relación es la menor de los tres niveles en tanto que en los niveles más bajos presenta una relación media.

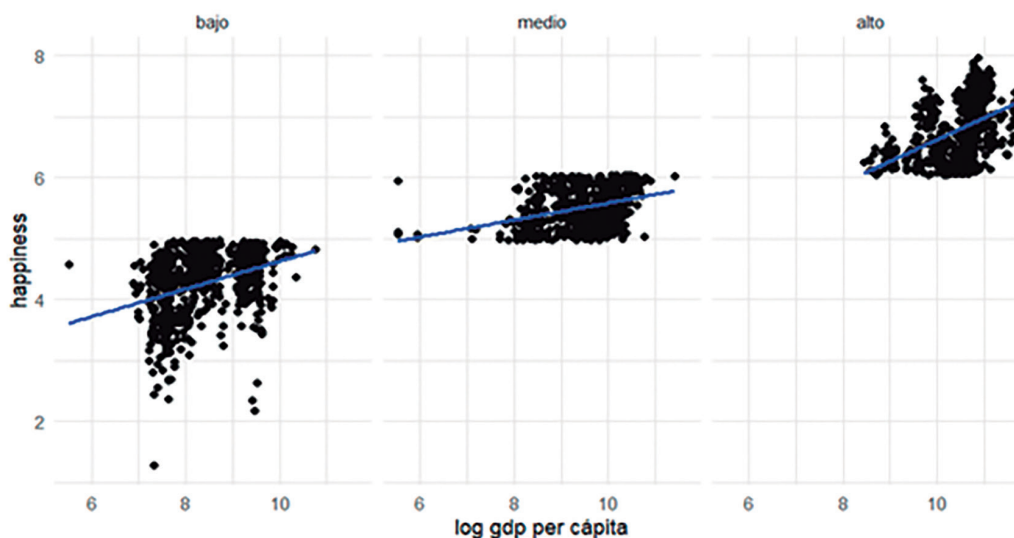


Figura 5. Felicidad vs. ingreso, segmentado por nivel de felicidad

Fuente: Elaboración propia.

La figura 6 presenta que la relación entre contar con una red social de soporte y la felicidad es muy alta en los países que tienen un alto nivel de felicidad, en tanto que en los otros dos

niveles la relación es muy similar, pero bastante por debajo del nivel más feliz.

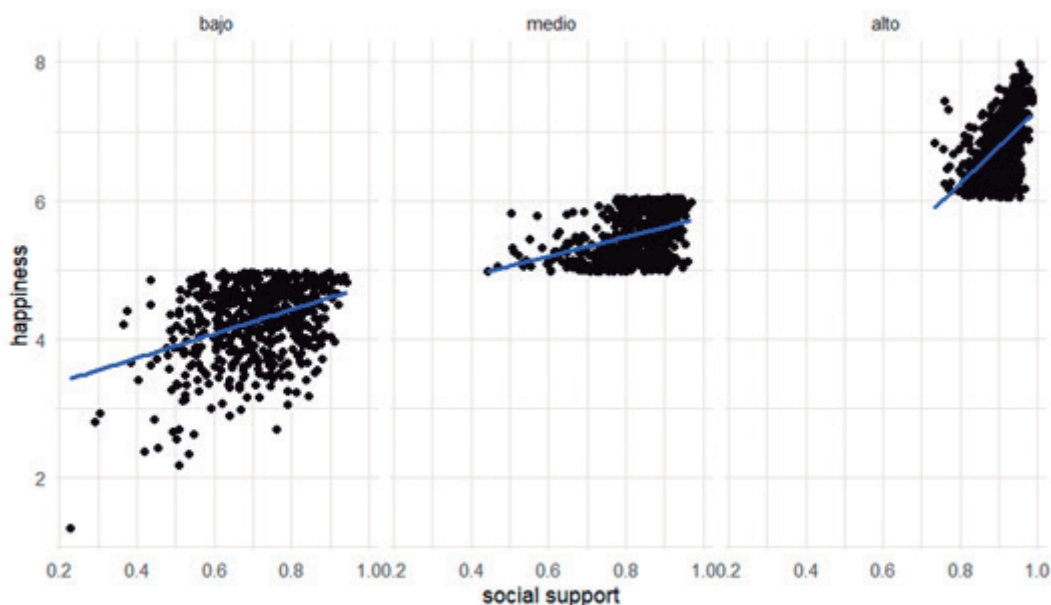


Figura 6. Felicidad vs. soporte social segmentado por niveles de felicidad

Fuente: Elaboración propia.

La figura 7 presenta un patrón similar, es decir, los países más felices presentan una mayor relación entre la esperanza de vida al nacer y la felicidad; en cambio, en los niveles bajo y medio, la

relación es muy similar. La otra diferencia que se aprecia es que la esperanza de vida, en los países con bajo nivel de felicidad, es menor y se encuentra una mayor dispersión.

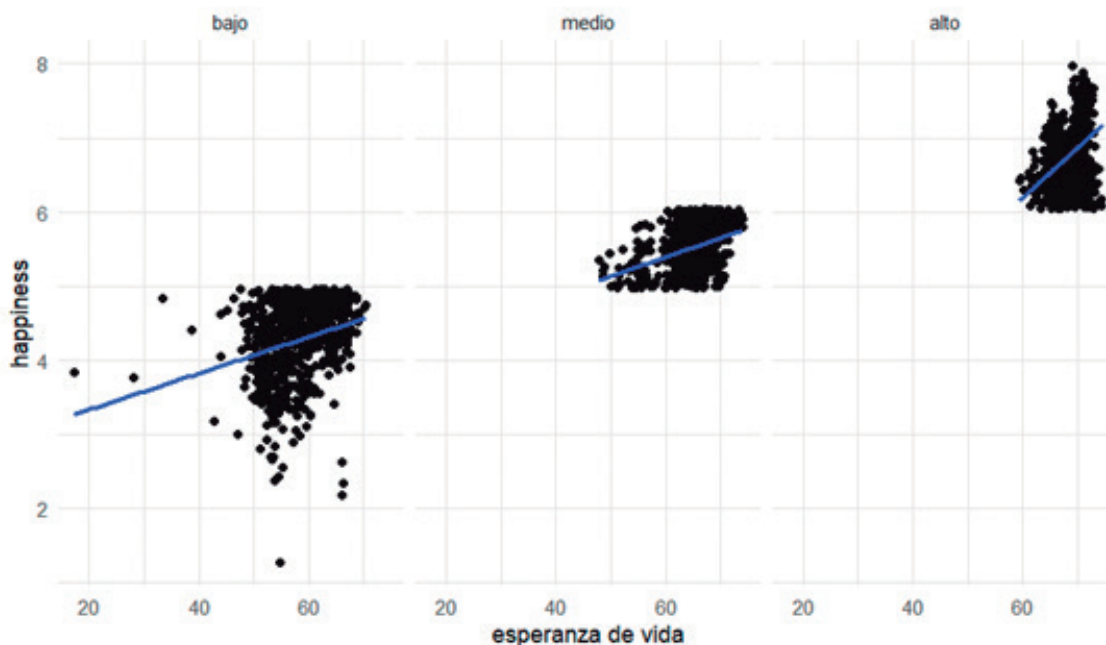


Figura 7. Felicidad vs. esperanza de vida al nacer segmentado por niveles de felicidad

Fuente: Elaboración propia.

La figura 8 presenta la relación entre percepción de la corrupción gubernamental y privada versus la felicidad. Claramente, se aprecia que, para los países con niveles altos de felicidad, la

relación es negativa; para el nivel medio, casi no presenta relación y, en cambio, para los niveles bajos hay una ligera relación positiva.

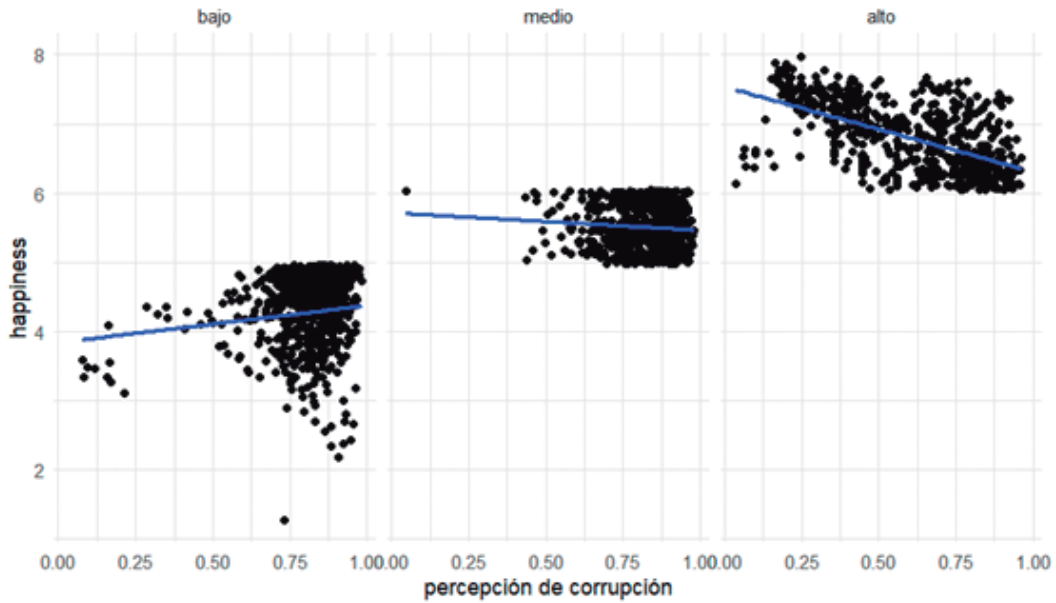


Figura 8. Felicidad vs. Percepción de corrupción segmentada por niveles de felicidad

Fuente: Elaboración propia.

Respecto a la relación entre la libertad para hacer elecciones y la felicidad, la figura 9 presenta la relación marcada en el nivel alto de

felicidad en tanto que en los otros dos niveles casi no hay relación según este gráfico.

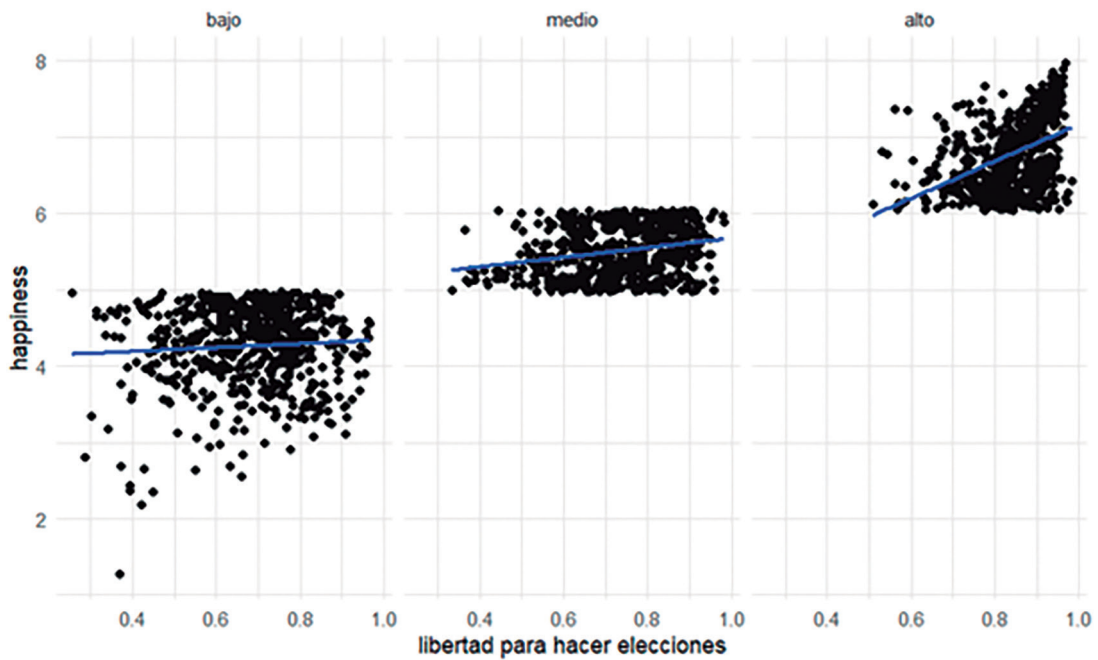


Figura 9. Felicidad vs. libertad para hacer elecciones segmentado por nivel de felicidad

Fuente: Elaboración propia.

Respecto a la relación entre generosidad y felicidad, se observa un patrón similar a los casos anteriores, es decir, relación significativa

en los niveles altos, en tanto que no se aprecia relación en los niveles bajo y medio de felicidad según la figura 10.

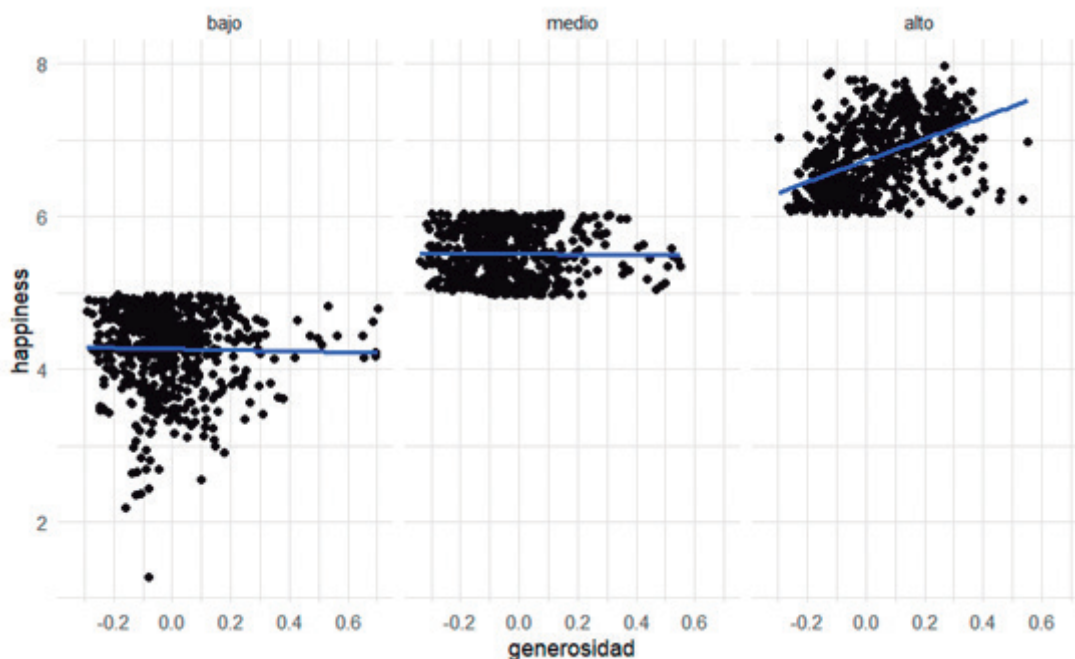


Figura 10. Felicidad vs. generosidad segmentada por nivel de felicidad

Fuente: Elaboración propia.

En la relación entre el afecto positivo y la felicidad, se encuentra una relación significativa en el nivel alto de felicidad; en tanto que en el nivel medio y bajo la relación es menor, pero muy similar, la

diferencia está en que el nivel bajo presenta mayores dispersiones según la figura 11.

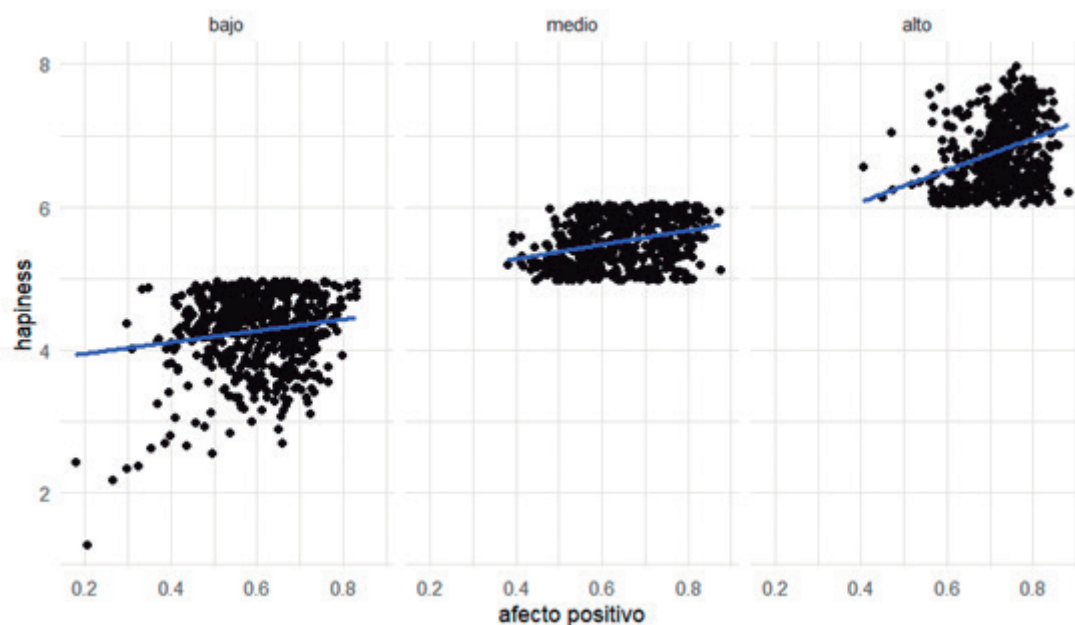


Figura 11. Felicidad vs. afecto positivo segmentado por nivel de felicidad

Fuente: Elaboración propia.

La relación entre el afecto negativo y la felicidad muestra una marcada relación negativa entre los países con niveles altos de

felicidad en tanto que en el nivel medio y bajo no se aprecia una relación, ver figura 12.

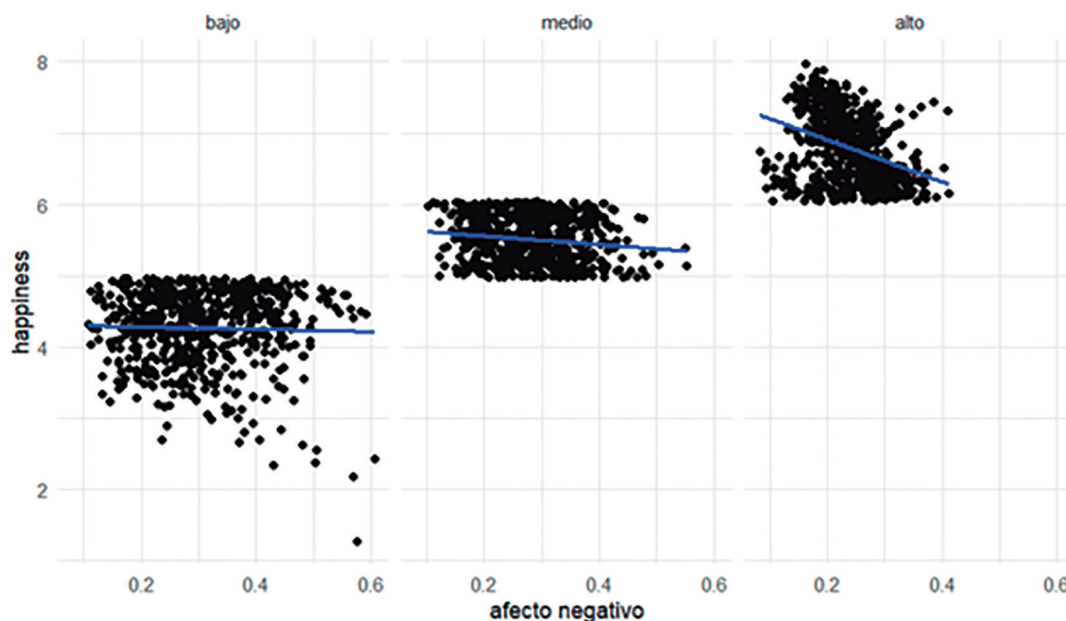


Figura 12. Felicidad vs. afecto positivo segmentado por nivel de felicidad

Fuente: Elaboración propia.

3. Fase III, preparación de datos

La metodología CRISP-DM se ha aplicado iterativamente para cada uno de los objetivos planteados en el presente estudio y sus correspondientes modelos, tenemos así:

- Para la identificación de los factores relevantes y su importancia, se imputó data con base en modelos de series de tiempo y la creación de la variable nivel de felicidad por terciles, utilizada para los modelos de clasificación basadas en árboles: *random forest* y GBM.
- Para la identificación de los patrones en la evolución de los países, se transformó el *dataset* para que cada año se convierta en una característica; luego, se normalizaron los valores antes de aplicar los métodos de *clustering*, *kmeans* y jerárquico.
- Para determinar la velocidad de la evolución, se realizaron regresiones lineales para cada país con base en los años. Esto permitió revisar en las regresiones que resultaron globalmente significativas, así como revisar y seleccionar los coeficientes del modelo que también fueron significativos. Para estas pruebas de hipótesis, se utilizó un nivel de significancia de 5 %.

4. Fase IV, modelado y fase V, evaluación

Como se indicó en el punto anterior, tenemos tres etapas de modelamiento planteadas para soportar los dos objetivos de la investigación. Para la identificación y la importancia de los factores, se proponen los modelos *random forest* y GBM; para encontrar patrones en la evolución, las técnicas de *clustering* y, para revisar la velocidad de evolución, las regresiones lineales múltiples para cada país.

