



XX JORNADAS DE INVESTIGACIÓN 2023

IV CONGRESO DE INVESTIGACIÓN, CIENCIA Y TECNOLOGÍA

" EL PARADIGMA DE LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL "



Unexpo – Puerto Ordaz

" MEMORIAS DE LA JORNADAS DE INVESTIGACIÓN 2023 "

UNIVERSIDAD, CIENCIA y TECNOLOGÍA

Edición Especial de la Jornadas de Investigación 2021
Revista electrónica Trimestral editada por la Universidad
Nacional Experimental Politécnica "Antonio José de Sucre",
UNEXPO, Vicerrectorado Puerto Ordaz.

INDIZADA EN:

- Actualidad Iberoamericana 
- Aluminium Industry Abstracts
- Corrosion Abstracts
- CSA Engineering Research Database
- CSA Materials Research Database with METADEX
- CSA Recent References Related to Technology
- CSA Technology Research Database
- Environment Abstracts
- LATINDEX 
- Mechanical & Transportation Engineering Abstracts
- METADEX
- REVENCYT 
- Colección Scielo (www.scielo.org.ve) 
- CiteFactor 
- MIAR 
- ERIHPLUS 

REGISTRADA EN:

- Ulrich's Internacional Periodicals Directory

"Para garantizar la originalidad de los documentos presentados debe llenar el formulario de compromiso de originalidad que se encuentra en este enlace: <https://www.uctunexpo.autanabooks.com/index.php/uct/formatos> Todos los artículos presentados deben ser inéditos y originales."

Diagramación y Diseño de Portada:

Br. Manuelis Salazar

Impresión:

Dirección de Investigación y Postgrado, UNEXPO Puerto Ordaz

Visualización de la Revista:

<http://uctunexpo.autanabooks.com/index.php/uct>
www.uct.unexpo.edu.ve

Autoridades Nacionales de la UNEXPO

Rectora: Dra. Rita Añez

Vicerrectora Académica: Dra. Fraisa Codecido

Vicerrectora Administrativa: MSc. Mazra Morales

Secretaria: Ing. Magly de Peraza

Autoridades Regionales, Vicerrectorado Puerto Ordaz

Vicerrector: Dr. Luis Rosales

Director Académico: Lic. Richard Resplandor

Director Administrativo: Dr. Sergio Velásquez

Director de Investigación y Postgrado: MSs. Miriam Romero

DIRECTORIO DE LA REVISTA UNIVERSIDAD, CIENCIA Y TECNOLOGÍA

Director: Dr. Luis Rosales

Editor: Dr. Sergio Velásquez

Comité Editorial:

Dr. Luis Rosales-Romero

Universidad Nacional Experimental Politécnica
"Antonino José de Sucre", Vice Rectorado Puerto Ordaz
Puerto Ordaz-Venezuela.

Dra. Franyelit Suárez-Carreño

Universidad de las Américas
Quito, Ecuador

PhD. Yajaira Lizeth Carrasco Vega

Universidad Nacional de Cañete
Lima, Perú.

Dra. Yelka Martina López Cuadra

Universidad Nacional Intercultural Fabiola Salazar Leguía
de Bagua . Bagua, Perú

Mgt. Juan Segura

Universidad Tecnológica Indoamérica
Quito, Ecuador

Mgr. Benjamín David Carril Verastegui

Universidad Nacional de Trujillo
Trujillo, Perú.

Dr. Juan Carlos Alvarado Ibáñez

Universidad Nacional Intercultural Fabiola
Salazar Leguía de Bagua
Bagua-Perú

Dr. Jesús Ramón López Hercules

Universidad Experimental Politécnica UNEXPO
Puerto Ordaz, Venezuela.

Dr. Oscar Dam

Universidad Experimental Politécnica UNEXPO
Puerto Ordaz, Venezuela.

Mg. Diego Fernando Acosta Camino

Instituto Superior Tecnológico Edupraxis
Ambato-Ecuador.

Mg. Luis Concepción Atoche Alcas

I.E. N° 14100 – Paita – Perú
Paita-Perú

Dr. Orlando Rafael Gil Rubio

Universidad Católica Andrés Bello, sede Ciudad Guayana
Estado Bolívar, Venezuela

Dr. Jesús Ramón López Hercules

Universidad Experimental Politécnica UNEXPO
Puerto Ordaz, Venezuela.

Los artículos, opiniones y colaboraciones que se publican en esta revista no representan necesariamente la filosofía informativa ni institucional de la UNEXPO y podrán ser reproducidos previa autorización del Editor. En caso de reproducción se agradece citar la fuente y enviar ejemplares del medio utilizado a la UNEXPO, a la siguiente dirección: Dirección de Investigación y Postgrado, UNEXPO, Vicerrectorado Puerto Ordaz, Alta Vista Sur, Urb. Villa Asia, Final Calle China, Apdo. Postal 8050. Puerto Ordaz, Estado Bolívar, Venezuela. Telf./fax (0286) 9625245-9611382. Email: uct-poz@unexpo.edu.ve

Contenido

CONFERENCIAS

5

Olivo Adrián, Matemáticas para el machine learning: Motor de la inteligencia artificial.

10

Izquierdo Henry, Desmitificando la inteligencia artificial: entre la realidad y la ficción. Explorando el Pasado, el Futuro y sus Implicaciones: Realidad o Ficción

14

Izquierdo Henry, Ingeniería impulsada por la inteligencia artificial: navegando hacia un futuro educativo transformador.