A. Modelos para identificar los factores en los niveles de la felicidad y su importancia

Se utilizaron los modelos ensamblados basados en árboles, se utilizó el 0.75 del *dataset* para el entrenamiento y 0.25 para la validación de rendimiento manteniendo la proporción de los niveles de felicidad en el *dataset* de entrenamiento y en el de prueba.

Para el modelo *random forest* se utilizaron los siguientes parámetros: 500 árboles, número de variables seleccionadas para el *bagging* de 3 (equivalente a la raíz de 8, por ser el número de factores) y criterio de clasificación a Gini (impureza). La importancia de las variables se muestra en la figura 13, se observa que las tres más importantes son ingreso, esperanza de vida al nacer y contar con una red de soporte.

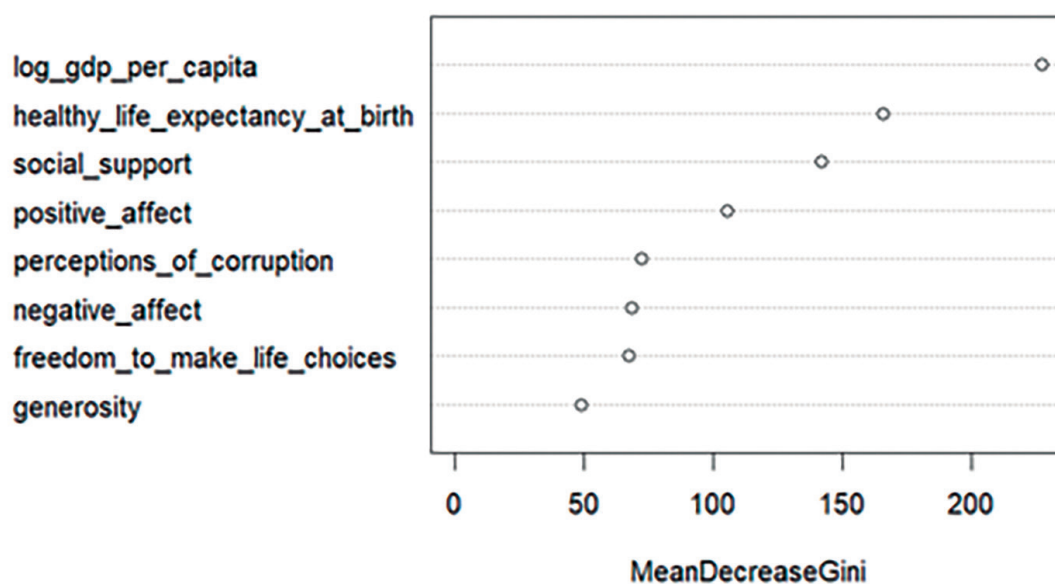


Figura 13. Importancia de variables del modelo *random forest*

Fuente: Elaboración propia.

Para el modelo GBM, se utilizaron los siguientes parámetros: distribución como «multinomial», número de árboles 500 y bag.fraction de 0.75 debido a que la muestra es mediana. La

importancia de las variables se presenta en la figura 14, las tres más importantes coinciden con el modelo *random forest*.

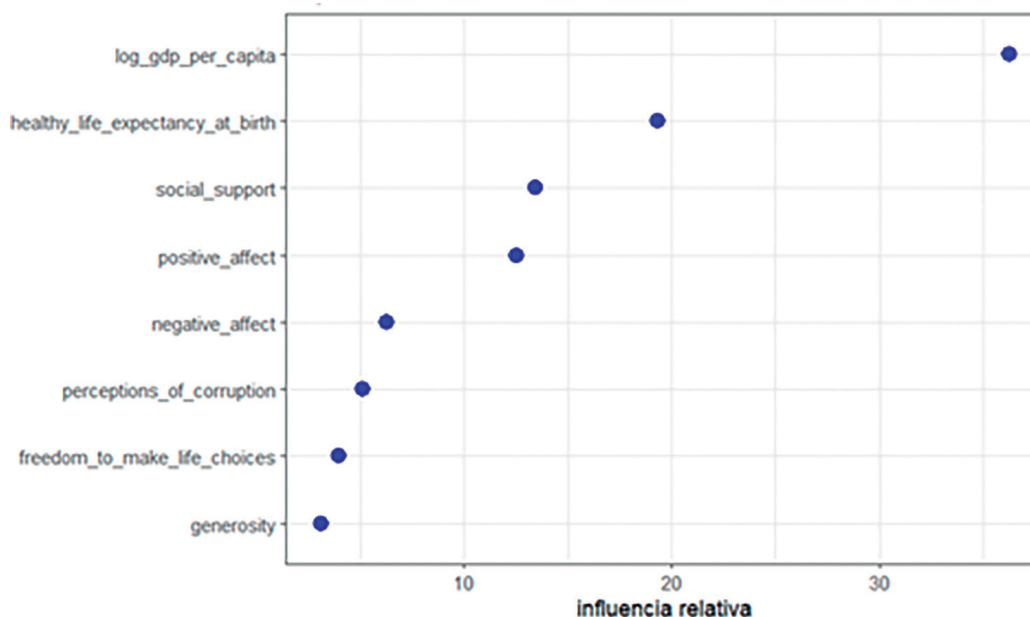


Figura 14. Importancia de las variables según modelo GBM

Fuente: Elaboración propia.

B. Evaluando los modelos de clasificación

En el *dataset* de pruebas el modelo *random forest* obtuvo un mejor de desempeño que el GBM, la tabla 5 compara las principales métricas.

Tabla 5
Matrices de confusión para los modelos

Pronosticado	Random forest			GBM		
	bajo	medio	alto	bajo	medio	alto
bajo	126	272	0	124	27	0
medio	21	106	22	24	101	25
alto	1	14	130	0	19	127
	Accuracy: 0.8098			Accuracy: 0.7875		
	Kappa: 0.7148			Kappa: 0.6812		

Fuente: Elaboración propia.

C. Modelos de clustering para la evolución de tendencias de la felicidad de los países

Se toman, para este análisis, los países que participaron en la encuesta de Gallup en los últimos 10 años. La estrategia para desarrollar el *clustering* sobre la trayectoria de la evolución es considerar cada año como una característica y la trayectoria estará dada por la evolución de la variable continua felicidad. Esta viene directamente de la encuesta y que se encuentra en nuestro *dataset* original con el nombre de *life_ladder*, el *dataset* resultante se estudentizó² para evitar sesgos. La figura 15 presenta una muestra de 10 países, la técnica de *clustering* nos permitirá agrupar las trayectorias de los países y así tener una agrupación no por el nivel de felicidad puntual, sino por la evolución de esta variable.

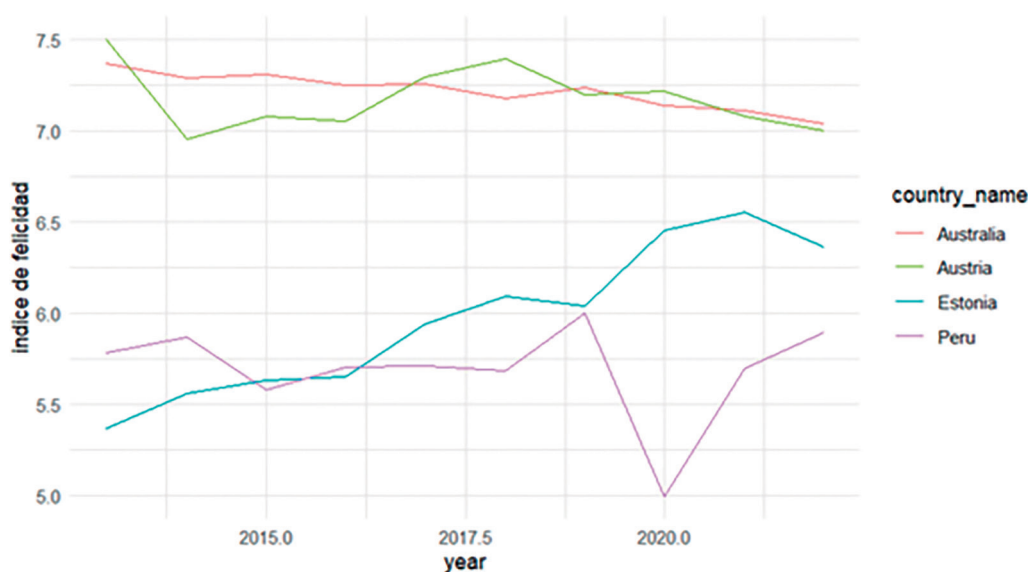


Figura 15. Muestra de evolución de la felicidad por países

Fuente: Elaboración propia.

La primera tarea que tenemos es encontrar una forma de aproximarnos al número de clústeres, para ello utilizamos los métodos *kmeans* y jerárquicos con sus respectivos indicadores de validación interna y de estabilidad. Los resultados se presentan en la tabla 6. Se aprecia una discrepancia entre los diferentes criterios, unos indican dos clústeres y otros más de diez. Al observar el diagrama del codo en la figura 16, un número razonable estaría comprendido entre tres a cinco clústeres, elegimos cuatro como el número para continuar con el análisis.

Tabla 6
Número de clústeres sugeridos por la validación interna y de estabilidad

Validación	Indicador	score	Método	Número de clústeres
Interna	Connectivity	3.7397	hierarchical	2
	Dunn	0.2929	hierarchical	11
	Silhouette	0.5138	kmeans	2
Estabilidad	APN	0.0023	kmeans	2
	AD	1.0556	pam	15
	ADM	0.0125	kmeans	2
	FOM	0.3192	pam	13

Fuente: Elaboración propia.

2 Se aplicó a cada variable del dataset la transformación $(x - \bar{x}) / S_x$

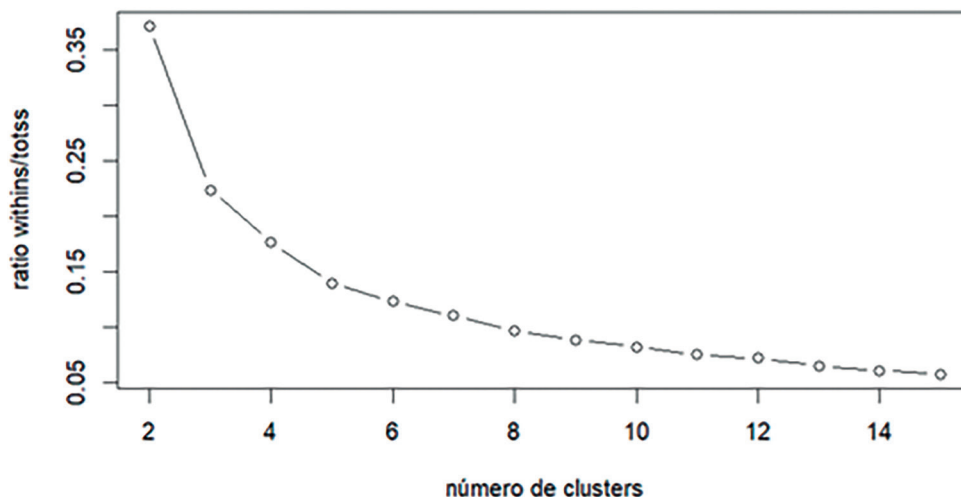


Figura 16. Diagrama de codo sobre *dataset* estudentizado de la evolución de la felicidad

Fuente: Elaboración propia.

La figura 17 muestra el resultado de agrupar la evolución de los índices de felicidad de los países en cuatro clústeres. Para cuantificar la velocidad de progreso de la felicidad por cada clúster, se utiliza el coeficiente de regresión de cada uno. Esto nos ayuda a identificar los avances (pendiente positiva) y los retrocesos (pendiente negativa), los resultados se presentan en la tabla 7. Así, se concluye que el clúster 1, que corresponde a los países que tienen el tercer nivel de felicidad, están experimentando los mejores avances en la evolución; los países del clúster 2, que son los segundos más felices, experimentan avances modestos; el clúster 3, que corresponde a los países más felices, se mantienen estadísticamente sin cambio (el modelo de regresión resultó no significativo); y, finalmente, los países del clúster 4, que son los menos felices, han retrocedido en sus niveles de felicidad.

Tabla 7

Estimación de coeficientes por clúster de evolución de felicidad

clúster	felicidad promedio	β estimado	adj.r.squared	significativo
1	4.92	0.06672	0.092726077	1
2	6.15	0.01730	0.012975954	1
3	7.19	-0.01010	0.003163547	0
4	3.84	-0.15009	0.294812621	1

Fuente: Elaboración propia.

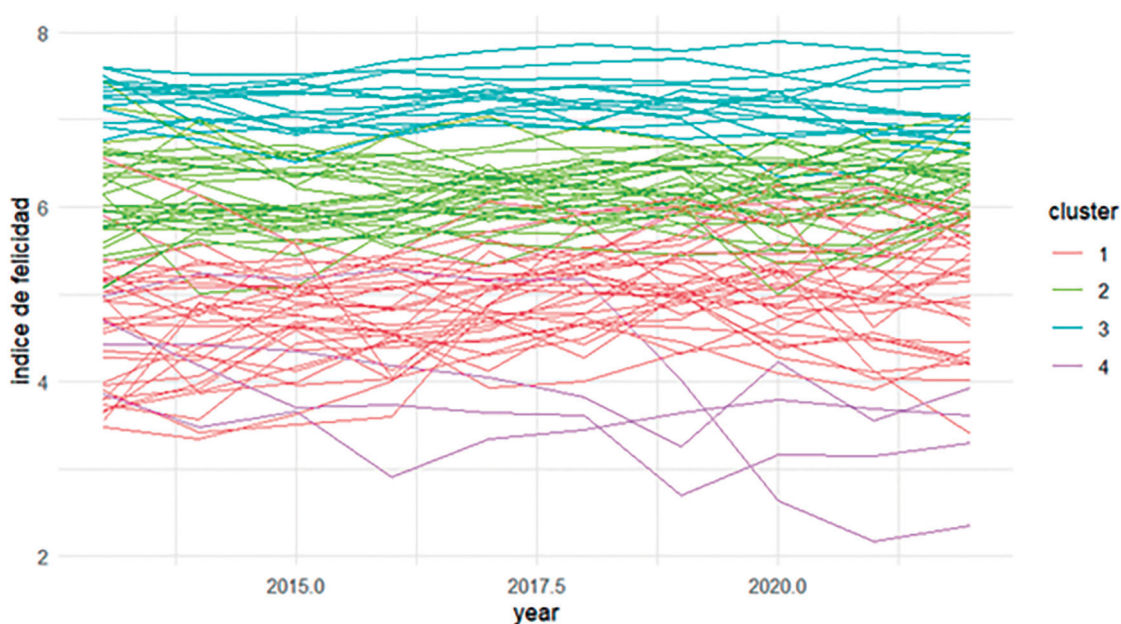


Figura 17. Clúster de evolución de índice de felicidad por países

Fuente: Elaboración propia.

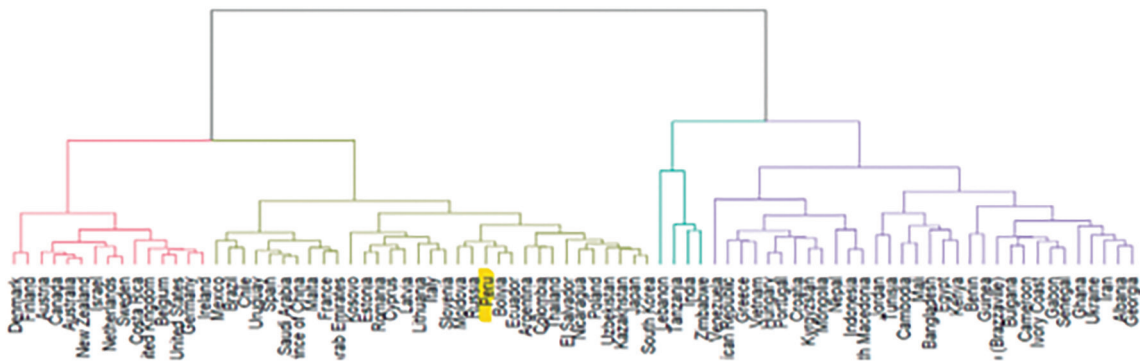


Figura 18. Clúster jerárquico de la evolución de la felicidad por países. Perú resaltado

Fuente: Elaboración propia.

5. Fase VI, Despliegue

La metodología CRISP-DM plantea seis fases, la última está asociada al despliegue del modelo en un ambiente en producción; debido a que el presente trabajo es un artículo de investigación, esta fase no se desarrolló e implicaría poner los modelos en una plataforma computacional como la nube y su utilización por medio de aplicaciones o el uso de *dashboards*.

RESULTADOS

Los modelos de clasificación coinciden en la significancia y orden de los cuatro primeros factores que determinan la felicidad: ingreso, esperanza de vida al nacer, soporte social y afecto positivo.

El modelo *random forest* obtuvo un mejor desempeño y resultados sobresalientes en los indicadores de clasificación (*accuracy* = 0.8098 y *Kappa* = 0.7148). La estrategia de definir una variable nivel de felicidad nos ayuda a reducir las variaciones que pueden ocurrir con los resultados de las encuestas, en especial cuando las variaciones entre años consecutivos para un país son pequeñas.

Respecto al modelo de *clustering* los criterios e indicadores resultaron discrepantes. Es posible que, afinando la imputación de datos con fuentes externas, se tenga una mayor muestra y se puedan realizar afinamientos a los modelos planteados; sin embargo, la elección realizada de los cuatro clústeres muestra velocidades de crecimiento distintos para cada grupo de países. Aquí se utilizó un modelo supervisado (regresión) para indagar sobre los resultados de un modelo de aprendizaje no supervisado (*clustering*), hallándose que el clúster referido a los países menos felices han deteriorado su nivel de felicidad en los últimos 10 años; en ese mismo periodo, los terceros países más felices tuvieron el mayor avance (0.067 puntos en promedio por cada año en la encuesta).

El Perú ha progresado poco en los últimos diez años respecto a la felicidad, la pandemia de covid-19 significó un duro retroceso, tal como se aprecia en la figura 15. El modelo de regresión resultó no significativo, lo que indica que su nivel de felicidad se ha mantenido constante durante el periodo en estudio. Sin embargo, se encuentra en el clúster 2, es decir, los segundos países que han mejorado, esto implica que existen las potencialidades para activar medidas para mejorar la felicidad de sus ciudadanos.

CONCLUSIONES

- Del análisis exploratorio de datos, se aprecia que los países con los mayores niveles de felicidad son más sensibles a los factores registrados en la encuesta mundial de la felicidad; por ejemplo, los temas como la percepción de la corrupción les genera pérdida de bienestar y rechazo comparados con los países de niveles medios y bajos; respecto a los factores de índole personal, como la generosidad y la capacidad para hacer elecciones, muestran también mayor correlación con la felicidad.
- Los tres principales factores que explican la felicidad según nuestros modelos basados en árboles son el ingreso, la esperanza de vida al nacer y contar con una red de soporte. Estos resultados muestran una coincidencia con los hallazgos de otras áreas del conocimiento, en especial, el estudio del doctor Waldinger sobre las buenas relaciones. Que el ingreso se considere como el primer factor es debido a su naturaleza de habilitador de condiciones y oportunidades: salud, educación, ocio, etcétera. La percepción de la corrupción está en la posición media como un factor que resta bienestar.
- La metodología CRISP-DM se mostró útil en el flujo de información y en las iteraciones de los modelos, teniendo en consideración que se han utilizado técnicas de imputación en series de tiempo, aprendizaje supervisado para los modelos de clasificación y técnicas de aprendizaje no supervisado para determinar los clústeres por evolución de la felicidad por países.
- Para el análisis de cada clúster que corresponde a una técnica de aprendizaje no supervisado, se realizaron indagaciones para determinar la rapidez de mejora por medio de la estimación de las pendientes de regresiones lineales correspondientes a técnicas de aprendizaje supervisado. Esto nos indica que las técnicas se pueden aplicar de manera complementaria para abordar problemas complejos.
- Desde la perspectiva de políticas públicas en Perú, se pueden reforzar elementos en las instituciones educativas que fomenten los temas de generosidad, valores para aislar la corrupción y la capacidad que tenemos las personas para autodeterminarnos. Estos son factores claves que impactarán

en tener ciudadanos más felices, quedan los otros puntos de mejorar el ingreso; ello está asociado al nivel de desarrollo económico que se necesita en el Perú y precisa de inversión en el factor humano, especialmente, en educación, salud (que impacta directamente en la esperanza de vida al nacer), infraestructura de saneamiento, etcétera.

- Se puede seguir desarrollando estudios con la aplicación de las técnicas de estadística espacial para revisar los patrones en el tiempo y en los países, y también como lo reseña el reporte anual de Gallup, investigar el impacto de las redes sociales en la percepción de la felicidad.

[7] Aldas, J., y Uriel, E. (2017). *Análisis multivariante aplicado con R*. Paraninfo.

[8] Lantz, B. (2019). *Machine Learning with R Expert techniques for predictive modeling*. Packt.

[9] Zumel, N., y Mount, J. (2020). *Practical data science with R*. New York. Manning Publications.