20

Lárez Alcázar Alexis, Prognosis, un elemento de alto valor industrial, potenciado por la Inteligencia artificial.

26

Acevedo López Daniel y Duarte Parra Ángel, Tecnología blockchain en la industria de la fabricación.

36

Resplandor Richard, La inteligencia artificial y el mercado laboral : Preparando los estudiantes para el futuro.

Contenido

ISBN-; 978980183539-4 / NPL-; BO2023000059

CONFERENCIAS

42

Velez Cruz Alex J y Dam Oscar Gilberto, A Study of Mechanical and Electrical Properties Using Experimental Relations Between Aging, Calcium Concentration, pH and Parathyroid Hormone (PTH) and Nernst Equation.

51

Girón Mara, Análisis de convergencia de los resultados de la aplicación del modelo Determinación del Efecto de las Anomalías Climáticas en la Interacción Suelo-Atmosfera (DEACISA/ DECASAI).

62

Rodríguez María, Rojas Francisco, Maita Aymara y Birrot Angel, Determinación Mediante Simulaciones Termoeléctricas el Amperaje y las Dimensiones de los Bloques Anódicos Apropriados para Mejorar la Producción de Aluminio en las Celdas V-350 de C.V.G VENALUM.

71

Baisdem Orlando, Rojas Francisco, Salcedo Luis, Maita Aymara y Birrot Angel, Estudio de la Influencia de las Corrientes del Booster en las Distribuciones Termoeléctricas de las Celdas V-350 usando el Método de Elementos Finitos.

80

Girón Villarroel Thamara, Formulación matemática del consumo de energía eléctrica desagregada del rango del uso de los dispositivos eléctricos dictaminado en la AIE.

89

Jessica Arcila, Rojas Francisco, Angel Birrot, Edris Lyon y Aymara, Maita, Influencias de los Insertos de Cobre en las Barras Colectoras Catódicas en la Producción y la Eficiencia Eléctrica de las Celdas de Reducción de Aluminio de C.V.G VENALUM.

100

Núñez Ernesto y Ramirez Luis, Uso de microscopio digital USB en la caracterización litológica del mineral de hierro.

108

Rodríguez Gustavo, Instalación, calibración y uso de equipo de espectrometría de emisión óptica.

MATEMÁTICAS PARA EL MACHINE LEARNING: MOTOR DE LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL

MSc. Adrián Olivo

adolivo@uc.edu.ve/ aolivo@unexpo.edu.ve

Universidad de Carabobo. Departamento de Matemáticas y Física CaraboboVenezuela

Resumen: El siguiente artículo es de carácter informativo, en el cual se describe la disciplina del Aprendizaje automático (Machine Learning) como una rama de las matemáticas aplicadas y a su vez un subcampo de la Inteligencia Artificial. En este sentido, cada aspecto de la matemáticas necesarias para desarrollar los Algoritmos del Machine Learning se enlaza de forma coherente con el fin pedagógico de esclarecer este nuevo conocimiento que forma parte fundamental del nuevo paradigma de la Inteligencia Artificial.

Palabras Clave: Matemáticas, Machine Learning, Inteligencia Artificial, Máquinas inteligentes.

MATHEMATICS FOR MACHINE LEARNING: ENGINE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE

Abstract: The following article is informative in nature, in which the discipline of Machine Learning is described as a branch of applied mathematics and in turn a subfield of Artificial Intelligence. In this sense, each aspect of the mathematics necessary to develop Machine Learning Algorithms is coherently linked with the pedagogical purpose of clarifying this new knowledge that is a fundamental part of the new paradigm of Artificial Intelligence.

Keywords: Mathematics, Machine Learning, Artificial Intelligence, Intelligent machines.



I.INTRODUCCIÓN

A partir de mediados de la década de 1930, los matemáticos: Alan Turing, Alonzo Churh, Jhon Von Neumann, Walter Pitts, Warren Mc. Culloch y Jhon Mc. Carthy crearon las bases de la Inteligencia Artificial, soñaban con construir complejas máquinas que tuvieran las mismas características que la inteligencia humana. [1] En consecuencia, hubo un desarrollo paulatino en el avance del desarrollo de algoritmos paralelamente con el auge de la tecnología computacional y de allí al desarrollo de aplicaciones en diversos campos de la ciencia e ingeniería. Este trabajo se divide en la forma siguiente: en la sección II: Machine Learning e Inteligencia Artificial, sección III: Diagrama del Analisis de datos, sección IV: Algoritmos del Machine Learning, sección V: Algoritmos del Deep Learning, sección VI: Conclusiones y sección VII: Referencias bibliográficas.

II.MACHINE LEARNING E INTELIGENCIA ARTIFICIAL

La figura 1 muestra las relaciones conceptuales entre

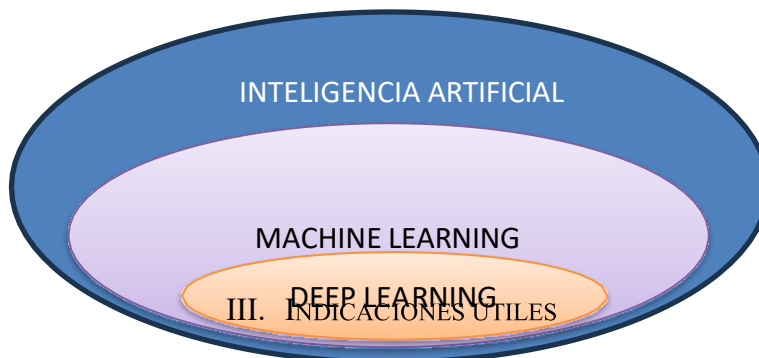


Figura 1: Machine Learning e Inteligencia Artificial

III.ANÁLISIS DE DATOS

La figura 2 señala un diagrama de dependencia de las disciplinas en la que se desarrolla el análisis de datos y su relación con la maquina inteligente. El Álgebra Lineal proporciona el marco matemático para trabajar con vectores y matrices que se utilizan para construir los algoritmos del machine learning. El Cálculo construye las herramientas para optimizar los algoritmos del machine learning. Estos incluyen conceptos basados en funciones lineales y no lineales y así como su gradiente que se emplea para minimizar el error en los modelos de aprendizaje automático. La Probabilidad y Estadística permite comprender y modelar la incertidumbre en