[10] Chapman, P. C. (2000). *CRISP-DM 1.0 Step-by-step data mining guide*. CRISP-DM consortium.

REFERENCIAS

- [1]** Real Academia Española. (s. f.). Felicidad. En *Diccionario de la lengua española*. Recuperado de <https://dle.rae.es/felicidad?m=form>
- [2]** Lopez Otín, C. (2019). *La vida en cuatro letras*. Paidós.
- [3]** Neira, H. (2012). *¿Qué es república?* Fondo Editorial Universidad San Martín de Porres.
- [4]** Waldinger Robert, S. M. (2023). *The Good Life*. Simon & Schuster.
- [5]** Helliwell, J. F. (2023). *World Happiness Report 2023*. Recuperado de <https://worldhappiness.report/>
- [6]** Chollet, F., y Allaire, J. (2017). *Deep Learning with R*. Manning Publications.

ACERCA DEL AUTOR

Roberto León Leyva

Profesor de la carrera de Big Data y Ciencia de datos de Tecsup, ingeniero de sistemas por la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI) y MBA por la Universidad del Pacífico. Cuenta con estudios concluidos en la maestría de Estadística Aplicada por la Universidad Agraria La Molina (Unalm) y especializaciones por la Universidad de Michigan en Coursera: Data Analytics in the Public Sector with R y Applied Data Science with Python; y por Datacamp: Quantitative Analyst with R y la certificación Data Scientist Profesional.

[@rlleon@tecsup.edu.pe](mailto:rlleon@tecsup.edu.pe) / robertoleon10@gmail.com

Recibido: 03-07-23
 Revisado: 14-07-23
 Aceptado: 04-09-23



Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons AtribuciónNoComercial 4.0 Internacional.

Aspectos de diseño, operativos
y de seguridad
respecto a la
implementación de
tuberías HDPE en
camiones mineros de
explotación superficial



Implementación de tuberías HDPE para la reducción de daños en neumáticos OTR e incremento de su vida útil

“Implementation of HDPE Pipes to Reduce OTR Tire Damage and Increase Their Lifespan”

RESUMEN

Este artículo tiene como objetivo general brindar los aspectos de diseño, operativos y de seguridad respecto a la implementación de tuberías HDPE en camiones mineros de explotación superficial (CAEX). Añadido a ello, se tienen los siguientes objetivos específicos: aplicación de una herramienta de mejora continua para la resolución de problemas relacionados con la gestión de neumáticos OTR; determinar el factor influyente para el caso de estudio; calcular el costo de daños y tasas de desgaste; proponer acciones de mejora con dicha implementación para la reducción de daños en neumáticos OTR e incremento de su vida útil; determinar la cantidad y tipos de tuberías HDPE a implementar en los diferentes modelos de flotas; evaluar el impacto de mejora en los costos y daños de la gestión de neumáticos OTR.

El método utilizado en el estudio fue la aplicación del diagrama de Ishikawa, también conocido como diagrama de causa y efecto, o diagrama de espina de pescado. Este se empleó para identificar las causas que provocan daños en los neumáticos OTR en la industria minera. Se traza una línea central que representa el problema principal y se agregan ramas principales que representan categorías de factores o causas influyentes. Luego se agregan ramas secundarias que detallan factores más específicos dentro de cada categoría.

Para determinar el factor más influyente, se tomó como referencia una empresa minera y se aplicaron sistemas que controlan los neumáticos OTR, como sistemas de despacho, el formato de inspección en campo.

La propuesta para evitar que las rocas caigan en las zonas de carguío fue analizar en campo la utilización de accesorios adicionales en los camiones de extracción, como tubos HDPE, tubos PVC y alerones metálicos.

Se describieron las características técnicas de las tuberías HDPE, PVC y las tuberías o alerones metálicos. Las tuberías HDPE son flexibles, resistentes a la corrosión y duraderas, adecuadas para aplicaciones en la industria minera. Las tuberías de PVC son rígidas, duraderas y resistentes a la corrosión, ampliamente utilizadas en aplicaciones de plomería y drenaje. Las tuberías metálicas, fabricadas con diferentes metales, son resistentes, duraderas y capaces de soportar altas presiones y temperaturas. Los resultados (hallazgos) principales. Finalmente, en la metodología se realizó el cálculo de daños y tasas de desgaste.

Como conclusiones principales, se aplicó la herramienta de mejora continua diagrama de Ishikawa para determinar que el factor más influyente para el caso de estudio es el corte de neumáticos OTR en zonas de carguío; asimismo, se determinaron las principales características de las tuberías a emplear siendo las más adecuadas las tuberías HDPE según las dimensiones en Longitud (m): 3,76 - 4,48 m, diámetro (m): 0,26 - 0,38 m, espesor: 0,04 - 0,06 m y en las cantidades de 22 unidades para los modelos 7D, 93-3, 93-4 y 83-1 para los distintos modelos de los camiones. Finalmente, se calculó el costo total de daños y tasas de desgaste después de la implementación de 1 475 000,00 y número de desechos de 64, teniendo como ahorro promedio al año \$330 000,00 (representa el 18 %).

ABSTRACT

This article aims to provide a general overview of the design, operational, and security aspects regarding the implementation of HDPE pipes in surface mining trucks (CAEX). The specific objectives are as follows: Apply an ongoing improvement tool to problem-solving related to OTR tire management, determine the influencing factor for the case study, calculate the cost of damage and wear rates, implement improvement actions to reduce



Palabras Claves

Acarreo mina, CAEX, HDPE, OTR, Scraps

Key words

Mine hauling, CAEX, HDPE, OTR, Scraps

damage of OTR tires and increase their lifespan, determine the quantity and types of HDPE pipes to be implemented in different fleet models, and evaluate the impact of improvement on OTR tire management costs and damages.

This study applied the Ishikawa diagram, also known as the cause-and-effect or fishbone diagram. This diagram is used to identify the causes that lead to damage to OTR tires in the mining industry. A central line representing the main problem is drawn, and main branches representing categories of influencing factors or causes are added. Then, secondary branches are added, detailing more specific factors within each category.

To determine the most influential factor, a mining company was taken as a reference, and systems controlling OTR tires, such as dispatch systems, and field inspection formats were applied.

The proposal to prevent rocks from falling into loading areas involved analyzing the use of additional accessories in extraction trucks, such as HDPE pipes, PVC pipes, and metal spoilers in the field.

The technical characteristics of HDPE, PVC, and metal pipes and/or spoilers were described. HDPE pipes are flexible, corrosion-resistant, and durable, making them suitable for mining industry applications. PVC pipes are rigid, durable, corrosion-resistant, and widely used in plumbing and drainage applications. Metal pipes, made from various metals, are strong, durable, and capable of withstanding high pressures and temperatures. The main findings were presented. Finally, damage calculation and wear rates were performed in the methodology.

The main conclusions are as follows: The Ishikawa Diagram ongoing improvement tool was applied to determine that the most influential factor for the case study is OTR tire cutting in loading areas. Additionally, the main characteristics of the pipes to be used were determined, with HDPE pipes being the most suitable based on dimensions of length (m): 3.76 - 4.48 m, diameter (m): 0.26 - 0.38 m, thickness: 0.04 - 0.06 m, and quantities of 22 units for models 7D, 93-3, 93-4, and 83-1 for different truck models. Finally, the total cost of damage and wear rates was calculated after the implementation as 1,475,000.00 and the number of waste as 64, with an average annual savings of \$330,000.00 (representing 18%).

de neumáticos OTR conllevan costos significativos y plazos de entrega prolongados.

Ante esta situación, es crucial encontrar soluciones que permitan reducir el consumo de neumáticos OTR en las minas y prolongar su vida útil. Esto no solo contribuiría a la disminución de los costos operativos, sino que también ayudaría a superar los desafíos logísticos, económicos y ambientales asociados con la adquisición de nuevos neumáticos.

En ese sentido, es fundamental buscar soluciones innovadoras para minimizar el consumo de neumáticos OTR y aumentar su durabilidad. Una estrategia prometedora es la implementación de tuberías HDPE en las tolvas de los camiones mineros de explotación superficial. Estas se colocan en las tolvas de los camiones para evitar que las rocas caigan en áreas donde puedan dañar los neumáticos durante el proceso de carga (zonas de carguío).

Al utilizar esta práctica, se previenen cortes profundos y scraps de neumáticos, lo que conlleva una reducción significativa en los costos operativos y una mayor eficiencia en las operaciones mineras. Además, se evita la necesidad de adquirir neumáticos nuevos con tanta frecuencia, lo que implica una disminución considerable de los costos y una gestión más sostenible de los recursos.

No obstante, es importante considerar que la implementación exitosa requiere un análisis exhaustivo, pruebas rigurosas y ajustes personalizados para adaptarse a las condiciones específicas de cada mina.

Objetivo general

- Brindar los aspectos de diseño, operativos y de seguridad respecto a la implementación de tuberías HDPE en camiones mineros de explotación superficial (CAEX).

Objetivos específicos

- Aplicar una herramienta de mejora continua para la resolución de problemas relacionados con la gestión de neumáticos OTR.
- Determinar el factor influyente para el caso de estudio.
- Calcular el costo de daños y tasas de desgaste
- Proponer acciones de mejora con dicha implementación para la reducción de daños en neumáticos OTR e incremento de su vida útil.
- Determinar la cantidad y los tipos de tuberías HDPE a implementar en los diferentes modelos de flotas.
- Evaluar el impacto de mejora en los costos y daños de la gestión de neumáticos OTR.

FUNDAMENTOS

En las tesis de Leal [10], Huamán [9], Gallardo [8], Arce [1], Trujillo [22], Campos [3], y Martínez [11], en distintos contextos y con distintos parámetros acorde a cada unidad de estudio, se analiza el rendimiento de los neumáticos, ya que básicamente se refiere

INTRODUCCIÓN

La industria minera está experimentando un constante cambio debido a la creciente demanda de nuevos proyectos mineros en todo el mundo. Este crecimiento ha llevado a un aumento significativo en las exigencias operativas de las diversas operaciones, especialmente en el acarreo mina. Uno de los principales desafíos en estas operaciones es la necesidad de reducir los costos operativos y optimizar la gestión de insumos, como los neumáticos OTR utilizados en la minería.

Los neumáticos OTR desempeñan un papel crítico en las operaciones mineras, ya que estos deben soportar cargas pesadas y enfrentarse a condiciones extremas en terrenos accidentados. Sin embargo, debido a su tamaño y especialización, la fabricación de estos neumáticos no es tarea fácil. La producción y adquisición

a su capacidad de agarre, estabilidad y confort, así como a su resistencia a la rodadura. La vida útil de los neumáticos depende de la profundidad de la banda de rodadura, el desgaste irregular y las condiciones de conducción y mantenimiento. Mantener un buen rendimiento y alargar la vida útil requiere el cumplimiento de las recomendaciones del fabricante y la realización de un mantenimiento adecuado.

En las tesis de Chepillo Bahamondes y Jaime Alfonso [5], Paredes Sánchez [17], Mora Huaco [14], Delgado Alemán [6], Tejada Díaz [21]. Se estudian los distintos factores influyentes en el desgaste de los neumáticos. Los neumáticos OTR (*Off-The-Road*) están diseñados para vehículos y maquinaria que operan en terrenos difíciles y condiciones extremas. Algunos de los factores influyentes en el desgaste de los neumáticos OTR son los siguientes:

Superficie del terreno: El tipo de terreno en el que se utiliza el neumático OTR tiene un impacto significativo en su desgaste. Terrenos ásperos, como rocas, grava o terrenos blandos, pueden provocar un desgaste más rápido y agresivo.

Carga y presión de inflado: La carga que soportan los neumáticos OTR y la presión de inflado adecuada son factores críticos. Si la carga es excesiva o la presión de inflado es insuficiente, puede generar un desgaste desigual y un aumento en la temperatura del neumático, lo que acelera el desgaste.

Condiciones climáticas: Las condiciones climáticas adversas, como temperaturas extremas, lluvia, nieve o barro, pueden afectar el desgaste de los neumáticos OTR. Por ejemplo, la tracción en condiciones mojadas o fangosas puede generar mayor deslizamiento y desgaste.

Velocidad y estilo de conducción: La velocidad y el estilo de conducción agresivo también pueden influir en el desgaste de los neumáticos OTR. Frenados bruscos, aceleraciones rápidas y giros bruscos pueden generar un desgaste más pronunciado.

Mantenimiento y cuidado: El mantenimiento adecuado de los neumáticos OTR, como la rotación periódica, el equilibrado, la alineación y la inspección regular, es esencial para minimizar el desgaste y maximizar su vida útil.

Diseño y composición del neumático: El diseño y la composición del neumático OTR, incluyendo el tipo de compuesto utilizado y la profundidad de la banda de rodadura, también influyen en su desgaste. Los neumáticos diseñados específicamente para condiciones *off-road* suelen tener una mayor resistencia al desgaste.

Es importante tener en cuenta estos factores y tomar las medidas adecuadas para minimizar el desgaste de los neumáticos OTR. Esto incluye elegir los neumáticos adecuados para las condiciones de trabajo, mantener una presión de inflado correcta y realizar un mantenimiento regular.

En las guías bibliográficas Bridgestone [2], Michelin [12 y 13], las guías de fabricación de neumáticos OTR (*Off-The-Road*) son conjuntos de normas y recomendaciones establecidas por los fabricantes de neumáticos para garantizar la calidad y la seguridad de los productos. Estas guías definen los estándares de diseño,

construcción y fabricación de los neumáticos OTR, considerando las condiciones y exigencias a las que serán sometidos.

El trabajo de investigación está enmarcado en un contexto de estudio de seis meses, tomando como referencia los modelos expuestos en las siguientes líneas. Se toma en consideración una unidad de estudio de gran minería, ya que en estos contextos la gestión del acarreo y de los neumáticos OTR es crítica. Por otro lado, no se efectuaron cálculos de los costos propios de la instalación de las tuberías teniendo como premisa medir solo el impacto de la reducción del costo remanente de neumáticos. Al momento, el material HDPE ha sido considerado como uno de los principales materiales a emplear para esta alternativa de solución, probablemente en el futuro con el desarrollo de la ingeniería de materiales se puedan emplear otros materiales más resistentes. Dicha solución no evita directamente los cortes profundos ni daños de neumáticos, permite mantener más tiempo las rocas cerca de la tolva (por la retención de las rocas) y que estas se retiren del radio de influencia del área de carguío (lugar donde los operadores por su poca visibilidad en las posiciones 5 y 6 pueden con la operación cortar neumáticos).

METODOLOGÍA

A. Aplicación del diagrama de Ishikawa

El diagrama de Ishikawa, también conocido como diagrama de causa y efecto o diagrama de espina de pescado, es una herramienta que se utiliza para identificar los factores o causas que provocan daños en los neumáticos OTR (*Off-The-Road*). Este permite visualizar de forma organizada y estructurada las posibles causas que pueden afectar el rendimiento y la duración de los neumáticos OTR en la industria minera.

En el diagrama de Ishikawa, se parte del problema principal que son los daños en los neumáticos OTR, y se traza una línea central como eje horizontal. A lo largo de esta línea, se agregan ramas principales que representan las categorías de factores o causas influyentes que podrían afectar los neumáticos OTR.

Algunas categorías comunes consideradas en el diagrama de Ishikawa para los neumáticos OTR incluyen las condiciones del terreno, las operaciones de carga y descarga, el mantenimiento y cuidado, los factores ambientales, el diseño y la construcción del neumático, entre otros.

A partir de cada rama principal, se pueden agregar ramas secundarias que detallan factores más específicos dentro de cada categoría. Estos pueden incluir aspectos como el desgaste excesivo, los cortes y las perforaciones, la presión inadecuada de los neumáticos, la falta de capacitación del personal, la falta de control de calidad en las operaciones, entre otros.

El objetivo del diagrama de Ishikawa es visualizar de manera clara las posibles causas de los daños en los neumáticos OTR, lo cual ayuda a los equipos de trabajo a analizar y comprender mejor la situación. Esto facilita la búsqueda de soluciones adecuadas y la implementación de medidas preventivas para evitar futuros daños y prolongar la vida útil de los neumáticos OTR en el ámbito minero.

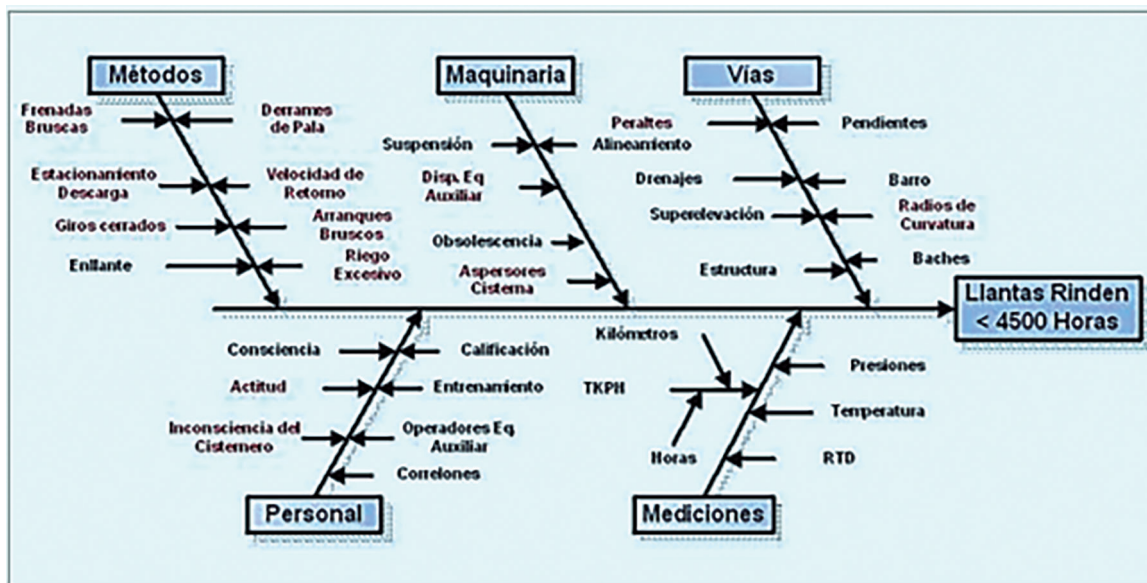


Figura 1. Diagrama de Ishikawa

Fuente: [6].

B. Determinación y descripción del factor más influyente

Para determinar el factor influyente, se tomará como referencia una empresa minera («A»), con características de operatividad, explotación a tajo abierto de cobre en pórfido de cobre y parámetros de planificación de diseño. Se considera una temporalidad de estudio: seis meses. Se debe de aplicar sistemas que anexen el control de los neumáticos OTR como los sistemas de despacho, así como algún formato de inspección en campo.

C. Definición de propuesta

Para evitar que las rocas caigan en las zonas de carguío, se analiza en campo que algunos CAEX presentan accesorios adicionales como los tubos HDPE, tubos PVC y alerones metálicos.



Figura 2. Camión con protector de tubo PVC

Fuente: [6].

D. Características técnicas de tuberías (ficha técnica)

a. Tubería HDPE

Una tubería HDPE, o tubería de polietileno de alta densidad, es un tipo de tubería fabricada con polietileno de alta densidad. El HDPE

es un material plástico conocido por su resistencia, durabilidad y versatilidad en diversas aplicaciones.

A continuación, se presenta una descripción general de las características y propiedades de una tubería HDPE:

Material: El HDPE es un polímero termoplástico, obtenido a partir

de la polimerización del etileno. Es conocido por su alta resistencia química, resistencia a la corrosión, flexibilidad y capacidad de soportar temperaturas variables.

Estructura: Una tubería HDPE consta de una estructura de paredes sólidas y homogéneas. Las tuberías pueden tener diferentes diámetros y espesores de pared, dependiendo de la aplicación específica.

Flexibilidad: Una de las principales ventajas de las tuberías HDPE es su flexibilidad. Esto permite una instalación más sencilla y versátil, especialmente en terrenos irregulares o con curvas.

Resistencia: Las tuberías HDPE tienen una alta resistencia a la tracción y a la presión. Son capaces de soportar cargas externas, impactos y variaciones de temperatura sin sufrir daños significativos.

Resistencia química: El HDPE tiene una excelente resistencia a una amplia gama de productos químicos, incluyendo ácidos, álcalis y solventes. Esto hace que las tuberías HDPE sean adecuadas para aplicaciones en la industria química y de tratamiento de agua, entre otras.

Resistencia a la corrosión: A diferencia de algunas tuberías metálicas, las tuberías HDPE son resistentes a la corrosión y no se ven afectadas por la corrosión interna o externa. Esto las convierte en ideales para aplicaciones en entornos agresivos o corrosivos.

Vida útil prolongada: Las tuberías HDPE presentan una vida útil prolongada y ofrecen una excelente resistencia a la degradación y al envejecimiento. Son resistentes a los rayos ultravioleta, lo que las hace adecuadas para instalaciones al aire libre y bajo la exposición solar directa.

Las tuberías HDPE son una opción popular en diversos sectores, incluyendo el abastecimiento de agua potable, riego agrícola, sistemas de alcantarillado, industria minera y aplicaciones industriales en general, debido a su resistencia, durabilidad y versatilidad.

b. Tubería PVC

La tubería de PVC, o tubería de cloruro de polivinilo, es un tipo de tubería fabricada con un plástico rígido y duradero llamado PVC. El PVC es ampliamente utilizado en aplicaciones de plomería, drenaje y sistemas de conducción de fluidos. A continuación, se proporciona una descripción general de las características y propiedades de la tubería de PVC:

Material: El PVC es un polímero termoplástico obtenido mediante la polimerización del cloruro de vinilo. Es un material económico y ampliamente disponible.

Estructura: La tubería de PVC tiene una estructura sólida y rígida, con paredes espesas que varían según el diámetro y la aplicación específica. Las tuberías de PVC pueden ser de diferentes tipos, como PVC-U (no plastificado), PVC-C (clorado) o PVC-O (orientado).

Resistencia y durabilidad: El PVC es conocido por su resistencia y durabilidad. Es resistente a la corrosión, la abrasión y los impactos, lo que lo hace adecuado para aplicaciones tanto en interiores como en exteriores.

Ligereza: El PVC es un material liviano en comparación con otros tipos de tuberías, lo que facilita su transporte, manejo e instalación.

Esto también reduce los costos asociados con el transporte y la instalación.

Resistencia química: Las tuberías de PVC son resistentes a una amplia gama de productos químicos comúnmente utilizados en aplicaciones de plomería y conducción de fluidos. Son adecuadas para transportar agua potable, productos químicos industriales, aguas residuales y otros líquidos.

Baja conductividad térmica: El PVC tiene una baja conductividad térmica, lo que significa que las tuberías de este material son menos propensas a la transferencia de calor. Esto puede ser beneficioso en aplicaciones donde se necesita mantener la temperatura de los fluidos transportados.

Fácil instalación: Las tuberías de PVC son fáciles de cortar, ensamblar y unir mediante adhesivos o juntas de conexión. Su naturaleza rígida permite una instalación rápida y sencilla.

Baja inflamabilidad: El PVC es un material de baja inflamabilidad y no propaga fácilmente el fuego. Además, las tuberías de PVC pueden fabricarse con aditivos retardantes de llama para mejorar aún más su resistencia al fuego.

Las tuberías de PVC son ampliamente utilizadas en aplicaciones residenciales, comerciales e industriales debido a su versatilidad, durabilidad y bajo costo. Sin embargo, es importante tener en cuenta las recomendaciones y normas específicas para su instalación y uso, así como considerar la temperatura y los productos químicos involucrados en la aplicación específica.

c. Tubería o alerón metálico

Una tubería metálica es un conducto utilizado para el transporte de fluidos, fabricado con materiales metálicos como acero, hierro fundido, cobre, aluminio u otros metales. A continuación, se proporcionará una descripción general de las características y propiedades de las tuberías metálicas:

Resistencia y durabilidad: Las tuberías metálicas son conocidas por su alta resistencia y durabilidad. Son capaces de soportar altas presiones, temperaturas extremas, impactos y cargas externas sin deformarse o romperse fácilmente.

Variación de materiales: Las tuberías metálicas están disponibles en una amplia gama de materiales metálicos, lo que permite seleccionar el tipo adecuado para una aplicación específica. Algunos ejemplos comunes incluyen tuberías de acero al carbono, acero inoxidable, cobre y aluminio.

Resistencia a la corrosión: Los materiales metálicos utilizados en las tuberías, a menudo, tienen una buena resistencia a la corrosión. Por ejemplo, el acero inoxidable es conocido por su alta resistencia a la corrosión, lo que lo hace adecuado para aplicaciones en entornos corrosivos.

Conductividad térmica: Los metales son buenos conductores térmicos, lo que significa que las tuberías metálicas permiten una transferencia eficiente de calor. Esto puede ser beneficioso en aplicaciones donde se requiere el transporte de líquidos a diferentes temperaturas.

Conductividad eléctrica: Algunos metales, como el cobre o el aluminio, son excelentes conductores eléctricos. Por lo tanto, las tuberías metálicas pueden ser utilizadas para transportar líquidos

conductores y también proporcionar una ruta para la conducción de corriente eléctrica.

Flexibilidad y adaptabilidad: Las tuberías metálicas son flexibles en términos de su capacidad para adaptarse a diferentes diseños y configuraciones. Se pueden fabricar en diferentes formas, tamaños y espesores para satisfacer las necesidades específicas de una aplicación.

Mantenimiento y reparación: En caso de daños o desgaste, las tuberías metálicas generalmente se pueden reparar o reemplazar fácilmente. Esto puede facilitar las labores de mantenimiento y prolongar la vida útil de las tuberías en comparación con otros materiales.

Es importante tener en cuenta que las tuberías metálicas pueden tener desventajas, como el riesgo de corrosión en ciertos entornos o la necesidad de protección adicional en aplicaciones específicas. Además, los costos de materiales y la instalación pueden ser más altos en comparación con otros tipos de tuberías. Por lo tanto, es esencial considerar los requisitos y condiciones particulares de cada proyecto antes de seleccionar una tubería metálica específica.

Finalmente, como síntesis a lo anterior, a continuación, se presentará una comparativa entre los tres tipos de tuberías mencionados: HDPE, PVC y tuberías metálicas.

Material y estructura

HDPE: Está fabricado con polietileno de alta densidad, lo que le confiere flexibilidad y resistencia a la corrosión. Tiene una estructura de pared sólida y homogénea.

PVC: Está fabricado con cloruro de polivinilo, un material rígido y duradero. Tiene una estructura de pared sólida y rígida.

Tuberías metálicas: Están fabricadas con diversos materiales metálicos, como acero, hierro fundido, cobre o aluminio. Tienen una estructura resistente y duradera.

Resistencia y durabilidad

HDPE: Es resistente a la corrosión, a los productos químicos y a los impactos. Puede soportar variaciones de temperatura y es duradero.

PVC: Es resistente a la corrosión y a los productos químicos. Es duradero y puede soportar condiciones adversas.

Tuberías metálicas: Son resistentes y duraderas, capaces de soportar altas presiones, temperaturas extremas y cargas externas.

Flexibilidad

HDPE: Es altamente flexible, lo que facilita su instalación en terrenos irregulares y con curvas.

PVC: Es menos flexible que el HDPE, pero aún se puede adaptar a diferentes configuraciones.

Tuberías metálicas: Tienen una flexibilidad limitada en comparación con el HDPE y PVC.

Resistencia a la corrosión

HDPE: Es resistente a la corrosión y no se ve afectado por la corrosión interna o externa.

PVC: Es resistente a la corrosión, aunque ciertos productos químicos pueden afectar con el tiempo.

Tuberías metálicas: Algunos materiales metálicos, como el acero inoxidable, tienen una alta resistencia a la corrosión, mientras que otros pueden requerir revestimientos protectores.

Instalación y mantenimiento

HDPE: Es fácil de instalar debido a su flexibilidad y peso ligero. Requiere menos mantenimiento en comparación con las tuberías metálicas.

PVC: Es fácil de instalar debido a su rigidez y peso ligero. Requiere un mantenimiento regular para prevenir la corrosión y otros problemas.

Tuberías metálicas: La instalación puede ser más compleja debido a su rigidez y peso. Requieren un mantenimiento regular y pueden requerir revestimientos protectores en ciertos casos.

Costo

HDPE: Tiene un costo moderado y es competitivo en comparación con otros materiales.

PVC: Es un material económico y tiene un costo más bajo en comparación con las tuberías metálicas.

Tuberías metálicas: Tienen un costo más alto debido a los materiales y la instalación más compleja.

En resumen, la elección entre HDPE, PVC y tuberías metálicas dependerá de las necesidades y requisitos específicos de cada proyecto. El HDPE es adecuado para aplicaciones que requieren flexibilidad y resistencia a la corrosión, el PVC es una opción económica y duradera, mientras que las tuberías metálicas son más costosas y requiere de mayor gestión en su mantenimiento.

E. Dimensiones de tuberías

Para camión 93-4, 93-3, 93-1

Longitud (m): 4,48 m

Diámetro (m): 0,38 m

Espesor: 0,06 m

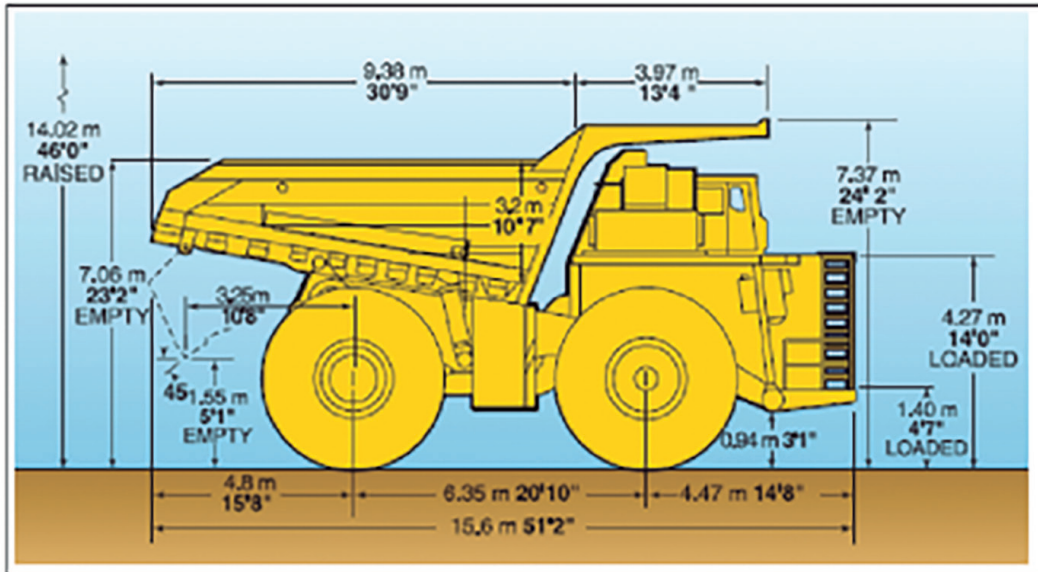


Figura 3. Camión con protector de tubo HDPE (93)

Fuente: Elaboración propia.

Para camión 7F

Longitud (m): 3,76 m

Diámetro (m): 0,26 m

Espesor: 0,04 m

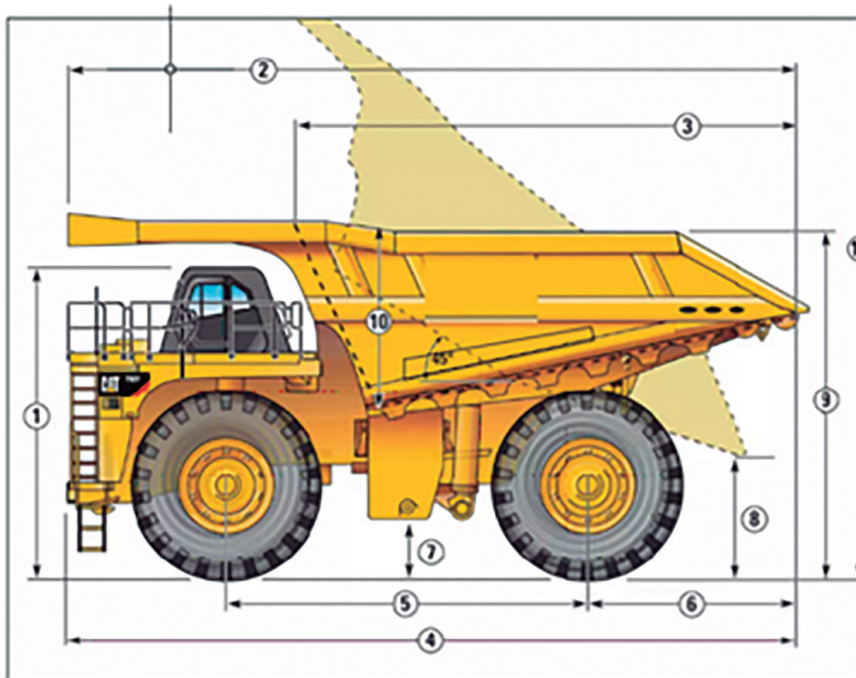


Figura 4. Camión con protector de tubo HDPE (7F)

Fuente: Elaboración propia.

Para camión 83-1, 7D y 7C

Longitud (m): 4,0 m

Diámetro (m): 0,30 m

Espesor: 0,05 m

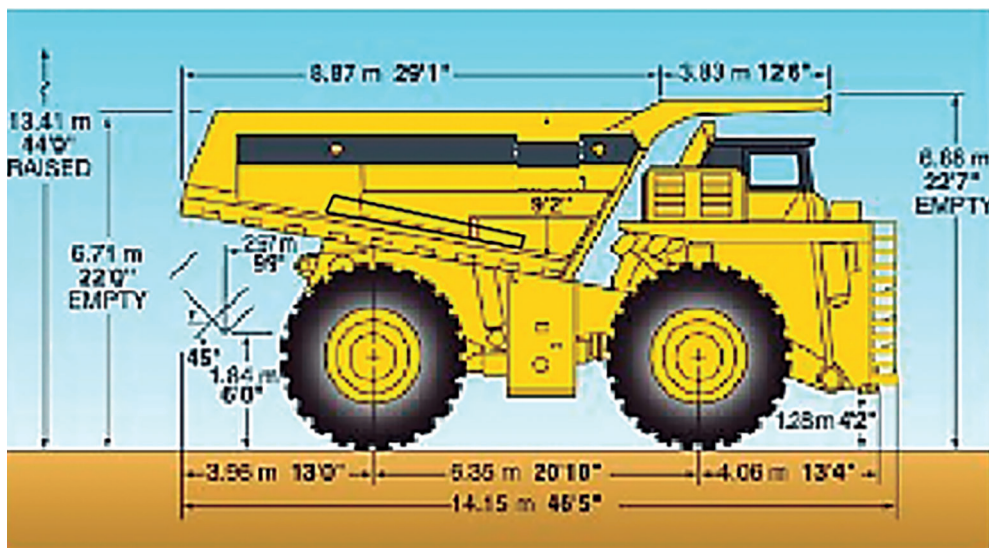


Figura 5. Camión con protector de tubo HDPE (83, 7D Y 7C)

Fuente: Elaboración propia.

F. Procedimiento de instalación y detalles

Para colocar una tubería en la parte lateral de una tolva, se puede seguir el siguiente proceso.

a. Planificación y preparación

Evaluar el diseño y las especificaciones de la tolva para determinar el punto de conexión de la tubería. Seleccionar la tubería adecuada en términos de diámetro, longitud y resistencia requerida. (por sus características se recomienda HDPE).

Revisar y seguir los protocolos de seguridad necesarios para trabajar en la tolva.

b. Preparación de la tolva

Limpiar y preparar el área de la tolva donde se instalará la tubería. Si es necesario, realizar cortes o perforaciones en la tolva para crear un orificio de entrada para la tubería. Asegurarse de que el orificio esté limpio y sin rebabas.

c. Preparación de la tubería

Medir y cortar la tubería a la longitud adecuada para alcanzar desde la tolva hasta el punto de conexión deseado. Asegurarse de que los extremos de la tubería estén limpios y sin daños.

d. Fijación de la tubería a la tolva

Aplicar un adhesivo adecuado o utilizar una junta de conexión diseñada específicamente para unir la tubería a la tolva.

Asegurarse de que la unión sea segura y hermética para evitar fugas o desprendimientos.

e. Aseguramiento y soporte de la tubería

Instalar soportes o abrazaderas en la tolva para asegurar y sostener la tubería en su lugar.

Asegurarse de que la tubería esté debidamente alineada y nivelada para facilitar el flujo adecuado del material.

f. Pruebas y verificación

Realizar pruebas de presión y fugas para asegurarse de que la tubería esté correctamente instalada y no presente problemas. Verificar que el flujo de material a través de la tubería sea el esperado y que no haya obstrucciones o restricciones.

Es importante seguir las instrucciones y pautas proporcionadas por el fabricante de la tubería de HDPE y cumplir con los estándares de seguridad establecidos durante todo el proceso de instalación. En caso de no tener experiencia o conocimientos técnicos suficientes, se recomienda contar con la ayuda de profesionales especializados en la instalación de tuberías de HDPE.

G. Costo de daños y tasas de desgaste

A continuación, se tiene los siguientes costos de daños y tasas de desgaste previo a la propuesta de implementación.

Tabla 1
Cálculo de costo total remanente y número de desechos

	(%) Costo	US\$ costo total	(%) desechos	n.º de desechos	% costo x % desechos
Camión 7F - Medida 59/80R63 Corte	27,15	490 000,00	15,66	13	0,0425
Camión 93-3 - Medida 53/80R63 Corte	34,07	615 000,00	34,94	29	0,0119
Camión 93-1 - Medida 50/90R57 Corte	14,68	265 000,00	10,84	9	0,0159
Camión 7C - Medida 46/90R57 Corte	5,54	100 000,00	6,02	5	0,0033
Camión 7C ; 83-1 Medida 40.00R57 Corte	18,56	335 000,00	32,53	27	0,0604
TOTAL		1 805 000,00		83	

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla anterior, lo señalado por remanente es el porcentaje en banda restante a usar luego de que el neumático es desechado; obviamente, este porcentaje ya no es empleable, pero se mide luego de desechar el neumático (distancia en cocada de neumático). Se toma en cuenta una cocada de 14 cm aproximadamente como el 100% y un costo de inversión de neumáticos según mercado (por ejemplo, US \$60 000). De la anterior tabla, en el periodo de estudio se han desechado los neumáticos especificados con un total de costo de remanente de cerca de US\$ 1 805 000,00 (considerando todos los neumáticos empleados en el plazo de estudio y en todas las flotas), eso significa que se pudo haber aprovechado mejor ese monto en la aplicación en campo.

Tasa promedio de desecho/mes = 14

stocks), donde es probable que los neumáticos sufran cortes en sus distintos componentes.

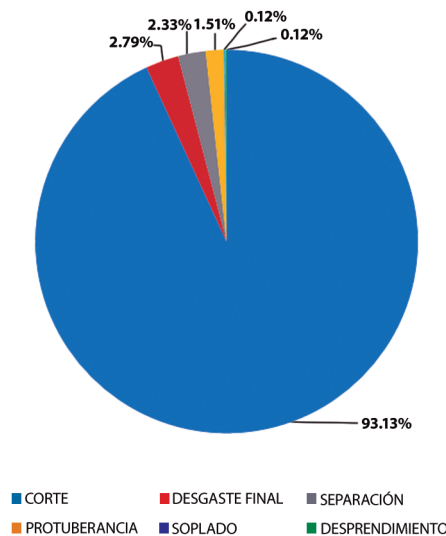


Figura 6. Incidencia (%) sobre los daños generales por cada tipo de daño

Fuente: [6].

Se tomaron en cuenta diversas formas de cortes, que incluyen corte en el flanco, corte en la banda de rodamiento, corte en el hombro, corte en el talón y corte superficial. Es importante mencionar que existen otras formas de cortes, pero estas modalidades fueron las más comunes y tuvieron una mayor incidencia en el total de estos. Para visualizar la información de manera gráfica, por favor, consultar el siguiente gráfico.

RESULTADOS

A. Determinación del factor influyente

a. Mina «A»

La información del taller enlante, que proviene de las inspecciones diarias a los neumáticos en los grifos y taller enlante, junto con las políticas del sector minero, fue utilizada para realizar el análisis. Los indicadores estadísticos relacionados con los daños y cortes de neumáticos se presentan de la siguiente manera:

Según los informes, se reportaron un total de 859 daños. Al observar los diagramas, se puede notar que la mayoría de los daños son generados por cortes, con un total de 800 casos, lo que representa el 93 % de los daños totales. Esto se debe, principalmente, a la presencia de rocas en áreas de carguío (palas), vías de acarreo y áreas de descarga (tolvas, botadero,

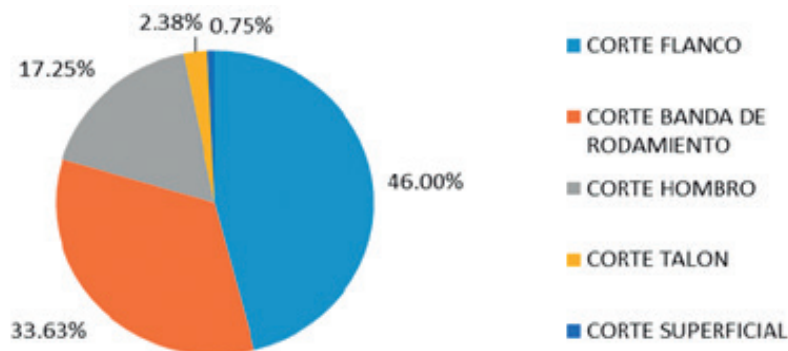


Figura 7. Incidencia (%) de neumáticos cortados

Fuente: [6].

En los gráficos anteriores, se puede observar que la mayor cantidad de cortes se produce en el componente flanco del neumático, con un total de 368 casos, lo que representa el 46 % de todos ellos. Esto se debe, principalmente, a la presencia de rocas puntiagudas que ocasionan el corte. En este caso, los neumáticos tienen más probabilidades de sufrir cortes si la presión de inflado es inapropiada o si están sometidos a sobrecarga. Además, el impacto con la berma de seguridad es otro factor a considerar, ya que puede causar cortes en el flanco.