la inteligencia artificial, machine learning y deep learning. En este sentido, la inteligencia artificial es una disciplina que se encarga del desarrollo de sistemas y máquinas inteligentes con la capacidad de realizar tareas que de otro modo requerirían inteligencia humana. Esto se logra a través de algoritmos del machine learning, el cual es un subcampo de la inteligencia artificial que se centra en crear algoritmos a través del Análisis matemático de Datos permitiéndole a las máquinas aprender autónomamente para realizar predicciones y tomar decisiones basadas en patrones observados. Estos sistemas requieren la intervención humana en la toma de decisiones. Por otra parte, el deep learning un subconjunto del machine learning. Ésta utiliza Redes Neuronales Artificiales para procesar datos a través de capas de algoritmos y tomar una decisión precisa sin intervención humana.

los modelos de aprendizaje automático y obtener conclusiones de los mismos. En este sentido, el propósito de la Optimización es encontrar o identificar la mejor solución posible, entre todas las soluciones potenciales, para un problema dado, en términos de algún o algunos criterios de efectividad o desempeño, de manera tal que se construyen todos los algoritmos básicos necesarios para conformar los algoritmos del machine learning, que luego a través de la programación permite transformarlos en lenguaje computacional para que una máquina inteligente los ejecute para realizar una determinada tarea.

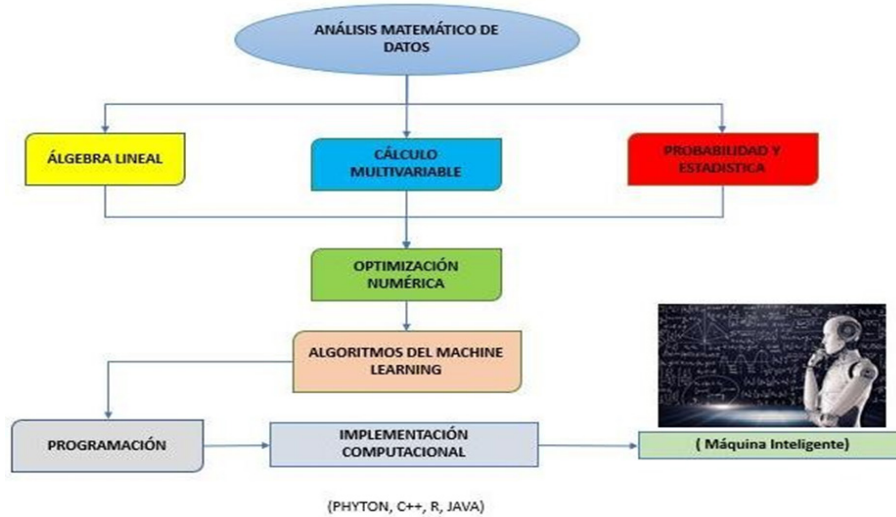


Figura 2: Analisis matemático de datos

IV.ALGORITMOS DEL MACHINE LEARNING

La figura 3 muestra un diagrama donde se describen los algoritmos utilizados ampliamente a día de hoy. Estos se clasifican según la forma en que aprenden las máquinas inteligentes. En el Aprendizaje supervisado se usan algoritmos que aprenden iterativamente de los datos para conseguir que las computadoras puedan localizar información escondida sin la necesidad de programar a cada uno de ellos para que sepan dónde buscar. Por otra parte, el Aprendizaje no supervisado los modelos no aprenden a partir de los datos de en-

entrenamiento. Son los propios modelos sin supervisión los que encuentran los patrones subyacentes en los datos a analizar. Este tipo de aprendizaje es comparable al proceso que tiene lugar en el cerebro humano cuando aprende cosas nuevas. Sin embargo, en el Aprendizaje por refuerzo la máquina guía su propio aprendizaje a través de recompensas y castigos. Es decir, consiste en un sistema de instrucción autónomo cuyo camino es indicado según sus aciertos y errores, propio de la teoría conductista en el aprendizaje humano.