El corte en la banda de rodamiento muestra una alta cantidad de cortes, con un total de 269 casos, lo que representa el 33,63 % de los cortes. Esto se debe a varios factores, como la presencia de obstáculos como rocas puntiagudas arrojadas en las vías debido a maniobras inadecuadas de los operadores de volquetes en curvas y rampas, especialmente cuando los equipos están

sobrecargados. Además, una mala operación de carguío por parte del palero o una ubicación inapropiada del volquete durante la carga pueden provocar la caída de material (rocas) en el suelo de la pala. Otro factor es el regado irregular de las vías, donde el agua estancada expone rocas puntiagudas en la superficie, lo que puede ocasionar este tipo de cortes (situación similar durante la lluvia).

El corte en el hombro presenta un total de 138 cortes, lo que representa el 17,25 % de los casos. Esto se debe a la falta de inflado adecuado, un asentamiento inapropiado de los neumáticos y los aros, así como la falta de rotación periódica de los neumáticos.

Además, los neumáticos dañados se clasifican según el modelo de flota de camiones.

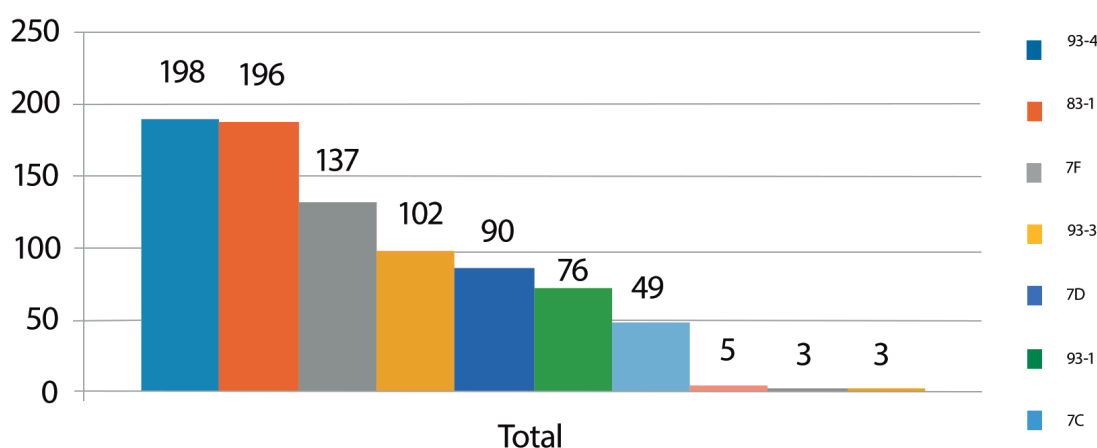


Figura 8. Número de neumáticos dañados por modelo de flota

Fuente: [6].

En los diagramas anteriores, se puede observar que la flota de CAEX 93-4 es responsable del mayor número de daños, incluyendo cortes, representando el 23,05 % de los daños totales. Estos daños se producen principalmente en la banda de rodamiento, hombro y flanco de los neumáticos. Al analizar los puntos de carga y descarga, así como las rutas de acarreo, se obtiene la siguiente conclusión:

En primer lugar, los pisos de las palas durante la fase D, donde se encuentran rocas puntiagudas, tienen un impacto significativo en los cortes y daños de los neumáticos si no se realiza la limpieza adecuada de los pisos. Además, en algunas ocasiones, el carguío inadecuado en los frentes de las palas de la fase D, que resulta en la dispersión de material alrededor de los volquetes, también genera daños y cortes en los neumáticos.

La flota 83-1 es responsable de 196 incidencias, lo que representa un porcentaje de incidencia del 22,82 %. Este alto número de incidencias se debe a los cortes en el flanco, banda de rodamiento y hombro de los neumáticos, los cuales pueden ocurrir en la ruta de acarreo de esta flota. Al analizar los puntos de carga y descarga, así como las rutas de acarreo, se obtiene la siguiente conclusión:

La presencia de rocas puntiagudas en los pisos de la pala 2 y los cargadores frontales en el fondo de la mina también influye en los cortes y daños de los neumáticos.



Figura 9. Sistema de Control para identificar - ruta de acarreo de la flota 83-1

Fuente: [6].

La flota 7D ha registrado 90 incidencias, lo que representa un porcentaje de incidencia del 10,48 %. En menor medida, también se han observado daños en las flotas 93-1 y 7C.

Además, en el análisis, también se ha considerado la posición de los neumáticos.

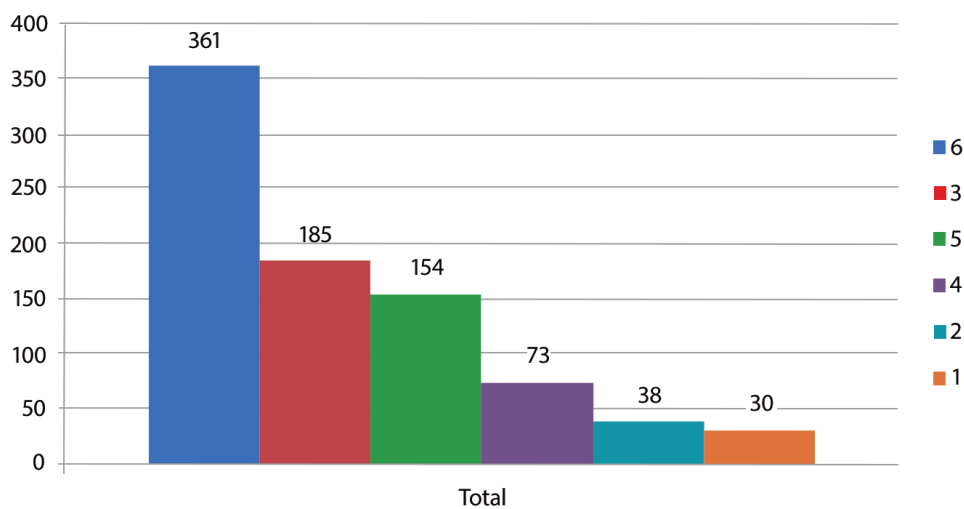


Figura 10. Nro. de neumáticos dañados por posición

Fuente: [6].

En los gráficos anteriores se puede observar que la posición 6 del camión presenta el mayor número de daños, con un total de 361, lo que representa el 42,93 % de todos los daños registrados. Esta alta incidencia se debe principalmente a que los volquetes descargan en áreas como botaderos, tolvas y stocks, donde hay presencia de rocas puntiagudas que causan cortes en los neumáticos de la posición 6.

Por otro lado, la posición 3 también presenta una cantidad significativa de daños, con un total de 185, lo que representa el 22 % de los daños totales. Al igual que en el caso anterior, la presencia de rocas en las áreas de descarga es la principal causa de estos daños. Es importante destacar que la presencia de rocas puntiagudas en el área de descarga también afecta considerablemente a las posiciones 5 y 4.

La posición 5 registra un total de 154 daños, con una incidencia del 18,31 %, mientras que la posición 4 registra 73 daños, con una incidencia del 8,68 %. Ambas posiciones se ven afectadas por la presencia de rocas puntiagudas en el área de descarga.

B. Descripción del problema

De los resultados anteriores, se tiene que los neumáticos OTR más dañados para este escenario están relacionados en corte en flanco en camiones que trabajan en zonas de alto tráfico (zonas de carguío) en mineral o desmonte; asimismo, los

reportes indican que los neumáticos de posición 5 y 6 son los más dañados debido a la falta de visión del operador para evitar maniobrar sobre las rocas caídas en dichas zonas. Esto puede ser bastante perjudicial ya que pueden darse cortes profundos que desechen los neumáticos con poca vida útil, desechando bandas de rodamiento con remanentes considerables y por lo tanto consumiendo más neumáticos en un tiempo determinado. Ello influye directamente en el incremento de costos operativos, así mismo en las gestiones medioambientales de desecho de residuos.

Los operadores de CAEX tienen la responsabilidad de comunicar la presencia de rocas caídas debajo de sus llantas o de otros compañeros, fomentando una mayor participación y colaboración. Sin embargo, como ya se mencionó antes, el factor de «visibilidad puntos ciegos» evita realizar satisfactoriamente estas responsabilidades.

Añadido a ello, en una operación minera, es importante contar con equipos auxiliares como tractores sobre ruedas de forma permanente en estas zonas para mantener el piso de la pala limpio, recogiendo así las rocas que amenazan con aquellos daños. Esto se debe al derrame de material durante el proceso de carguío realizado por las palas eléctricas. La limpieza se llevará a cabo hasta el pie de talud. En otros casos, los cargadores frontales serán responsables de mantener en buen estado la zona. Sin embargo, la carencia en cantidad de los equipos auxiliares evita que se realicen estos trabajos de la mejor manera.

HOJA DE INSPECCION(CHECK LIST)						
ZONA DE CARGUIO: <u>Fase D</u>		GUARDIA: <input checked="" type="checkbox"/> B C D				
FECHA: <u>21</u> <u>06</u> <u>2023</u>		TURNO: <input checked="" type="checkbox"/> N				
INSPECCION		BIEN		MAL		COMENTARIOS
1	Orden y limpieza de la zona de carguío	<input checked="" type="checkbox"/>				
2	Espacio para carguío en plataforma	<input checked="" type="checkbox"/>				
3	Zona de carguío sin rocas			<input checked="" type="checkbox"/>		
4	Ingreso a la zona de carguío sin rocas	<input checked="" type="checkbox"/>				
5	Operación de carguío	<input checked="" type="checkbox"/>				
6	Operación de cuadrado	<input checked="" type="checkbox"/>				
7	Velocidad de salida del camión			<input checked="" type="checkbox"/>		
8	Material cargado			<input checked="" type="checkbox"/>		
9	Distribución de la carga	<input checked="" type="checkbox"/>				
10	Frecuencia del limpieza del equipo auxiliar		<input checked="" type="checkbox"/>			
11	Participación de los operadores	<input checked="" type="checkbox"/>				
INSPECCIONADO POR					HORA	FIRMA
Delgado Alemán Roberto Geancarlo					08:00	

Figura 11. Hoja de inspección de zonas de carguío

Fuente: [9].

La hoja de inspección de zonas de carguío es un documento utilizado para evaluar y registrar el estado de las áreas de carguío en una operación minera. Este formulario tiene como objetivo identificar posibles desperfectos, peligros o condiciones inseguras que puedan afectar la seguridad y eficiencia del proceso de carguío.

En la hoja de inspección de zonas de carguío, se incluyen diferentes aspectos a evaluar, como el estado del piso, presencia de rocas sueltas o puntiagudas, condiciones de iluminación, presencia de obstáculos, funcionamiento de los equipos de carguío, entre otros.

Es importante que los operadores y el personal encargado de la operación minera realicen inspecciones periódicas, utilizando esta hoja de inspección, registrando cualquier anomalía encontrada

y tomando las medidas necesarias para corregirlas. De esta manera, se busca mantener un ambiente de trabajo seguro y eficiente en las zonas de carguío.

Cabe destacar que cada empresa puede tener su propio formato de hoja de inspección de zonas de carguío, adaptado a sus necesidades y requerimientos específicos.

C. Requerimiento y tipos de tuberías

La colocación de tuberías de HDPE en las tolvas de volquetes es crucial para preservar la integridad de las llantas. En algunos casos, se utilizan alerones metálicos para proteger las llantas, mientras que, en otros, no hay ninguna forma de protección. Se adjunta una figura que ilustra la ubicación del HDPE en la tolva.



Figura 12. Tubo HDPE instalado en tolva

Fuente: [6].

En la siguiente figura, se puede observar la presencia de alerones metálicos instalados en los camiones 7C de la flota.



Figura 13. Alerón metálico en camión minero

Fuente: [6].

En la siguiente figura, no se puede observar la presencia de alerones metálicos ni tuberías HDPE en los camiones 7D de la flota.



Figura 14. Camión sin ninguna protección visible

Fuente: [6].

- Para esta flota 7D, se tiene un número de 10 camiones sin protección. Por lo tanto, se requiere implementar las tuberías HDPE.
- Para la flota de 93-1, se tiene la presencia de alerones metálicos instalados.
- Por otro lado, para la flota 93-3 y 93-4, se tiene un número de 10 camiones sin protección. Por lo tanto, se requiere implementar las tuberías HDPE.
- Para la flota de 83-1, se tiene la presencia de alerones metálicos instalados para 16 camiones, sin embargo, falta implementar 2 tuberías de HDPE para 2 camiones.
- Para la flota de 7F, se cuenta con tuberías HDPE y alerones metálicos.

D. Impacto de mejora en los costos y daños de la gestión de neumáticos OTR

A continuación, se puede tener los resultados luego de la implementación de las tuberías HDPE en las flotas que carecían de dichos accesorios.

Tabla 2
Cálculo de costo total remanente y nro. de desechos posterior a la implementación

	(%) Costo	US\$ costo total	(%) desechos	n.º de desechos	% costo x % desechos
Camión 7F - Medida 59/80R63	33,22	490 000,00	15,63	10	0,0425
Corte					
Camión 93-3 - Medida 53/80R63	27,12	400 000,00	31,25	20	0,0119
Corte					
Camión 93-1 - Medida 50/90R57	17,97	265 000,00	12,50	8	0,0159
Corte					
Camión 7C - Medida 46/90R57	6,78	100 000,00	9,38	6	0,0033
Corte					
Camión 7C ; 83-1 Medida 40.00R57	14,92	220 000,00	31,25	20	0,0604
Corte					
TOTAL		1 475 000,00		64	

Fuente: Elaboración propia.
Tasa promedio de desecho/mes = 11

La optimización de la gestión a partir de la implementación de las tuberías HDPE permitieron reducir principalmente el desecho de neumáticos OTR en las flotas 93-3, 7C y 83-1.

Tabla 3
Comparativa en costo total y nro. de desechos antes y después

	Primer semestre (antes)	Segundo semestre (después)	Ahorro/año	Ahorro (%)
US\$ costo total	1 805 000,00	1 475 000,00	330 000,00	18
n.º de desechos	83	64	19	23

Fuente: Elaboración propia.

REFERENCIAS

[1] Arce, J. (2017). *Análisis del rendimiento y vida útil de los neumáticos OTR en una empresa minera en Perú* [Tesis de pregrado]. Pontificia Universidad Católica del Perú, Perú.

[2] Bridgestone. (2010). *Data Book*.

[3] Campos, F. (2019). *Evaluación del rendimiento y cuidado de los neumáticos OTR en una empresa minera en la región de Arequipa, Perú* [Tesis de pregrado]. Universidad Nacional de San Agustín, Perú.

[4] Chávez Ramírez, J. (2013). *Seminario de neumáticos: Gigantes en unidad minera de Cerro Verde*. Universidad Nacional de San Agustín.

[5] Chepillo Bahamondes, N., y Alfonso, J. (2001). *Mejoramiento de caminos y accesos en Mina Escondida*.

[6] Delgado Alemán, R. G. (2014). *Estudio de factores influyentes en la vida útil de neumáticos para una gestión estratégica en mina a tajo abierto de cobre* [Tesis de pregrado]. Universidad Nacional de San Agustín.

[7] Flores, L. (2020). *Análisis del impacto del mantenimiento preventivo en el rendimiento de los neumáticos OTR en una empresa minera en Perú* [Tesis de pregrado]. Universidad Nacional de Ingeniería, Perú.

[8] Gallardo, F. (2017). *Análisis y evaluación del rendimiento de los neumáticos OTR en una empresa minera* [Tesis de pregrado]. Universidad de Chile, Chile.
Hernández Sampieri, R. (2010). *Metodología de la Investigación* (4.ª ed.). McGraw Hill México.

[9] Huamán, A. (2016). *Evaluación del desgaste de los neumáticos OTR y su impacto en la operatividad de una empresa minera en Perú* [Tesis de pregrado]. Universidad Nacional de Ingeniería, Perú.

[10] Leal, M. (2015). *Propuesta de mejoramiento del rendimiento de los neumáticos OTR en una empresa minera* [Tesis de pregrado]. Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Perú.

[11] Martínez, J. (2019). *Estudio del desgaste y vida útil de los neumáticos OTR en una empresa de construcción* [Tesis de pregrado]. Universidad de los Andes, Colombia.

[12] Michelin. (2014). *Análisis de TKPH*.

[13] Michelin. (2010). *Informaciones Técnicas para Minería y Obra Civil - Manual*.

[14] Mora Huaco, A. (2011). *Factores Influyentes en la vida útil de llantas de camiones Komatsu 930E Fuera de carretera en la mina a tajo abierto* [Tesis de pregrado]. Universidad Nacional de San Agustín.

[15] Neuma Perú. (2014). *Reporte Mensual junio 2014*.

[16] R.E. Merry, M. Frei, and S. Kaszuba. (2017). Analysis of operating conditions for OTR tires in construction and mining. *Tire Science and Technology*, 45(4), 274-295.

[17] Paredes Sánchez, C. (2008). *Eficiencia en tiempo de vida de neumáticos con relación a rotación de posiciones 01 y 02 en Volquetes Komatsu 930E4* [Tesis de pregrado]. Universidad Nacional de Ingeniería.

[18] Parra, C. (2014). *Diseño de un plan de mantenimiento de neumáticos OTR para una empresa minera* [Tesis de pregrado]. Universidad de Antioquía, Colombia.

[19] SPCC. (2014). *Estadística de Reporte y Daños Febrero a junio 2014*.

[20] Tafur Portilla, R. (1995). *La tesis universitaria*. Editorial Mantaro.

[21] Tejada Díaz, A. (2014). *Metodología del cambio de posiciones 1 y 6 de Neumáticos Gigantes 793-D, Para Incrementar la vida útil y Reducir costos en SM Cerro Verde -Arequipa* [Tesis de pregrado]. UNSA.

[22] Trujillo, R. (2018). *Evaluación y optimización del rendimiento de los neumáticos OTR en la industria minera* [Tesis de pregrado]. Universidad Nacional de Ingeniería, Perú.

GLOSARIO

Acarreo mina: Se refiere al transporte de materiales, como minerales o rocas, desde el área de extracción en una mina hasta el lugar de procesamiento o almacenamiento. El acarreo de la mina implica el uso de vehículos especializados, como camiones o palas, para mover grandes cantidades de material.

CAEX: La sigla CAEX se refiere a «camión de alto tonelaje para explotación», que es un tipo de vehículo de carga utilizado en la minería a cielo abierto. Estos camiones son diseñados específicamente para transportar grandes cantidades de material, como minerales, en entornos mineros y suelen tener una capacidad de carga de varias toneladas.

HDPE: Es la abreviatura de *High-Density Polyethylene* ('polietileno de alta densidad'). El HDPE es un tipo de plástico utilizado en la fabricación de tuberías y otros productos. Es conocido por su

resistencia a la corrosión, la durabilidad y la capacidad para soportar altas presiones, lo que lo hace adecuado para aplicaciones en la industria minera.

OTR: Es la abreviatura de *Off-The-Road*, que se utiliza para referirse a neumáticos diseñados para aplicaciones fuera de carretera. Estos neumáticos están destinados a vehículos y maquinaria que operan en terrenos difíciles, como minas, canteras, obras de construcción y terrenos agrícolas.

Scraps: En el contexto de la conversación, *scraps* se refiere a residuos o fragmentos de materiales, como metales o plásticos, que resultan de procesos de fabricación o de desechos generados en una mina. Los scraps pueden ser recolectados y reciclados para reducir el desperdicio y recuperar materiales valiosos.

ACERCA DEL AUTOR

Ingeniero de minas por la Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa. Miembro del Colegio de Ingenieros del Perú (CIP). Egresado de la maestría en Gestión en Seguridad, Salud y Medioambiente en Minería por la Cámara Minera del Perú. Especialista en «Entrenador certificado por STS Escuela Suiza en gestión de proyectos», especialista en «Gestión de Operaciones Mineras» y «Gestión en dirección de proyectos bajo el enfoque PMBOOK» por Tecsup. Especialista en E-Learning por IT Madrid (España). Capacitaciones especializadas en supervisión de producción mina por Factor Humano Perú, Eagle Consulting SAC, APA Chile, IGH Group, HS Escuela de Liderazgo y Adelante Consultores.

Cuenta con experiencia laboral relacionada con la supervisión de operaciones mineras a tajo abierto; supervisión en seguridad y salud en el trabajo; capacitación y entrenamiento en prevención de riesgos; gestión de proyectos de capacitación en minería; especialista en el manejo de herramientas informáticas, sistemas y *software* control mina - sistemas *dispatch*, voladura, modelamiento-diseño, geomecánica; docente principal, coordinador/*planner* para cursos de carrera y proyectos de entrenamiento para empresas mineras privadas en Tecsup sur.

Autor de artículo técnico en la edición de 2019 de la *Revista I+i. Investigación aplicada e innovación*. Becado en Ciemin (2013) organizado por IIMP y PUCP.

@ rdelgado@tecsup.edu.pe /
robertodelgadoaleman@gmail.com

Recibido: 30-06-23
 Revisado: 03-07-23
 Aceptado: 29-07-23



Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons AtribuciónNoComercial 4.0 Internacional.