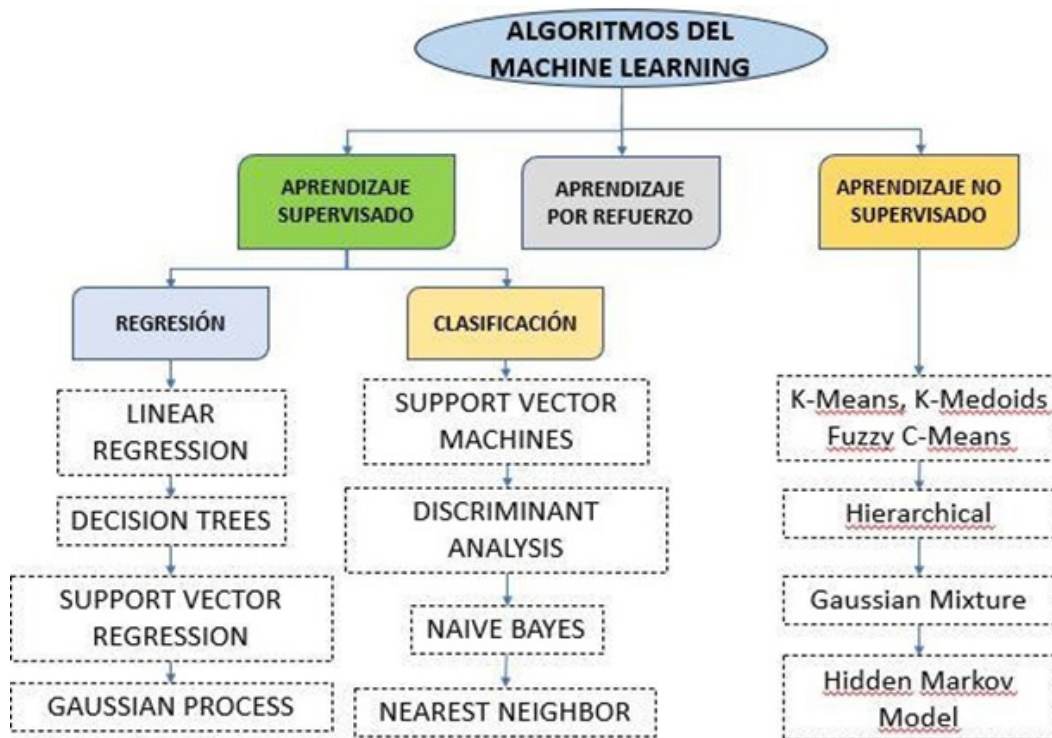


Figura 3: Algoritmos del Machine Learning

V.ALGORITMOS DEL DEEP LEARNING

En la figura 4 se muestra un esquema donde se señalan los algoritmos del deep learning, cuya base fundamental es el primer modelo matemático de neurona artificial desarrollado por Walter Pitts y Warren Mc. Culloch en 1943. En este sentido, Frank Rosenblatt desa-

rolla el Perceptron con base al modelo de Mc. Culloch y Pitts; los cuales permitieron el desarrollo de un conjunto de técnicas que han evolucionado paralelamente al auge de la potencia de cálculo de las computadoras, que a su vez éstas forman parte del cerebro artificial de toda máquina inteligente.

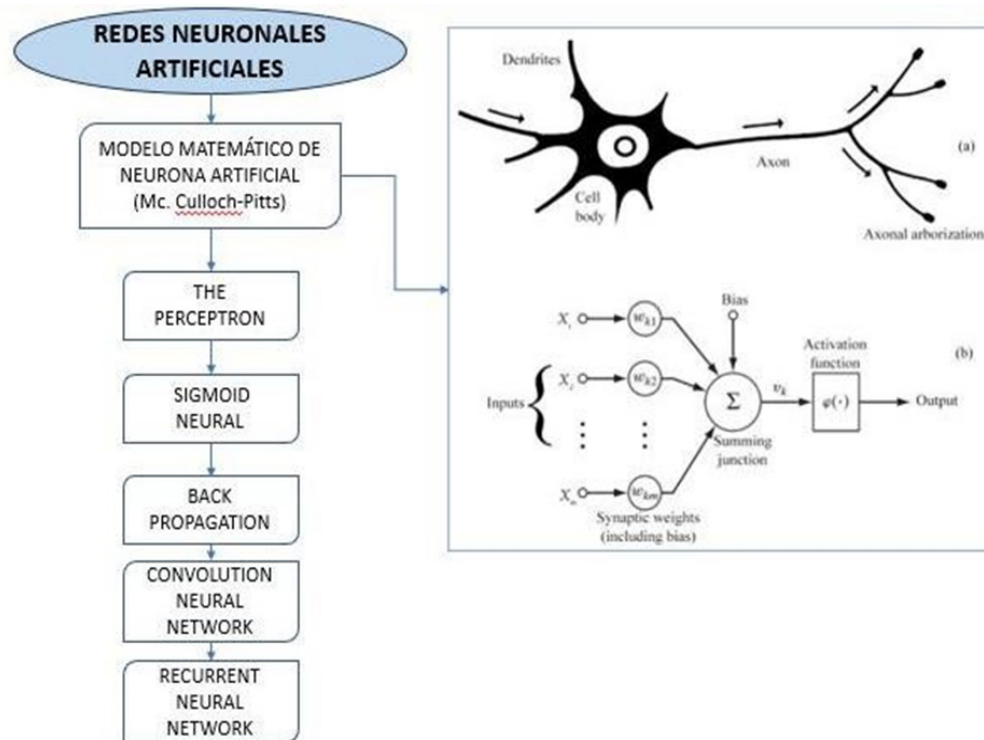


Figura 4: Algoritmos del Deep Learning

VI.CONCLUSIONES

La importancia de las Matemáticas para el Machine Learning subyace en los siguientes aspectos:

- Seleccionar el algoritmo de machine learning correcto tomando en cuenta su precisión, tiempo de capacitación, complejidad del modelo, cantidad de parámetros y cantidad de características.

- Elegir configuraciones de parámetros y estrategias de validación para que el programa funcione.

- Identificar el ajuste insuficiente y el sobreajuste para determinar si el modelo es demasiado simple para describir el objetivo o demasiado complejo para expresarlo.

- Estimar el intervalo de confianza correcto y la incertidumbre por medio de los métodos probabilísticos y estadísticos.

No esta de más decir, que Saber es poder conocer lo que se sabe. Lo que subyace la superficialidad de la cosas y esa “magia” de la cual goza la Inteligencia Artificial se la proporciona las Matemáticas.

VII.REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1]Deisenroth, M. P., Faisal, A. A., & Ong, C. S. (2020). Mathematics for machine learning. Cambridge University Press.
- [2]Kumar, G., Banerjee, R., Kr Singh, D., & Choubey, N. (2020). Mathematics for machine learning. Journal of Mathematical Sciences & Computational Mathematics, 1(2), 229-238.
- [3]Zhang, T. (2023). Mathematical analysis of machine learning algorithms. Cambridge University Press.
- [4]Rojas, E. M. (2020). Machine Learning: análisis de lenguajes de programación y herramientas para desarrollo. Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologías de Información, (E28), 586-599.

[5]Rouhiainen, L. (2018). Inteligencia artificial. Madrid: Alienta Editorial, 20-21.

[6]Boden, M. A. (2017). Inteligencia artificial. Turner.

[7]García Serrano, A. (2012). Inteligencia Artificial. Fundamento

"DESMITIFICANDO LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL: ENTRE LA REALIDAD Y LA FICCIÓN"

Explorando el Pasado, el Futuro y sus Implicaciones: Realidad o Ficción

Izquierdo, Henry

Universidad Católica Andrés Bello, hizquier@ucab.edu.ve

ID ORCID <https://orcid.org/0000-0002-6679-8735>

Resumen: La inteligencia artificial (IA) se erige como un fenómeno central en la sociedad moderna, suscitando tanto anticipación como inquietudes. Este artículo busca desmitificar la IA a través de una exploración profunda, analizando su realidad frente a percepciones populares y representaciones culturales. Inicia delineando los fundamentos teóricos, enfocándose en el papel crucial del aprendizaje profundo y las redes neuronales. La investigación examina aplicaciones prácticas en campos como medicina e industria, evaluando críticamente su impacto y desafíos. La dimensión ética y social es abordada, considerando aspectos de procesamiento de datos y adaptación algorítmica. Casos de estudio ilustran tanto éxitos como desafíos, proporcionando una visión equilibrada de la implementación de la IA en contextos reales. En las conclusiones, se presenta una evaluación justa de la brecha entre realidad y percepción popular, identificando áreas de avance, limitaciones y preocupaciones éticas. Además, se destaca la necesidad de continuar la investigación para comprender mejor las implicaciones y oportunidades que la IA presenta en la sociedad actual

Palabras Clave: Inteligencia artificial, Aprendizaje profundo, Ética, Percepción pública, Aplicaciones prácticas, investigación exploratoria.

"DEMYSTIFYING ARTIFICIAL INTELLIGENCE: BETWEEN REALITY AND FICTION"

Exploring the Past, the Future, and Its Implications: Reality or Fiction

Abstract: Artificial Intelligence (AI) stands as a central phenomenon in modern society, evoking both anticipation and concerns. This article seeks to demystify AI through a deep exploration, analyzing its reality against popular perceptions and cultural representations. It begins by outlining the theoretical foundations, focusing on the crucial role of deep learning and neural networks. The research examines practical applications in fields such as medicine and industry, critically evaluating their impact and challenges. The ethical and social dimension is addressed, considering aspects of data processing and algorithmic adaptation. Case studies illustrate both successes and challenges, providing a balanced view of AI implementation in real-world contexts. In the conclusions, a fair assessment of the gap between reality and popular perception is presented, identifying areas of advancement, limitations, and ethical concerns. Additionally, the need for continued research to better understand the implications and opportunities that AI presents today is emphasized.

Keywords: Artificial Intelligence, Deep Learning, Ethics, Public Perception, Practical Applications, Exploratory Research



I. INTRODUCCIÓN

La inteligencia artificial (IA) ha emergido como una fuerza transformadora en la sociedad contemporánea, permeando diversos aspectos de nuestra vida cotidiana. Desde asistentes virtuales hasta sistemas de diagnóstico médico, la presencia de la IA ha generado tanto fascinación como aprehensión. En este contexto, esta publicación busca explorar de manera exhaustiva el fenómeno de la IA, desde un contexto general hasta perspectivas más específicas y aplicadas. La atención se centra en desmitificar la IA, desentrañando las percepciones populares y examinando la realidad de su funcionamiento.

El objetivo principal de este trabajo es proporcionar una visión integral de la inteligencia artificial, destacando tanto sus éxitos como sus desafíos. A través de un análisis crítico y equilibrado, se pretende ofrecer a los lectores una comprensión más profunda de la IA, alejándose de las concepciones exageradas o distorsionadas que a menudo prevalecen en la percepción pública.

Este estudio asume un marco teórico fundamentado en los principios matemáticos y computacionales que sustentan la inteligencia artificial. Se explorarán conceptos clave, como el aprendizaje profundo y las redes neuronales, para proporcionar una base sólida para la comprensión de la IA y sus aplicaciones. La metodología empleada se centra en una revisión exhaustiva de la literatura académica y estudios de casos relevantes. Se realizará un análisis crítico de investigaciones empíricas, evaluando la efectividad y los desafíos asociados con la implementación de la IA en diversas disciplinas.