Comportamiento reológico del hidrocoloide del almidón de oca y su aplicación



Estudios de las propiedades del almidón de oca (*Oxalis tuberosa*) y caracterización por FTIR ATR

“Study of Oca (*Oxalis tuberosa*) Starch Properties and ATR-FTIR Characterization”

RESUMEN

La presente investigación tiene la finalidad de estudiar algunas propiedades reológicas del almidón de oca (*Oxalis tuberosa*), conocer su capacidad gelificante y realizar pruebas de esterificación con la finalidad de obtener un hidrocoloide modificado para poder emplearlo como un material bioplástico y evaluar si puede formar películas translúcidas. Se obtuvo la temperatura de gelificación del almidón de oca que alcanzó 61.3°C, La viscosidad dinámica fue de 7700 cp en el almidón de oca y al que se le dio un tratamiento para esterificación que dio una viscosidad 5680 cp. Se formaron biopelículas de almidón de oca translúcidas. Sin embargo, los resultados de FTIR ATR pudieron comprobar que el almidón no se acetiló por ese procedimiento.

ABSTRACT

*This research aims to study some rheological properties of oca starch (*Oxalis tuberosa*), to know its gelation behavior, and to carry out esterification tests in order to obtain a modified hydrocolloid to be used as a bioplastic material and evaluate if it is likely to form films. The gelation temperature of the oca starch reached 61.3 °C, its dynamic viscosity was 7700cp and was given an esterification treatment that resulted in a 5680cP viscosity. Translucent oca Starch biofilms were formed; however, the FTIR ATR results proved that the starch was not acetylated by this procedure.*

INTRODUCCIÓN

En la zona andina (altiplano) de Perú y Bolivia se siembra pequeñas hectáreas de oca para consumo propio, existen once variedades de oca que son sembradas en los departamentos de Ayacucho y Cusco [1]. Los tubérculos, así como muchos cereales, tienen un contenido de almidón que varía en su composición de amilosa y amilopectina. El almidón modifica sus propiedades como la gelificación. Este cambio se basa en la esterificación de los grupos hidroxilos del almidón. En general, el almidón como un biopolímero es una materia útil en la preparación de polímeros biodegradables. Esta investigación busca conocer y evaluar el comportamiento reológico del hidrocoloide y su aplicación [4] [7], como lo muestra la figura 6.

FUNDAMENTOS

La oca (*Oxalis tuberosa*) es un tubérculo oriundo del Perú, rico en almidón. Este tubérculo crece en zonas altoandinas desde los 3000 a 3900 m s. n. m. y su consumo se extiende en diversas regiones del Perú y Bolivia. Este tipo de tubérculo y sus variedades sirven como alimento en muchos platos tradicionales en esas regiones [11].

El almidón es un polisacárido, formado por dos polímeros amilosa y amilopectina y sus porcentajes varían según las diversas fuentes, por ejemplo: papa, granos de trigo, arroz, yuca, oca, mashua, entre otros.



Palabras Claves

Almidón, esterificación, hidrocoloide, prueba reológica ATR

Key words

Starch, esterification, hydrocolloid, rheological test ATR

Químicamente, el almidón es un polímero que contiene amilosa. Está formada por la unión de glucosas por enlaces α 1-4 glucosídicos que forman cadenas espiraladas. Del mismo modo, la amilosa es una cadena formada por glucosas enlazadas por

enlaces α 1, 4 glucosídicos y también α 1,6 glucosídicos, las cuales formarán las cadenas ramificadas formadas sobre 100,000 de unidades de glucosa.

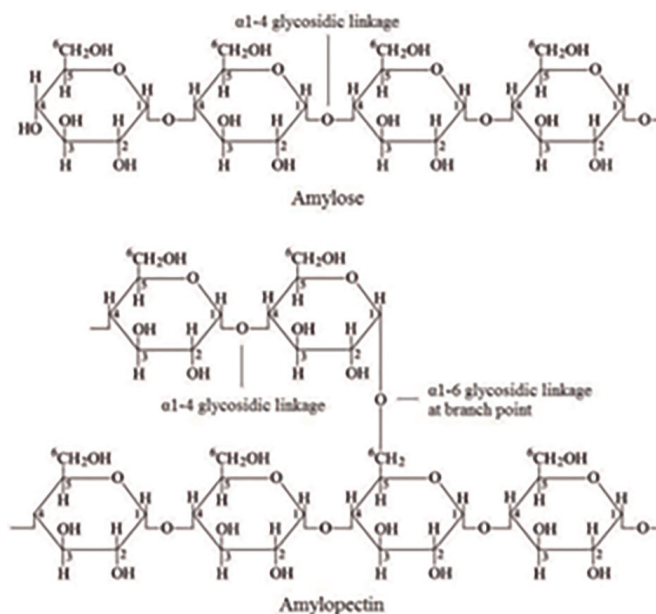


Figura 1. Estructura química y diferencias entre la amilosa y la amilopectina

Fuente: [3].

La amilosa consiste en una molécula formada desde 500 a 2000 unidades de glucosa se puede reconocer por formar un compuesto complejo con (reactivo de Lugol), generando un color que inicia en el azul.

Desde el siglo pasado, se ha procesado el almidón para ser convertido en un hidrocoloide empleado en la industria principalmente de alimentos. Actualmente, existen varios métodos para su obtención como por ejemplo métodos químicos, enzimáticos, entre otros.

Los hidrocoloides son sistemas que se emplean en estabilizar emulsiones, proteger sabores de diversos productos principalmente bebidas y en la fabricación de yogures. La goma arábica, goma xanthan, pectina, alginatos son alguno de los emulsificadores naturales comunes; sin embargo, también se emplean otro tipo de hidrocoloides tales como los almidones modificados.

El almidón modificado se obtiene por varios métodos como físicos, métodos químicos y enzimáticos.

Los métodos físicos emplean modificaciones térmicas, como calentamiento supercalentamiento, tratamiento por irradiación

de microondas, irradiación ultravioleta, irradiación gamma, tratamientos no térmicos como tratamientos a presión y ultra presión, recocimiento, entre otros [2].

En los métodos químicos, se encuentran los métodos por esterificación con ácidos carboxílicos, ácido fosfórico, métodos de eterificación que formará éteres metilación, carboximetilación respecto a los métodos de hidrólisis que incluye la hidrólisis enzimática y la dextrinización.

En esta investigación, se aplicará el método químico de esterificación, el cual consiste en realizar una reacción de esterificación, es una reacción de hidrólisis donde el grupo hidroxilo reacciona frente a un ácido orgánico o un ácido mineral. En el almidón, al presentar muchos grupos hidroxilo en las condiciones adecuadas, son esterificados frente a grupos como el grupo carbonilo de un ácido o un ion de un ácido oxácido.

El propósito del trabajo es modificar el almidón de la oca, y, por tanto, obtener un hidrocoloide, a través de la esterificación de los grupos hidroxilos, con la finalidad de evaluar sus propiedades según la técnica elegida.



Figura 2. Tubérculos de oca sin cáscara
Fuente: Elaboración propia.

La gelatinización es un proceso donde las moléculas, al hidratarse, se hinchan desde las regiones amorfas del almidón formando un gel, verdaderos hidrocoloides. Este comportamiento se debe a la acción de moléculas de agua formando redes intercaladas con interacciones de fuerzas de Van der Waals, enlace puentes de hidrógeno, entre otros [6].

La retrogradación es un proceso opuesto a la gelatinización, las moléculas de amilosa y amilopectina se reordenan por recristalización tanto de amilosa y amilopectina [9].

El proceso de retrogradación del almidón le permite, por medio de un tratamiento térmico, formar biopelículas con aplicaciones en el desarrollo de formulaciones para bioplásticos [12].

Finalmente, el almidón se deposita en la cápsula de porcelana y se somete a una temperatura de 45 °C +/- 2°C en la estufa eléctrica por 4 horas para luego ser molido y tamizado en una malla n.º 100 [8].

Extracción del almidón de oca (*Oxalis tuberosa*)



Figura 3. Esquema del proceso de extracción de almidón
Fuente: Elaboración propia.

METODOLOGÍA

Extracción del almidón nativo

Se utilizan 5 kg de oca de las cuales se seleccionan las sanas, liberadas de impurezas y se lavan. Seguidamente, la oca lavada se pela y acondiciona. Después, se filtra en un paño con agua ultra pura en proporción de 1:1 en masa con respecto al almidón. Los remanentes contenidos en el paño se juntan para ser licuados con agua con la misma proporción varias veces, logrando así obtener más almidón. Los filtrados obtenidos se decantaron durante 2 horas en un vaso de precipitación a temperatura ambiente para que se forme una capa de almidón. Sí hay presencia de fibras se vuelve a filtrar con un paño doblada en dos. Al terminar el tiempo de decantación, se retira el sobrenadante y se realizan lavados sucesivos por 30 minutos para liberarlo de fibras y otros componentes del tubérculo.

Se procede a solubilizar las proteínas del almidón realizando lavados con NaOH al 0,02 % durante 2 horas. Al finalizar el tiempo, se retira el sobrenadante y, luego, se añade agua al almidón en proporción de 1:1, seguidamente, se ajusta a pH 7 con HCl 2N. Se realizó una última decantación para eliminar el sobrenadante final.



Figura 4. Extracción del almidón por vía húmeda

Fuente: Elaboración propia.



Figura 5. Almidón nativo seco de oca

Fuente: Elaboración propia.

Acetilación del almidón oca

El método de modificación que se hizo estuvo basado en trabajos de Vargas [7] y Rincón [4], realizando modificaciones necesarias para el tubérculo. Se pesó 150 gramos de almidón nativo obtenido en la etapa anterior (base seca) y se mezcló con 26,25 gramos de Na_2SO_4 disolviéndose en 300 mL de agua destilada, después, se regula el pH a 8-8,4, usando una solución de NaOH al 25 % (w/v); seguidamente, se añade anhídrido acético al 10 % con respecto a la cantidad de almidón; es decir, 22,5 mL, después, se reguló el pH de 8-8,4 y se dejó que la reacción se diera por 10 horas a temperatura ambiente. Una vez culminada, la reacción el producto obtenido se regula a pH 7 utilizando HCl 2N, luego de esto se realizaron 3 lavados sucesivos con proporciones de 1:1,

sometiéndose a una centrifugación a 1000 rpm por 521 minutos con la intención de retirar el agua de lavado. Finalizado esto, se realiza un secado a $60\text{ }^\circ\text{C} \pm 2\text{ }^\circ\text{C}$ en una estufa y se tamiza a malla n.º 100.

Temperatura de gelatinización

Se empleó 3 gramos de almidón de oca con tratamiento químico con 30 mL de agua destilada. Se llevó a calentamiento en baño maría y a tres temperaturas según la tabla 1, realizándose una agitación constante y, con la ayuda de un termómetro, se obtuvo la temperatura de gelificación del almidón como lo muestra la figura 6.

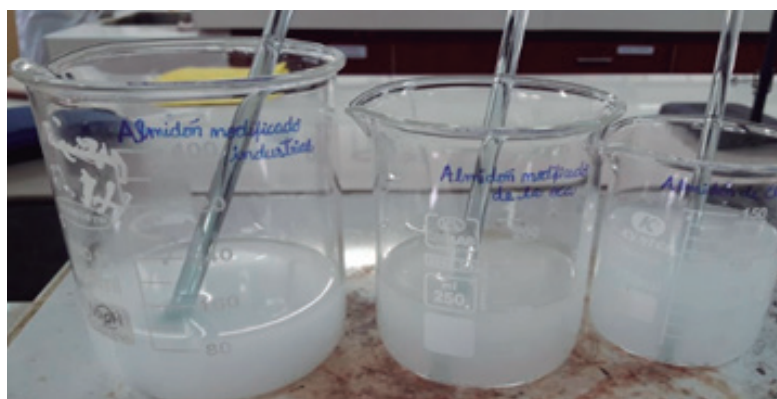


Figura 6. Determinación de la temperatura de gelificación en muestras de almidón

Fuente: Elaboración propia.

Viscosidad dinámica

La suspensión de almidón se prepara al 12 % p/p, el cual se moverá por primera vez a 960 rpm por 60 s y, después, se mantiene a 160 rpm para el resto de la prueba. Seguidamente, se calentó a 58 °C por 120 s, se procede a incrementar la temperatura a 95 °C por 600 s y, finalmente, la muestra se enfría a 50 °C [7].

Reacción de esterificación del almidón de oca

El método de modificación que se utilizó fue el descrito por Rincón [4], realizando modificaciones necesarias para el tubérculo. Se pesó 150 gramos de almidón nativo obtenido en la etapa anterior (base seca) y se mezcló con 26,25 gramos de Na₂SO₄ disolviéndose en 300 mL de agua destilada, después, se regula el pH a 8-8,4 usando una solución de NaOH al 25 % (w/v); seguidamente, se realiza la esterificación del almidón con se añade anhídrido acético al 10 % con respecto a la cantidad de almidón; es decir, 22,5 mL; después, se reguló el pH de 8-8,4 y se dejó que la reacción se diera por 10 horas a temperatura

ambiente. Una vez culminada la reacción, el producto obtenido se regula a pH 7 utilizando HCl 2N; luego de esto, se realizaron 3 lavados sucesivos con proporciones de 1:1, sometiéndose a una centrifugación a 1000 rpm por 521 minutos con la intención de retirar el agua de lavado. Finalizado ello, se realiza un secado a 60 °C +/-2 °C en una estufa y se tamiza a malla n.º 100 [4].

Prueba de formación de biopelículas

Se prepara una mezcla de almidón de oca, empleando como plastificante glicerina y ácido acético en la proporción indicada en la tabla 3.

Contenido de humedad en las biopelículas

Esta propiedad de barrera es importante, ya que todo material polimérico no permite el paso de vapor de agua por su interior. Para ello, se tomaron muestras de las películas obtenidas para someterse a 110 °C por 2 horas y calcular la humedad que tienen comparando su peso inicial y final.

$$\text{Porcentaje de humedad} = \frac{\text{masa inicial de la muestra} - \text{masa después de la estufa}}{\text{masa inicial de la muestra}} \times 100$$

(Ec. 1)

Ensayos comparativos para el almidón de oca.



Figura 7. Aspecto de la biopelícula de almidón de oca

Fuente: Elaboración propia.

Identificación de la presencia de amilosa

Se tomó una alícuota de oca para identificar el almidón de oca. Se hizo una papilla y se añadieron gotas de triyoduro de potasio

(solución de Lugol). Esto genera un color azul marino para el reconocimiento de la presencia de amilosa.



Figura 8. Reconocimiento de amilosa con solución de Lugol

Fuente: Elaboración propia.

Espectroscopia de infrarrojo - análisis de reflectancia total atenuada (ATR)

El análisis se realizó con un equipo modelo ALPHA de la Universidad Nacional de Ingeniería, en el cual la mayoría de las muestras

sólidas no se requiere una preparación previa. En el caso del almidón, se disgregó y secó el almidón nativo y modificado para poder ser sometidos a la prueba, posteriormente, se analizaron los datos en el *software* Spectragryph versión 1.2.7.



Figura 9. Realizando el ATR para el almidón con el espectrómetro Alpha en la UNI

Fuente: Elaboración propia.

RESULTADOS

Tabla 1
Resultados de la medición de la temperatura de gelatinización de almidón de oca

Temperatura inicial del almidón en solución (°C)	T _{inicial} de gelatinización (°C)	T de gelatinización (°C)	T _{final} de gelatinización (°C)
23,1	49,4	54,3	61,2
23,4	49,5	54,6	61,3
23,4	49,5	54,5	61,4
Promedio	49,5	54,5	61,3

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 2
Datos de viscosidad en almidón de oca

La viscosidad se obtuvo empleando el vibroviscosímetro Vibroviscometer SV-1 AND Japan.

Viscosidad	Almidón de oca	Almidón de oca tratado
Centipoises cP	7700	5680

Tablas 3 y 4
Cantidades de reactivos usados para obtener películas de almidón de oca y resultados de humedad en las películas de almidón nativo

Ensayo	Glicerina (mL)	Ácido acético (mL)	Almidón (g)	Agua (mL)
A	1			
B	2	1	3	9
C	3			

Ensayo	Masa inicial(g)	Masa final(g)	Masa de agua (g)	%Humedad
D	1,648	1.034	0,614	37,236
E	0,867	0.675	0,191	22,089
F	4,695	3.057	1,639	34,900

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 5
Comparación de bandas entre almidón nativo y tratado, datos del espectro ATR FT IR

Número de onda (cm ⁻¹)		
Almidón nativo	Almidón acetilado al 15 % de anhídrido acético	Grupos funcionales
3252,8	3254,9	Grupo OH / Representa presencia de humedad
2927,3	2929,4	Enlace C-H
1635,7	1639,8	Vibración del grupo carbonilo C=O
1149,5	1149,5	Estiramiento del grupo C-O y C-C
1077,4	1077,4	Estiramiento del grupo C-O y C-C
992,94	995,0	Estiramiento del grupo C-O y C-C
927,02	929,08	Enlace glucosídico C-O-C

Fuente: Elaboración propia.

Nota. Se muestran los resultados obtenidos para la prueba de infrarrojo del almidón nativo y modificado de la oca.

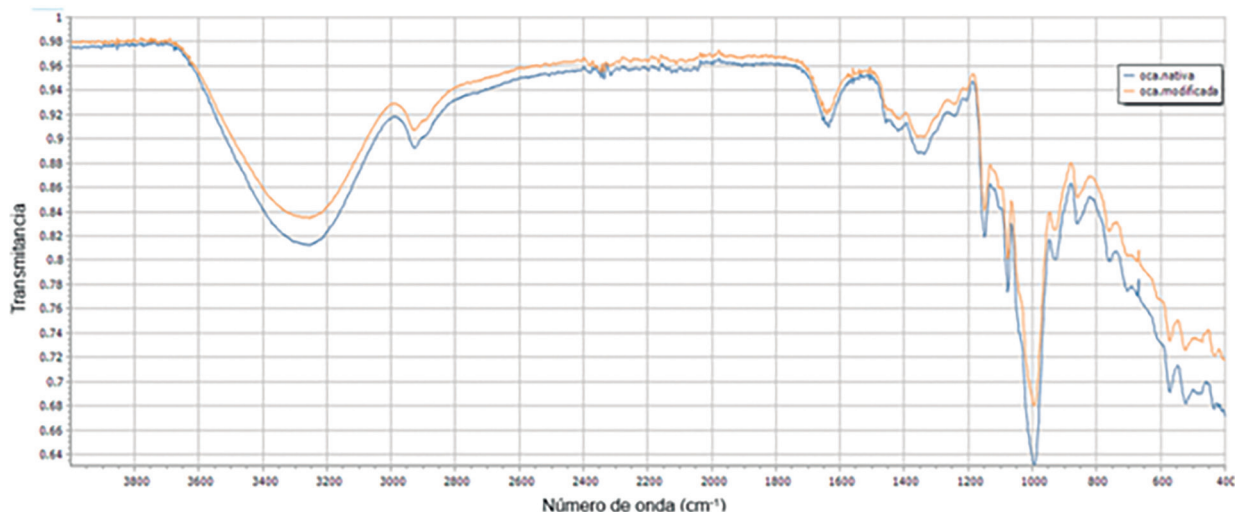


Figura 10. Espectro de FTIR-ATR entre dos tipos de almidón nativo y almidón tratado de oca

Fuente: Elaboración propia.

RESULTADOS

Prueba 1: Viscosidad

Se determinó que el almidón nativo tiene mayor viscosidad que el almidón de moca tratado, debido al contenido mayor de amilosa, el cual tiene mayor esfuerzo de corte y genera mayor viscosidad. En el almidón tratado para ser modificado, la temperatura de gelatinización no varió.

Prueba 2: Temperatura de gelatinización

La temperatura de gelatinización no varió entre el almidón de oca sin tratar y el que recibió un tratamiento con la finalidad de acetilarlo.

Prueba 3: Reflectancia total atenuada (ATR)

En la tabla 5 y la figura 6, se aprecian las señales de absorción de los grupos funcionales presentes: hidroxilo (pertenecientes a

vibraciones al estiramiento de los enlaces O-H) con una señal de 3252,8 cm⁻¹ tanto para el almidón nativo y 3254,9 cm⁻¹ para el modificado, lo que puede representar la presencia de agua en la muestra. Asimismo, las señales de los grupos carbonilo C=O se encontraron a 1635,7 cm⁻¹ para el nativo y 1639,8 cm⁻¹ para el modificado, situándose dentro del rango de observado 1850 -1600 cm⁻¹, según las tablas de espectroscopia de infrarrojo (Silverstein, 2005). Por otro lado, los grupos metilos a 2927,3 cm⁻¹ para el nativo y 2929,3 cm⁻¹ para el modificado (rango observado 2960 cm⁻¹ a 2850 cm⁻¹ para el tipo de enlace C-H). Los enlaces C-O se encontraron a 992,94 cm⁻¹ para el nativo y 995 cm⁻¹ para el modificado (rango observado 800 a 1300 cm⁻¹). Las bandas registradas son características de sustancias con contenidos en carbohidratos.

El espectro de la reflectancia total atenuada FTIR ATR comprobó que, si bien no hubo acetilación del almidón de oca, su comportamiento varió probablemente por las interacciones polares entre las cadenas del polisacárido.

CONCLUSIONES

El almidón nativo de oca extraído se trató de modificar con anhídrido acético según la metodología planteada para almidón de papa [7]. Sin embargo, no dio resultados en almidón de oca. Se determinó la viscosidad, pudiéndose comprobar mediante las pruebas de viscosidad dinámica, siendo de 7700 cP para el almidón de oca recién extraído y 5680 cP para el almidón que se quiso modificar, y se obtuvo datos diferentes.