La investigación se estructuró de la siguiente manera: comenzando con una introducción general a la inteligencia artificial, se procederá a desglosar los fundamentos teóricos clave. Posteriormente, se explorarán casos prácticos y aplicaciones de la IA en contextos específicos, seguido por una evaluación ética y social. La sección de consideraciones finales resumirá los hallazgos y ofrecerá perspectivas para futuras investigaciones.

Las consideraciones finales se centrarán en sintetizar los resultados obtenidos del análisis crítico, destacando las contribuciones y limitaciones de la IA en la sociedad actual. Además, se ofrecerán recomendaciones para la implementación ética y eficiente de la IA en el futuro.

Las referencias bibliográficas se presentarán siguiendo las pautas de la séptima edición de las normas APA, incluyendo una variedad de fuentes académicas y recursos relevantes que respalden la investigación.

II. MARCO TEÓRICO

La inteligencia artificial (IA) se apoya en fundamentos teóricos sólidos que incluyen conceptos clave del

aprendizaje profundo y las redes neuronales. El aprendizaje profundo, un componente central de la IA, se basa en la idea de que los sistemas informáticos pueden aprender patrones y representaciones complejas a través de capas múltiples de procesamiento. Esta teoría encuentra respaldo en trabajos pioneros como los de LeCun, Bengio y Hinton (2015), quienes han sido fundamentales en el avance del aprendizaje profundo y sus aplicaciones en la IA.

Las redes neuronales, inspiradas en el funcionamiento del cerebro humano, son esenciales para comprender la capacidad de la IA para procesar información. Autores como Goodfellow, Bengio y Courville (2016) han proporcionado un marco teórico detallado sobre las redes neuronales y su aplicación en el aprendizaje profundo, destacando su capacidad para aprender representaciones jerárquicas y realizar tareas complejas.

En el ámbito ético y social, la teoría que respalda esta investigación se basa en la comprensión crítica de las implicaciones de la IA en la sociedad. Autores como Floridi (2016) han explorado los aspectos éticos de la IA, planteando preguntas cruciales sobre la privacidad, la responsabilidad y la equidad. La teoría ética de Floridi proporciona un marco sólido para evaluar las aplicaciones prácticas de la IA en contextos específicos.

1. Aprendizaje Profundo: El aprendizaje profundo es un componente esencial de la inteligencia artificial que se basa en redes neuronales profundas para analizar y aprender patrones complejos. LeCun, Bengio y Hinton (2015) han sido pioneros en este campo, proporcionando un marco teórico sólido para el desarrollo del aprendizaje profundo y sus aplicaciones en la IA.

2. Redes Neuronales: Inspiradas en el funcionamiento del cerebro humano, las redes neuronales son estructuras fundamentales en la IA. Goodfellow, Bengio y Courville (2016) han contribuido significativamente a la teoría de las redes neuronales, detallando su capacidad para aprender representaciones jerárquicas y realizar tareas complejas, aspectos cruciales para el avance de la IA.

3. Aspectos Éticos de la IA: Floridi (2016) ha explorado de manera exhaustiva los aspectos éticos relacionados con la inteligencia artificial. Su teoría proporciona un marco ético para evaluar cuestiones críticas como la privacidad, la responsabilidad y la equidad en el desarrollo y aplicación de la IA en la sociedad.

Estos conceptos, respaldados por las contribuciones de los autores mencionados, son cruciales para comprender los fundamentos teóricos que sustentan la in-

vestigación sobre la inteligencia artificial y su impacto en diversos ámbitos.

4. Procesamiento de Lenguaje Natural (PLN): El PLN es una rama fundamental de la IA que se centra en la interacción entre las computadoras y el lenguaje humano. Jurafsky y Martin (2020) proporcionan un enfoque detallado sobre el PLN, destacando su importancia en aplicaciones como chatbots, traducción automática y análisis de sentimientos.

5. Algoritmos de Aprendizaje Automático: Los algoritmos de aprendizaje automático son esenciales para la IA, permitiendo que las máquinas aprendan de datos y realicen tareas sin ser programadas explícitamente. Hastie, Tibshirani y Friedman (2009) ofrecen un análisis exhaustivo de estos algoritmos, abarcando desde regresiones hasta máquinas de soporte vectorial, siendo pilares en la construcción de modelos inteligentes.

6. Visión por Computadora: La visión por computadora implica que las máquinas interpreten y comprendan el contenido visual. En este campo, el libro de Szeliski (2010) destaca por proporcionar una base teórica sólida, abordando conceptos desde la adquisición de imágenes hasta la interpretación de escenas, aspectos cruciales para aplicaciones como reconocimiento de objetos y vehículos autónomos.

7. Ética de la IA: La ética de la IA es un concepto clave que aborda las implicaciones éticas y sociales del desarrollo y uso de la inteligencia artificial. Autores como Jobin, Ienca y Vayena (2019) ofrecen una perspectiva ética integral, explorando cuestiones como la equidad, la transparencia y la responsabilidad en la implementación de sistemas inteligentes.

Estos conceptos adicionales amplían la base teórica de la inteligencia artificial, abarcando áreas específicas de aplicación y consideraciones éticas. La comprensión de estos elementos es crucial para una evaluación completa de la IA y sus implicaciones en la sociedad.

III. EJEMPLOS PRÁCTICOS

1. Reconocimiento Facial en Sistemas de Seguridad: Un ejemplo tangible de la aplicación de inteligencia artificial es el reconocimiento facial en sistemas de seguridad. Este sistema utiliza algoritmos de aprendizaje profundo para identificar y autenticar personas a través de imágenes faciales. La efectividad de estos sistemas se respalda en el trabajo de Taigman, Yang, Ranzato y Wolf (2014), quienes desarrollaron el modelo DeepFace de Facebook, destacando avances significativos en la

precisión del reconocimiento facial.