Se realizó la prueba de temperatura de gelificación. Los resultados indican que este último, presenta una T_g de 54,5 °C. En este caso, se encontró un valor cercano a la temperatura de gelatinización del almidón tratado, pues no mostró una diferencia.

El análisis por ATR FT IR por espectroscopia infrarroja permitió verificar que no se acetiló el almidón de oca. Esto nos permitió confirmar que, si bien no se habría logrado bajo esas condiciones, la acetilación del almidón de oca requerirá un tratamiento distinto.

En cuanto a la formación de películas, el almidón de oca muestra una translucidez que debe llamar el interés para siguientes trabajos.

REFERENCIAS

- [1] Glorio Paulet, P., Bello-Pérez, L. A., Salas, F., y Buleje, E. (2009). Características viscoelásticas y estimaciones de masas moleculares en almidón de oca (*Oxalis tuberosum*). *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 75(2), 266-276. <http://www.scielo.org.pe/pdf/rsqp/v75n2/a14v75n2.pdf>
- [2] Nawaz, H., Waheed, R., Nawaz, M., y Shahwar, D. (2020). Physical and chemical modifications in starch structure and reactivity. *Chemical properties of starch*, 9, 13-35. doi: <http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.88870>
- [3] Omeregje, H. Chemical properties of starch and its application in the food industry. *Chemical properties of starch*, 9. <https://www.intechopen.com/chapters/68437>
- [4] Rincón, A., Lizet Bou Rached, L., y Aragoza, F. (2007). Efecto de la acetilación y oxidación sobre algunas propiedades del almidón de semillas de Fruto de pan (*Artocarpus altilis*). *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 57(3), 287-294. http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0004-06222007000300012
- [5] Shaw, D. J. (1970). *Introducción a la química de superficies y coloides*. Exedra: Ciencia, tecnología, ingeniería.
- [6] Taco, M., Tamaki, Y., Teruya, T., y Takeda, Y. (2014). The Principles of Starch Gelatinization and Retrogradation. *Food and Nutrition Sciences*, 5, 280-291 <http://dx.doi.org/10.4236/fns.2014.53035>
- [7] Vargas, L., Martínez, P., y Velezmoro, C. (2016). Propiedades funcionales de almidón de papa (*Solanum tuberosum*) y su modificación química por acetilación. *Scientia Agropecuaria*, 223-230.

- [8] Velázquez, F. (2019). *Obtención y aplicación de almidones modificados por esterificación (oca) a partir de almidones nativos provenientes de tubérculos andinos* [Tesis de doctorado]. Universidad Nacional Agraria La Molina. <https://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12996/4250/velasquez-barreto-frank-fluker.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [9] Vega, de la J., Pico, C., Tubón, I., Arancibia, M., y Casado, S. (2022). Nanoscopic Characterization of Starch Biofilms Extracted from the Andean Tubers *Ullucus tuberosus*, *Tropaeolum tuberosum*, *Oxalis tuberosa*, and *Solanum tuberosum*. *Polymers*, 14(19), 4116. <https://www.mdpi.com/2073-4360/14/19/4116>
- [10] Wang, S., Li, C., Copeland, L., Niu, Q., & Wang, S. (2015). Starch retrogradation: A comprehensive review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 14(5), 568-585. <https://doi.org/10.3390/gels7040200>
- [11] Yenque, J., Santos, E., Salas, J., Feliciano, O., y Lavado, A. (2007). Caracterización y determinación de ecotipos de oca para el procesamiento de harinas en quebradas de Ancash distrito y provincia de Yungay Región Ancash Diseño y Tecnología. *Industrial Data*, 10(1), 7-10. <https://www.redalyc.org/pdf/816/81610102.pdf>

GLOSARIO

Acetilación: Es una reacción de esterificación particular, entre de grupos hidroxilos del presente en el almidón y iones acetilos. A determinadas condiciones de pH y temperatura, se lleva a cabo la hidrólisis de ciertos grupos hidroxilos provocando la acetilación de dichos grupos.

Amilosa: Es un polisacárido lineal que está compuesto por unidades de glucosa que tiene enlaces α 1-4 glucosídicos formando cadenas helicoidales.

Amilopectina: Este polisacárido presente en diversas proporciones en el almidón, Presenta dos tipos de enlace glucosídicos α 1-4 glucosídicos y en la bifurcación para iniciar la ramificación es el enlace α 1-6 glucosídico. Se caracteriza por presentar cadenas ramificadas y responsables de las zonas amorfas en el almidón.

Espectroscopia IR: Es una técnica que permite la interacción de la radiación infrarroja con respecto a la materia orgánica. La radiación infrarroja provoca en moléculas diversos movimientos y torsiones en la estructura. Las perturbaciones provocadas por la radiación infrarroja se plasman en el espectro de absorción, en función a los valores se interpreta y se caracteriza un compuesto orgánico.

FT IR ATR: Atenuated Total Reflectance Furrier Transform IR análisis de reflectancia total atenuada transformada de Furrier infrarroja.

Reología: Es la ciencia de la deformación y flujo de materia y su estudio ha contribuido a clasificar a los sistemas coloidales [5].

ACERCA DE LOS AUTORES

Laurence Salmon Barrantes

Químico farmacéutico. Egresado de la maestría de Química en la Pontificia Universidad Católica del Perú. Ha trabajado en laboratorios farmacéuticos y cosméticos. Actualmente, es docente principal de la carrera de Procesos Químicos y Metalúrgicos.

@lsalmon@tecsup.edu.pe

Guadalupe Paucar

Pre profesional de la carrera de Procesos Químicos y Metalúrgicos en Tecsup Lima.

@guadalupe.paucar@tecsup.edu.pe

Noelia Majerhua

Pre Profesional de la carrera de Procesos Químicos y Metalúrgicos en Tecsup Lima.

@noelia.majerhua@tecsup.edu.pe

Milagros Jimenez

Pre Profesional de la carrera de Procesos Químicos y Metalúrgicos en Tecsup Lima.

@milagros.jimenez@tecsup.edu.pe

Katerine Avellaneda

Pre Profesional de la carrera de Procesos Químicos y Metalúrgicos en Tecsup Lima.

@katerine.avellaneda@tecsup.edu.pe

Recibido: 15-06-23

Revisado: 21-08-23

Aceptado: 23-10-23



Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons AtribuciónNoComercial 4.0 Internacional.

Redes sociales más utilizadas
**por los estudiantes
de una institución
educativa y el impacto
en su rendimiento
académico**



Relación entre el uso de redes sociales y el rendimiento académico en estudiantes de las carreras de Big Data y Administración de Datos, Tecsup, 2022

“Relationship between the Use of Social Networks and the Academic Performance of Big Data and Data Administration Students of Tecsup, 2022”

Resumen

El objetivo principal de este trabajo es probar si existe una relación significativa entre la adicción a las redes sociales y el rendimiento académico de los estudiantes de Tecsup durante el ciclo 2022-2. Este estudio se justifica debido a que existe la idea arraigada de que el uso de las redes sociales afecta al rendimiento académico, lo cual no siempre resulta ser cierto.

Se trata de un trabajo de alcance descriptivo y correlacional; el diseño es no experimental, transversal y descriptivo. La población está formada por 52 estudiantes de las carreras de Big Data y Ciencia de Datos, y Administración de Datos del ciclo 2022-2. Debido a que dos estudiantes decidieron retirarse a mitad de ciclo y a pesar de haber completado el cuestionario de adicción a las redes sociales, se optó por eliminar la información de estos. Por tanto, la muestra final estuvo conformada por 50 estudiantes de las carreras y el ciclo mencionados. Se hizo uso de técnicas estadísticas como gráficos de barras simples y dobles, gráficos circulares, tablas de frecuencias y contingencia, así como la prueba de independencia; todo esto mediante el lenguaje de programación Python a través de Jupyter Notebook para su procesamiento.

Los resultados más importantes muestran que la red social más utilizada por los estudiantes es WhatsApp. Un mayor porcentaje de ellos accede a estas por medio de su celular o desde su casa (63,27 %). También, entre hombres y mujeres (17), se conectan entre 3 a 6 veces al día en su mayoría, y muchos de ellos (18) conocen al menos al 70 % de sus contactos. Con respecto a las dimensiones obsesión por las redes sociales (75,51 %), falta de control personal en el uso de las redes sociales (75,51 %) y uso excesivo de las redes sociales (81,63 %), se encuentran en el nivel medio. El valor del estadístico V de Cramer, que se utilizó para probar si existe relación entre las variables de estudio, resultó ser 0,0599.

Podemos concluir que existe un nivel intermedio de adicción a las redes sociales y de que no existe una relación significativa entre la adicción a las redes sociales y el rendimiento académico de los estudiantes de Tecsup.

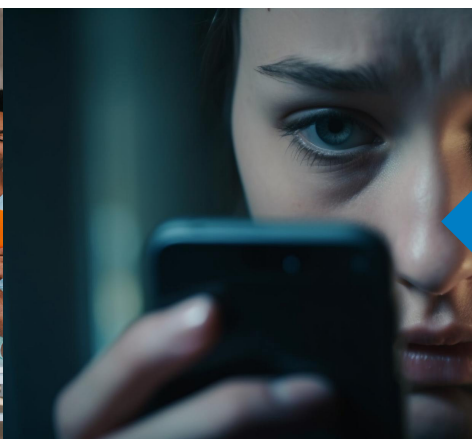
Abstract

The main objective of this work is to test whether there is a significant relationship between addiction to social networks and the academic performance of Tecsup students during the 2022-2 cycle. This study is justified because there is a deep-rooted idea that the use of social networks affects academic performance which is not always true.

It is a descriptive and correlational study, and for the design, it is non-experimental, cross-sectional and descriptive. The population is made up of 52 students of Big Data and Data Science, and Data Administration who are enrolled in the 2022-2 cycle. Due to the fact that two students decided to withdraw in the middle of the cycle and despite having completed the questionnaire on addiction to social networks, it was decided to eliminate their information. Therefore, the final sample was made up of 49 students of the aforementioned careers and cycle. Statistical techniques like simple and double bar graphs, circular graphs, frequency and contingency tables, and the independence test were applied with the support of Python programming language in a Jupyter Notebook for processing.

The main results show that the most used social network is WhatsApp (63,27%) through their mobile phones. Both men and women (17) use it between 3 and 6 times a day, and some others (18) know 70% of their contacts at least. There is a 75,51% obsession with social networks, a 75,51% lack of personal control in their use, and an 81,63% of excessive use. The value of Cramer's V statistics, which was used to test whether there is a relationship between the study variables, turned out to be 0,0599.

We can conclude that there is an intermediate level of addiction to social networks and that there is no significant relationship between addiction to social networks and the academic performance among Tecsup students.



Palabras Claves

Adicción a las redes sociales, rendimiento académico, gráficos estadísticos, prueba de independencia, V de Cramer.

Key words

Addiction to social networks, academic performance, statistical graphs, independence test, Cramer's V.

INTRODUCCIÓN

En el ámbito académico, se están produciendo avances debido al surgimiento de la web 2.0 y el empleo masivo de las redes sociales por parte de los estudiantes para comunicarse entre ellos, haciendo que el panorama educativo esté frente a un desafío educativo de los que debe responder [19].

La mayoría de los estudiantes universitarios pasa mucho tiempo en redes sociales como Facebook, WhatsApp, Instagram, entre otras, a través de sus computadoras de escritorios, en cibercafés o *smartphones*. Ello genera diversos debates entre expertos, los cuales han querido cuantificar el grado de influencia de estas redes sobre el rendimiento académico [14]. Las redes sociales pueden resultar un arma de doble filo, ya que, dependiendo del fin que se les dé, los estudiantes universitarios podrían perder el interés y la atención en sus clases, lo que conlleva al incumplimiento de sus responsabilidades académicas [11]. Por otra parte, con respecto a las redes sociales, en los últimos años, pasaron de ser medios para mejorar la comunicación a tener un impacto negativo en muchos estudiantes, además, de que estos no aprovechan los beneficios que les pueden brindar con respecto a su aprendizaje, dejándose llevar por lo novedoso del momento [7]. El uso excesivo de estas ha permitido documentar sus efectos negativos en el ámbito laboral, el funcionamiento social, el relacionado con el bienestar y los estados psicológicos, las perturbaciones en el sueño, entre otros. Los comportamientos adictivos hacia estas podrían afectar las habilidades de aprendizaje académico en los jóvenes y el comportamiento [18].

El objetivo de este trabajo es encontrar la posible relación entre el uso de las redes sociales —el cual fue medido con el cuestionario de adicción a las redes sociales (ARS)— y el rendimiento académico durante el ciclo 2022-2 —el cual consiste en el promedio ponderado de los estudiantes de las carreras de Big Data y Ciencia de Datos y Administración—. Para ello, se empleó de una prueba de independencia entre dichas variables para lo cual se discretizó el rendimiento académico en diferentes niveles mediante un baremo y también hacer un análisis descriptivo mediante gráficos estadísticos.

FUNDAMENTOS

En el trabajo de Mendoza [14], donde de buscar probar si existe relación del uso excesivo de las redes y el rendimiento académico en estudiantes de la carrera de Psicología de la Universidad Mayor de San Andrés, se encontró una relación negativa débil, aunque la adicción a estas podría comprometer su desarrollo universitario. En la tesis de Jáuregui [10], titulada *Análisis de la influencia de las redes sociales en el rendimiento académico de los estudiantes de la Facultad de Ciencias Económicas de la Universidad Nacional del Callao*, cuyo objetivo fue demostrar en qué medida las redes sociales afectan el rendimiento académico, se evidenció la influencia de las redes sociales sobre el rendimiento académico.

Por otra parte, el trabajo de Collazos [5] tiene como objetivo determinar la influencia de las redes sociales e internet en el rendimiento académico de los estudiantes de la escuela de Economía de la Universidad San Luis Gonzana, así, mediante una prueba de hipótesis, resultó que las redes sociales influyen en el rendimiento. Vilca *et al.* [23] buscaron conocer el uso de las redes sociales y su relación con el nivel de rendimiento académico,

concluyendo que existe una relación estadística en sentido negativo entre dichas variables, es decir, disminuye el rendimiento académico cuanto más se usen las redes sociales de manera distractora.

En la tesis de Rodríguez [18], titulada *Relación entre el tiempo de uso de redes sociales y el rendimiento académico en estudiantes de medicina humana*, cuyo objetivo fue determinar si existe relación entre el tiempo de uso de las redes sociales y el rendimiento académico de estudiantes de la Universidad Privada Antenor Orrego (UPAO), se halló que, a mayor tiempo de uso de redes sociales, menor rendimiento académico. Asimismo, en la tesis de Gordillo y Gutiérrez [8], se quiso identificar la relación entre el uso de las redes sociales y el rendimiento académico a un grupo de estudiantes de la Universidad de Cundinamarca; de este modo, se concluyó que el empleo de las redes sociales sí afecta el rendimiento académico.

La tesis de Barzola [3], cuyo fin era probar si existe relación entre el uso de las redes sociales y el rendimiento, encontró que se relacionan significativamente según el coeficiente de correlación de Spearman. En la investigación de Seclen [20], *Uso de las redes sociales y su influencia en el rendimiento académico de los estudiantes de sociología -2018*, cuyo fin fue analizar el empleo de las redes sociales y su influencia en el rendimiento académico de estudiantes de la Universidad Pedro Ruiz Gallo, se concluyó que, si bien no afecta su promedio académico, sí al tiempo que dedican a estudiar o realizar actividades académicas.

Meza [15], en su trabajo, buscó determinar la influencia de las redes sociales en el rendimiento académico de un grupo de estudiantes de una universidad, todos ellos del tercer a octavo semestre. En este, se encontró que la mayoría utiliza como redes sociales a Facebook y YouTube, y mediante una prueba de independencia chi-cuadrado, se determinó que no influye en el rendimiento académico. De acuerdo con Mamani [11], en su trabajo titulado *Relación entre el rendimiento académico y el uso de las redes sociales en los estudiantes de las E.A.P. de Enfermería Tacna - 2015*, que tuvo como objetivo determinar la relación entre el rendimiento académico y el uso de las redes sociales de una institución de enfermería, no existe una relación significativa entre estas, sabiendo que el rendimiento académico es regular en el 75,8 % de los estudiantes.

Así, este trabajo busca analizar el empleo que le dan los estudiantes de la carrera de Big Data y Ciencia de Datos y los de Administración de Datos a las redes sociales, y rastrear si de alguna manera se correlaciona con su rendimiento académico durante el semestre 2022-2, ya sea mejorando o empeorando este.

Dentro de las limitaciones encontradas, por ser una encuesta de carácter voluntario, no todos los estudiantes del primer a sexto ciclo participaron. Esto forzó a que no se llevará a cabo un muestreo probabilístico y se optó por considerar como muestra a todos los participantes, ya que, frente a la pregunta de si usan redes sociales, todos respondieron afirmativamente.

METODOLOGÍA

Tipo y diseño de investigación

La investigación que se llevará a cabo será de tipo cuantitativa [9]. Además, se trata de un estudio de alcance descriptivo, pues se

busca especificar propiedades y características de un fenómeno, y correlacional se desea conocer «la relación o el grado de asociación que existe entre dos o más conceptos, categorías o variables en un contexto en particular» [9]. En este estudio se buscará la relación entre el uso de las redes sociales y promedio ponderado en el ciclo 2022-2 de los estudiantes de la carrera de Big Data y Administración de Datos de Tecsup, asimismo, se describirán las características de estos.

El diseño es no experimental, ya que «no hacemos variar de forma intencional las variables independientes para ver su efecto sobre otras variables» [9]. Además, es transversal, pues se tomaron los datos en un solo instante de tiempo y descriptivo, debido a que indaga los niveles de una variable o más en la población [9].

Debemos considerar que existen muchos de tipos de clasificaciones y métodos de investigación [21], y aquí nos hemos basado en Hernández *et al.* [9], puesto que es uno de los autores más reconocidos en materia de investigación.

Población y muestra

La población está conformada por 51 estudiantes de las carreras de Big Data y Administración de Datos del ciclo 2022-2 de la sede de Tecsup, Lima. Según Hernández *et al.* (2014), no siempre se requiere muestrear la población, debido a que se desean incluir todos los casos o cuando el tamaño de la población no es lo suficientemente grande. En este trabajo, se tomarán a 49 estudiantes como parte de la muestra, excluyéndose a dos de ellos, pues se retiraron a mitad de ciclo. Con respecto a lo anterior, el muestreo llevado a cabo fue no probabilístico por conveniencia; según Arias-Gómez, Villasís-Keever y Miranda [2], «el muestreo probabilístico resulta excesivamente costoso y se acude a métodos no probabilísticos, aun siendo conscientes de que no sirven para realizar generalizaciones, pues no se tiene certeza de que la muestra extraída se representativa».

Técnicas de recolección de datos

Se recurrió a una fuente de datos primaria para este trabajo. Con base en Malhotra [11], «son datos originados por el investigador con la finalidad específica de tratar el problema de investigación». Para recolectar la información, se empleó el cuestionario de adicción a las redes sociales (ARS), validado por Escurra y Salas [6] con una confiabilidad medida con el alfa de Cronbach que varía entre 0,88 y 0,92, cumpliendo los requerimientos básicos de la teoría de test clásica. Este consiste en 24 ítems en escala de Likert repartidos en tres dimensiones con sus respectivas confiabilidades; según Portocarrero [17]: obsesión por las redes sociales con los ítems 2, 3, 5, 6, 7, 13, 15, 19, 22 y 23 ($\alpha = 0,91$), falta de control personal en el uso de las redes sociales con los ítems 4, 11, 12, 14, 20 y 24 ($\alpha = 0,88$) y uso excesivo de las redes sociales con los ítems 1, 8, 9, 10, 16, 17, 18 y 21 ($\alpha = 0,92$). El cuestionario fue aplicado en el mes de octubre de 2022, el cual fue elaborado en la herramienta Google Forms, enviado posteriormente mediante un correo institucional y fue completado durante el transcurso de una semana.

Análisis de los datos

El análisis de la información se hizo mediante gráficos de barras, gráficos de barras apiladas, gráficos circulares y tablas para la parte descriptiva; además, se usó una tabla de contingencia para llevar a cabo la prueba de independencia entre las variables uso de las redes sociales y el rendimiento académico en la parte correlacional.

El *software* utilizado para ejecutar el análisis fue Python en su versión 3.9.12 a través de la interfaz web Jupyter Notebook de la distribución Anaconda.

RESULTADOS

Según Ortiz [16], el baremo «es una tabla que expresa de forma ordenada los valores resultantes de cálculos entre ciertas variables que van desde el mínimo hasta el máxima puntajes, los cuales nos permite interpretar los resultados obtenidos en la evaluación del cuestionario general y sus dimensiones». Se procedió a realizar una baremación para las dimensiones de acuerdo con las siguientes tablas:

Tabla 1
Baremo para la dimensión «obsesión» por las redes sociales

Puntaje	Nivel
De 0 a 16	Bajo
De 17 a 33	Medio
De 34 a 50	Alto

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 2
Baremo para la dimensión «falta de control en el uso las redes sociales»

Puntaje	Nivel
De 0 a 9	Bajo
De 10 a 20	Medio
De 21 a 30	Alto

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3
Baremo para la dimensión «uso excesivo de las redes sociales»

Puntaje	Nivel
De 0 a 13	Bajo
De 14 a 26	Medio
De 27 a 40	Alto

Fuente: Elaboración propia.