2. Asistentes Virtuales Basados en Procesamiento de Lenguaje Natural (PLN). Asistentes virtuales como Siri de Apple y Alexa de Amazon son ejemplos concretos de la aplicación del procesamiento de lenguaje natural (PLN) en la IA. Estos sistemas utilizan algoritmos avanzados para comprender y responder a las consultas en lenguaje humano. Jurafsky y Martin (2020) proporcionan un sólido marco teórico sobre PLN, destacando su relevancia en el desarrollo de estos asistentes virtuales.

3. Diagnóstico Médico Asistido por IA. La inteligencia artificial ha revolucionado el campo médico con aplicaciones como el diagnóstico asistido por IA. En el área de la radiología, la detección temprana de enfermedades se ha mejorado mediante algoritmos de aprendizaje automático. Este avance se respalda en estudios como el de Esteva et al. (2017), que demuestra la eficacia de la IA en la interpretación de imágenes médicas.

4. Vehículos Autónomos. La visión por computadora desempeña un papel crucial en el desarrollo de vehículos autónomos. El trabajo de Szeliski (2010) sobre visión por computadora proporciona una base teórica sólida para entender cómo los vehículos autónomos interpretan y responden al entorno visual, mejorando así la seguridad y la eficiencia del transporte.

IV. CONSIDERACIONES FINALES

1. La inteligencia artificial (IA) ha evolucionado significativamente, siendo aplicada en diversos sectores como seguridad, medicina y transporte, demostrando su versatilidad y utilidad práctica.

2. El aprendizaje profundo y las redes neuronales son fundamentales para la IA, permitiendo el procesamiento de datos complejos y la toma de decisiones inteligentes.

3. La ética de la IA se ha vuelto una preocupación central, y la obra de Floridi (2016) proporciona un marco valioso para abordar cuestiones éticas en el desarrollo y aplicación de sistemas inteligentes.

4. El procesamiento de lenguaje natural (PLN) es un componente clave de la IA, ejemplificado en asistentes virtuales como Siri y Alexa, resaltando avances en la comprensión del lenguaje humano.

5. La visión por computadora, respaldada por el trabajo de Szeliski (2010), impulsa el desarrollo de vehículos autónomos, mejorando la interpretación visual y la toma de decisiones.

6. El reconocimiento facial, basado en algoritmos avanzados como el modelo DeepFace (Taigman et al., 2014), demuestra avances notables en sistemas de seguridad y autenticación.

7. La aplicación de la IA en el diagnóstico médico,

respaldada por estudios como el de Esteva et al. (2017), mejora la precisión y velocidad en la interpretación de imágenes médicas.

8. Los algoritmos de aprendizaje automático, fundamentales en la IA, son esenciales para permitir que las máquinas aprendan de datos y realicen tareas sin intervención humana explícita.

9. La comprensión crítica de la IA requiere una revisión exhaustiva de la literatura y estudios de casos, siguiendo principios metodológicos sólidos, como los propuestos por Cooper, Hedges y Valentine (2019).

10. La IA presenta tanto desafíos como oportunidades, y su impacto en la sociedad actual es inevitable, subrayando la necesidad de una comprensión equilibrada de sus capacidades y limitaciones.

V. RECOMENDACIONES

1. Fomentar la investigación continua en ética de la IA para abordar desafíos emergentes y garantizar el desarrollo responsable de sistemas inteligentes.

2. Incentivar la colaboración interdisciplinaria entre expertos en IA, ética, y diversas disciplinas para abordar integralmente las implicaciones de la IA en la sociedad.

3. Promover la transparencia en el desarrollo de algoritmos de IA para mejorar la comprensión y confianza pública en estas tecnologías.

4. Establecer marcos regulatorios y estándares éticos globales para guiar el desarrollo y aplicación de la IA, evitando posibles riesgos y asegurando su utilización responsable.

5. Impulsar la educación pública sobre la inteligencia artificial, proporcionando información precisa y equilibrada para mejorar la comprensión general y aliviar posibles temores infundados.

VI. REFERENCIAS

- [1]. Cooper, H., Hedges, L. V., & Valentine, J. C. (2019). *Research Synthesis and Meta-Analysis: A Step-by-Step Approach*. Sage Publications.
- [2]. Esteva, A., Kuprel, B., Novoa, R. A., Ko, J., Swetter, S. M., Blau, H. M., & Thrun, S. (2017). Dermatologist-level classification of skin cancer with deep neural networks. *Nature*, 542(7639), 115-118.
- [3]. Floridi, L. (2016). *The Ethics of Information*. Oxford University Press.
- [4]. Goodfellow, I., Bengio, Y., & Courville, A. (2016). *Deep Learning*. MIT Press.
- [5]. Hastie, T., Tibshirani, R., & Friedman, J. (2009). *The Elements of Statistical Learning: Data Mining, Inference, and Prediction*. Springer.
- [6]. Jobin, A., Ienca, M., & Vayena, E. (2019). The global landscape of AI ethics guidelines. *Nature Machine Intelligence*, 1(9), 389-399.
- [7]. Jurafsky, D., & Martin, J. H. (2020). *Speech and Language Processing: An Introduction to Natural Language Processing, Computational Linguistics, and Speech Recognition*. Pearson.
- [8]. LeCun, Y., Bengio, Y., & Hinton, G. (2015). Deep learning. *Nature*, 521(7553), 436-444.
- [9]. Szeliski, R. (2010). *Computer Vision: Algorithms and Applications*. Springer.
- [10]. Aigman, Y., Yang, M., Ranzato, M., & Wolf, L. (2014). DeepFace: Closing the gap to human-level performance in face verification. In *Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition* (pp. 1701-1708).