Minedu [22] establece que las calificaciones de las evaluaciones pueden ser cuantitativas o cualitativas, y se sugiere una escala vigesimal que se encuentra dentro del Diseño Curricular Básico Nacional de Educación Superior tal como se establece en la tabla 4.

Tabla 4
Escala para el rendimiento académico de acuerdo con las notas de los estudiantes de Tecsup

Nota	Escala
De 0 a 10	Insuficiente
De 11 a 13	Suficiente
De 14 a 16	Bueno
De 17 a 18	Muy bueno
De 19 a 20	Sobresaliente

Fuente: Elaboración propia.

Según la información encontrada en Andina [1], las redes sociales más utilizadas en el Perú son Facebook, WhatsApp, YouTube, TikTok e Instagram.

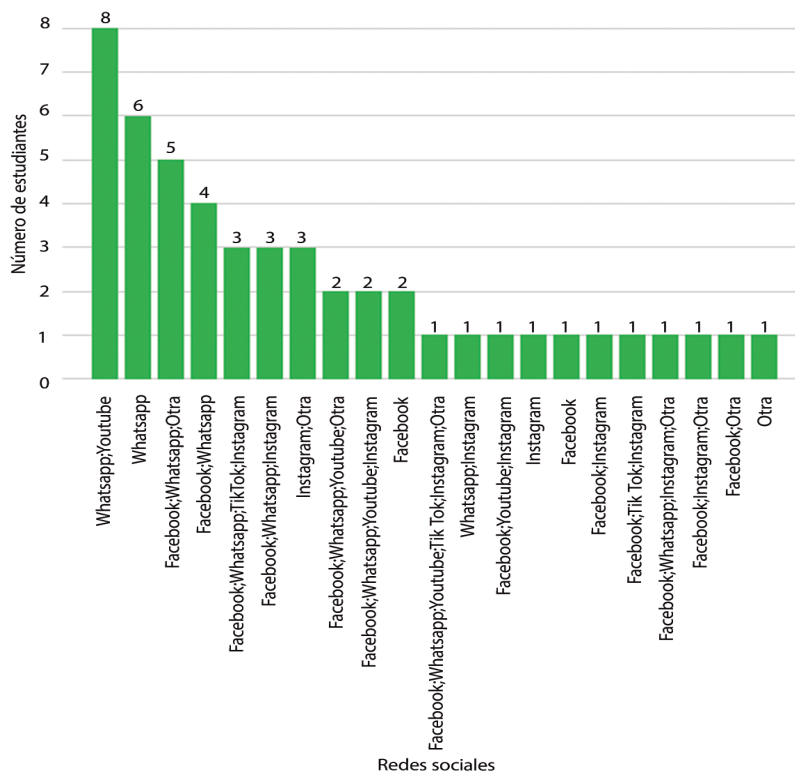


Figura 1. Gráfico de barra de las redes sociales más utilizadas por los estudiantes de Big Data de Tecsup, Lima, 2022

Fuente: Elaboración propia.

En la figura 1, podemos observar que existen ocho estudiantes que utilizan tanto WhatsApp como YouTube, seis que utilizan solo WhatsApp, y cinco Facebook, WhatsApp u otra red social entre los más destacable. Así, la red social preferida por los

estudiantes es WhatsApp; además, la mayoría emplea más de una y otra como alternativa, aparte de las que se mencionan en la información del portal Andina [1].

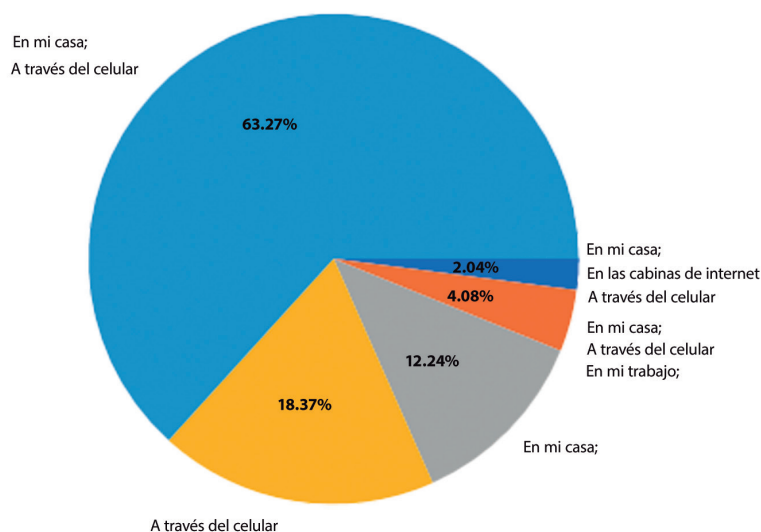


Figura 2. Gráfico circular de los lugares en donde se conectan a las redes sociales los estudiantes de Big Data de Tecsup, Lima, 2022

Fuente: Elaboración propia.

Con respecto a los lugares en donde se conectan a las redes sociales, en la figura 2 vemos que el 63,27 % prefiere hacerlo desde su casa y a través del celular, el 18,37 % solo mediante

el celular, y el 12,24 % solo desde casa entre lo más importante. Son pocos los que lo hacen desde el trabajo o de alguna cabina de internet.

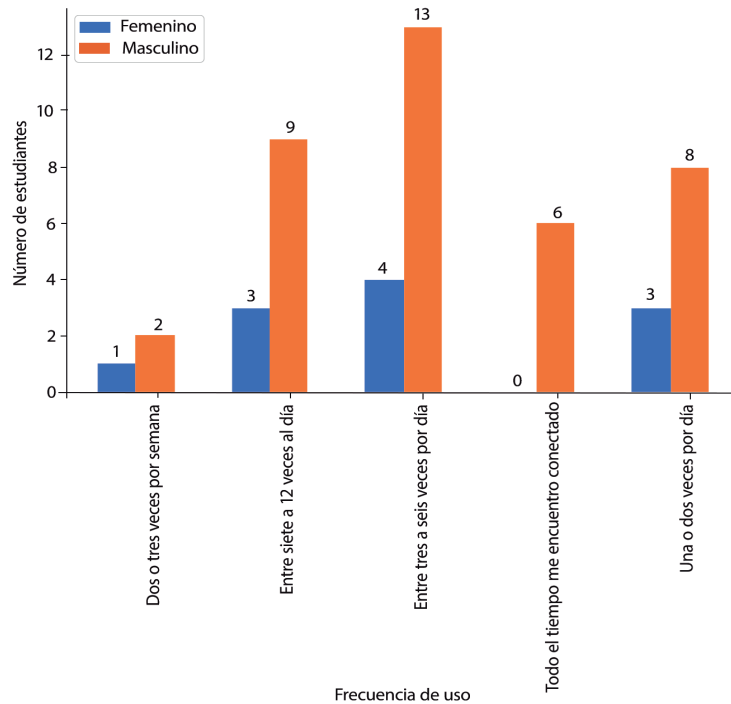


Figura 3. Gráfico de barras doble para la frecuencia de uso de las redes sociales con respecto al género de los estudiantes de Big Data de Tecsup, Lima, 2022

Fuente: Elaboración propia.

En la figura 3, se encuentra que, de los estudiantes, 13 hombres y 4 mujeres se conectan a las redes sociales entre tres a seis veces al día. También podemos notar que 2 hombres y solo una

mujer se conectan entre dos o tres veces por semana. En el caso de mantenerse conectado todo el tiempo, tenemos a 6 hombres y a ninguna mujer.

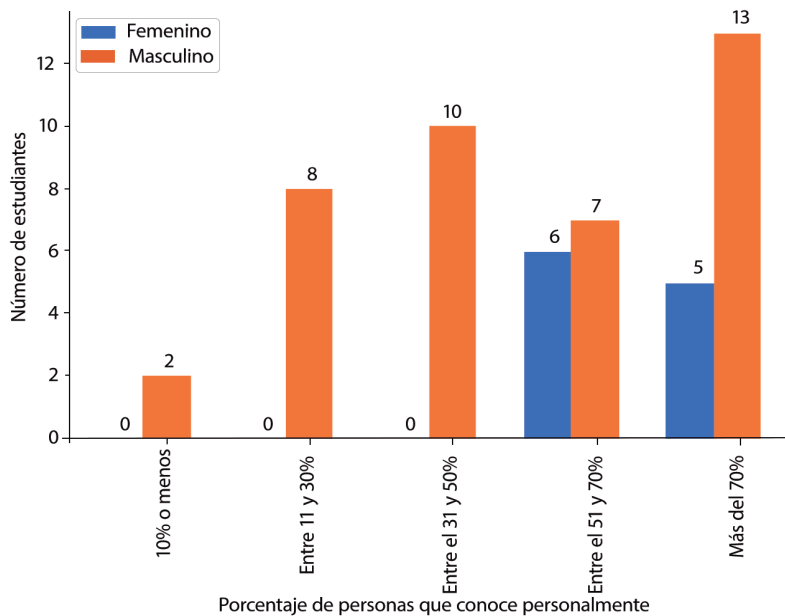


Figura 4. Gráfico de barras doble para el porcentaje de personas que conoce personalmente con respecto al género de los estudiantes de Big Data de Tecsup, Lima, 2022

Fuente: Elaboración propia.

En la figura 4, vemos que, de los estudiantes, 13 hombres y 5 mujeres conocen personalmente a más del 70 % de sus contactos en redes sociales; 7 hombres y 6 mujeres conocen entre el 51 % y 70 % de sus contactos. Solo existen 2 hombres y ninguna mujer que conocen a menos del 10 % personalmente.

Tabla 5
Frecuencias y porcentajes para la dimensión obsesión por las redes sociales

Obsesión por las redes sociales	Frecuencia	Porcentaje
Bajo	11	22,45 %
Medio	37	75,51 %
Alto	1	2,04 %

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo con la tabla 5, observamos que el mayor porcentaje de estudiantes presenta obsesión por las redes sociales (75,51 %) en el nivel medio y el menor porcentaje (2,04 %) se da en el nivel alto.

Tabla 6
Frecuencias y porcentajes para la dimensión «falta de control personal en el uso de las redes sociales»

Falta de control personal en el uso de las redes sociales	Frecuencia	Porcentaje
Bajo	10	20,41 %
Medio	37	75,51 %
Alto	2	4,08 %

Fuente: Elaboración propia

Tabla 8
Tabla de contingencia para las variables adicción a las redes sociales y rendimiento académico

Adicción a las redes sociales	Rendimiento académico					Total
	Insuficiente	Suficiente	Bueno	Muy bueno	Sobresaliente	
Alto	0	0	1	1	0	2
Medio	2	4	21	11	0	38
Bajo	0	2	5	2	0	9
Total	2	6	27	14	0	49

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 9
Valor del coeficiente V de Cramer entre las variables adicción a las redes sociales y rendimiento académico

Mínimo entre filas y columnas	Chi-cuadrado	V de Cramer
3	0,9992	0,0599

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con la tabla 6, observamos que el mayor porcentaje de estudiantes con falta de control personal en el uso de las redes sociales (75,51 %) se da en el nivel medio y el menor porcentaje (4,08 %) se da en el nivel alto.

Tabla 7
Frecuencias y porcentajes para la dimensión «uso excesivo de las redes sociales»

Uso excesivo de las redes sociales	Frecuencia	Porcentaje
Bajo	3	6,12 %
Medio	40	81,63 %
Alto	6	12,25 %

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con la tabla 7, observamos que el mayor porcentaje de estudiantes con uso excesivo de las redes sociales (81,63 %) se encuentra en el nivel medio y el menor porcentaje (6,12 %) se da en el nivel bajo.

En la tabla 8, se encontró que no existe ningún estudiante que haya logrado un rendimiento académico sobresaliente, así que tomaremos solo las cuatro primeras categorías para llevar a cabo una prueba de hipótesis de independencia entre las variables adicción a las redes sociales y rendimiento académico. Además, debido a que muchas de las frecuencias tienen valores menores a 5 y la muestra no es suficientemente grande, no es recomendable usar la prueba Chi-cuadrado [13], pudiendo optar por la prueba exacta de Fisher, aunque no es aplicable para tablas de contingencia de 2x2. Frente a esta dificultad existe el coeficiente V de Cramer el cual mide el grado de asociación entre variables nominales, así como ordinales como en nuestro caso [4]. Dicho coeficiente toma valores entre 0 (no existe asociación entre las variables) y 1 (existe asociación entre las variables).

Los resultados de la tabla 9 nos indica que el valor de chi-cuadrado es 0,9992 y, por tanto, se debe aceptar la hipótesis nula de independencia, es decir, no existe relación entre las variables adicción a las redes sociales y rendimiento académico. Además, el valor de la V de Cramer es 0,0599, lo cual indica que la relación entre las variables es muy débil y, en consecuencia, no existe relación entre las variables de redes sociales y rendimiento académico.

CONCLUSIONES

Las redes sociales más utilizadas por los estudiantes de Big Data y Ciencia de Datos y de Administración de Datos resultaron ser Facebook y WhatsApp. Esto debido al hecho que son dos más utilizadas no solo a nivel mundial, sino también en Perú, las cuales son soportadas por la mayoría de dispositivos.

Con respecto a las maneras de conexión a las redes sociales, la mayoría prefiere hacerlo desde casa o través de sus dispositivos móviles. Esto debido, posiblemente, a que muchos no cuentan con un plan de datos en sus celulares y optan por utilizar sus computadoras con conexión a internet en casa o el wifi para conectarse desde sus celulares.

Los estudiantes conectados entre tres a seis veces al día a las redes sociales son un número mayor de las estudiantes conectadas la misma cantidad de veces, pero en ambos casos resultan ser la mayoría de estos. Podemos notar entonces la necesidad de los varones de estar conectados durante más tiempo.

Los estudiantes que conocen a más del 70 % de sus contactos en las redes sociales son un número mayor que las estudiantes para el mismo porcentaje de contactos conocidos, aunque la mayoría de las mujeres conocen del 51 % al 70 % de sus contactos. En esta situación, notamos que los varones prefieren contactos que ellos conozcan como pueden ser familiares, amigos, así como compañeros de estudios y trabajo.

La prueba de independencia, usando el estadístico V de Cramer, prueba que no existe una relación significativa entre la adicción a las redes sociales y el rendimiento académico de los estudiantes de Tecsup, lo cual desmitifica el hecho de que estos le dan un mal uso a las redes sociales, ya que la mayoría tuvo un rendimiento académico bueno y muy bueno. Es posible que, debido a la virtualización, los estudiantes dejaran de ver a las redes sociales como herramientas de entretenimiento y ocio, y pasaran a integrarlas dentro de su proceso de aprendizaje en sus carreras.

REFERENCIAS

[1] Andina (17 de mayo de 2022). *ANDINA: Agencia Peruana de Noticias*. Recuperado de <https://andina.pe/agencia/noticia-sepa-cuales-son-plataformas-digitales-mas-usadas-por-peruanos-893353.aspx>

[2] Arias-Gómez, J., Villasis-Keever, M., y Miranda, M. (2016). El protocolo de investigación III: la población de estudio. *Alergia México*, 63(2), 201-206.

[3] Barzola, P. (2021). *Uso de las redes sociales y rendimiento académico en los estudiantes del I ciclo de la facultad de ingeniería pesquera y de alimentos de la Universidad Nacional del Callao, 2018* [Tesis de maestría]. Universidad José Carlos Mariátegui.

[4] Caycho, C., Castillo, C., y Merino, V. (2020). *Manual de estadística no paramétrica aplicada a los negocios*. Universidad de Lima.

[5] Collazos, C. (2019). *Redes sociales e internet y rendimiento académico de los alumnos de la escuela de Economía-UNICA, en el período 2019* [Tesis de maestría]. Universidad Nacional San Luis Gonzaga.

[6] Ecurra, M., y Salas, E. (2014). Construcción y validación del cuestionario de adicción a las redes sociales (ARS). *Liberabit*, 20(1), 73-91.

[7] Flores, G., Chancusig, J., Cadena, J., Guaypatín, Ó., y Montaluísa, R. (2017). La influencia de las redes sociales en los estudiantes universitarios. *Boletín Redipe*, 6(4), 56-65.

[8] Gordillo, L., y Gutiérrez, A. (2018). *Relación entre el uso de las redes sociales y el rendimiento académico de los estudiantes de II a X semestre de enfermería de la Universidad de Cundinamarca, inscritos en el IIPA 2017* [Tesis de grado]. Universidad de Cundinamarca.

[9] Hernández, R., Fernández, C., y Baptista, P. (2014). *Metodología de la investigación*. McGraw-Hill Interamericana Editores.

[10] Jáuregui, C. (2020). *Análisis de la influencia de las redes sociales en el rendimiento académico de los estudiantes de la facultad de ciencias económicas de la Universidad Nacional del Callao* [Trabajo de investigación]. Universidad del Callao.

[11] Malhotra, N. (2008). *Investigación de mercados*. Pearson Educación.

[12] Mamani, P. (2015). *Relación entre el rendimiento académico y el uso de las redes sociales en los estudiantes de las E.A.P. de Enfermería Tacna – 2015* [Tesis de licenciatura]. Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann.

[13] Mendvelso, F., y Rodríguez, M. (2018). Prueba Chi-cuadrado de independencia aplicada a tablas 2xN. *Revista Médica Sanitas*, 21(2), 92-95.

[14] Mendoza, J. (2018). Uso excesivo de redes sociales de internet y rendimiento académico en estudiantes de cuarto año de la carrera de Psicología UMSA. *Educación Superior*, 5(2), 58-69.

[15] Meza, E. (2020). *Uso de redes sociales y su relación con el rendimiento académico en los estudiantes de tecnología médica en la Universidad Peruana Los Andes, Huancayo, setiembre - octubre 2018* [Tesis de maestría]. Universidad Nacional Hermilio Valdizán.

[16] Ortiz, C. (2019). *Adicción a redes sociales en estudiantes del Centro Pre Universitario de la Universidad Inca Garcilaso*

de la Vega - Periodo 2019 [Tesis de licenciatura]. Inca Garcilaso de la Vega.

- [17]** Portocarrero, F. (2019). *Adicción a redes sociales y habilidades sociales en colaboradores del área administrativa de una institución privada de salud de Lima Metropolitana* [Tesis de licenciatura]. Universidad Ricardo Palma.
- [18]** Rodríguez, C. (2019). *Relación entre el tiempo de uso de redes sociales y el rendimiento académico en estudiantes de medicina humana* [Tesis de licenciatura]. Universidad Privada Antenor Orrego.
- [19]** Sánchez, J., Ruiz, J., y Sánchez, E. (2014). Uso problemático de las redes sociales en estudiantes universitarios. *Revista Complutense de Educación*, 159-174.
- [20]** Seclen, E. (2019). *Uso de las redes sociales y su influencia en el rendimiento académico de los estudiantes de sociología -2018* [Tesis de licenciatura]. Repositorio UNPRG.
- [21]** Tam, J., Vera, G., y Oliveros, R. (2008). Tipos, métodos y estrategias de investigación científica. *Pensamiento y acción*, 5(1), 145-154.
- [22]** Vásquez, Y. (2020). *Desempeño docente y rendimiento académico de la asignatura de Matemáticas en los estudiantes de estudios generales de la escuela de Administración Industrial de una institución educativa tecnológica*. Universidad Peruana Cayetano Heredia.

- [23]** Vilca, H., Mamani, Y., y Sosa, F. (2022). Redes sociales y su relación con el nivel de rendimiento académico en estudiantes universitarios de educación de la región andina de Perú. *Revista de Ciencias Humanas, Teoría Social y Pensamiento Crítico*, 137-154.

ACERCA DEL AUTOR

José Luis Espinoza Melgarejo

Magíster en Docencia Universitaria e Investigación Pedagógica de la Universidad San Pedro de Chimbote (USP), Perú; licenciado en Matemática de la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI), Perú. Docente de educación superior con más de 9 años de experiencia laborando en instituciones como IDAT, Tecsup, Universidad Privada del Norte y Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Ha desarrollado diversos cursos en ciencia de datos, matemática, estadística, finanzas entre otros. Especialista en estadística y ciencia de datos que cuenta con estudios de posgrado en la Universidad Nacional Mayor de San Marcos (UNSMS), Perú y actualmente estudiante de doctorado en Estadística Matemática de la Universidad Nacional del Santa (UNS), Perú.

[@ jespinozame@tecsup.edu.pe](mailto:jespinozame@tecsup.edu.pe) / josespijoin@yahoo.com

Recibido: 29-04-23
Revisado: 03-07-23
Aceptado: 15-28-23



Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons AtribuciónNoComercial 4.0 Internacional.

Tecsup

Sede Norte

Mz. A Sub lote 1 Urbanización Tecsup
Víctor Larco Herrera, Trujillo - Perú
informestrujillo@tecsup.edu.pe

T. (044) 485420

Sede Centro

Av. Cascanueces 2221
Santa Anita, Lima - Perú
informeslima@tecsup.edu.pe

T. (51-1) 317-3900

Sede Sur

Urb. Monterrey Lote D-8
José Luis Bustamante y Rivero,
Arequipa - Perú
informesarequipa@tecsup.edu.pe

T. (54) 426610

F. (54) 426654

www.tecsup.edu.pe