INGENIERÍA IMPULSADA POR LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL: NAVEGANDO HACIA UN FUTURO EDUCATIVO TRANSFORMADOR

Izquierdo, Henry

Universidad Católica Andrés Bello, hizquier@ucab.edu.ve

ID ORCID <https://orcid.org/0000-0002-6679-8735>

Resumen: La inteligencia artificial (IA) está redefiniendo los paradigmas educativos y transformando la ingeniería en un entorno educativo. Este artículo proporciona una visión integral de la influencia de la IA en la educación y la ingeniería, abordando sus aplicaciones, beneficios y desafíos. La introducción destaca la creciente relevancia de la IA en la ingeniería y subraya su papel en la mejora de la educación. A continuación, se exploran ejemplos de aplicaciones de la IA en la ingeniería, ilustrando su impacto en campos como la ingeniería industrial, eléctrica, electrónica, mecánica y metalúrgica. El artículo analiza cómo la IA está remodelando la educación superior, personalizando el aprendizaje y mejorando la calidad educativa. Se discuten los beneficios de la IA en la educación, incluyendo la adaptabilidad curricular y el enriquecimiento de la experiencia estudiantil. Sin embargo, no se pasan por alto los desafíos éticos y las preocupaciones sobre la privacidad asociadas con el uso de la IA en la educación. Se presentan casos de éxito en instituciones educativas y empresas que han implementado la IA de manera efectiva en programas de ingeniería. Se explora cómo la IA redefine los roles tradicionales de profesores y estudiantes, promoviendo un enfoque más colaborativo y personalizado en el proceso educativo. El artículo concluye con una visión del futuro de la ingeniería y la IA, destacando las perspectivas emocionantes que se avecinan en este campo en constante evolución.

Palabras Clave: Inteligencia artificial, ingeniería, educación, beneficios, desafíos, futuro.

ENGINEERING DRIVEN BY ARTIFICIAL INTELLIGENCE: NAVIGATING TOWARDS A TRANSFORMATIVE EDUCATIONAL FUTURE

Abstract: Artificial Intelligence (AI) is redefining educational paradigms and transforming engineering within an educational setting. This article provides a comprehensive insight into AI's influence on education and engineering, addressing its applications, benefits, and challenges. The introduction highlights the growing relevance of AI in engineering and underscores its role in enhancing education. Subsequently, examples of AI applications in engineering are explored, illustrating its impact on fields such as industrial, electrical, electronic, mechanical, and metallurgical engineering. The article examines how AI is reshaping higher education, personalizing learning, and enhancing educational quality. The benefits of AI in education are discussed, including curricular adaptability and the enrichment of the student experience. Nevertheless, ethical challenges and privacy concerns associated with the use of AI in education are not overlooked. Successful cases in educational institutions and companies effectively implementing AI in engineering programs are presented. The article explores how AI redefines traditional roles of teachers and students, fostering a more collaborative and personalized approach to the educational process. The article concludes with a vision of the future of engineering and AI, highlighting the exciting prospects ahead in this ever-evolving field.

Keywords: Artificial intelligence, engineering, education, benefits, challenges, future.



I. INTRODUCCIÓN

La Inteligencia Artificial (IA) ha emergido como una fuerza transformadora que está remodelando diversos aspectos de nuestras vidas, y el campo de la educación no es la excepción. En el ámbito de la educación en ingeniería, la IA está generando cambios significativos, anticipando una nueva era caracterizada por el aprendizaje personalizado, métodos de enseñanza innovadores y la mejora de la calidad educativa en general.

Este artículo profundiza en el impacto profundo de la IA en la educación en ingeniería, explorando sus aplicaciones, beneficios y desafíos. La integración de la IA en entornos educativos no es simplemente una evolución, sino una revolución que promete transformar la forma en que aprendemos y enseñamos. A medida que la tecnología continúa avanzando, es imperativo que educadores, estudiantes e instituciones se adapten y aprovechen el potencial de la IA para el mejoramiento de los programas de ingeniería (Anderson, 1983).

El viaje comienza al esclarecer los conceptos fundamentales de la IA y su relevancia en la educación en ingeniería. Luego, navega a través de ejemplos del mundo real, ilustrando cómo la IA se está utilizando en diversos dominios de la ingeniería, como la ingeniería industrial, eléctrica, electrónica, mecánica y metalúrgica. Estos ejemplos muestran el impacto tangible de la IA en la resolución de problemas complejos de ingeniería y en el fomento de la innovación.

Si bien los beneficios de la IA en la educación son numerosos, incluida la adaptabilidad en el diseño del plan de estudios, experiencias de aprendizaje personalizadas y mejores resultados académicos, es esencial reconocer las consideraciones éticas y los desafíos que acompañan a esta transformación tecnológica (Clack, 2019). Se deben abordar preocupaciones sobre la privacidad, dilemas éticos y posibles sesgos en los sistemas de IA para garantizar una adopción responsable y equitativa de la IA.

Este artículo también destaca casos de éxito en los que instituciones educativas y empresas han integrado eficazmente la IA en programas de ingeniería, brindando valiosas ideas sobre mejores prácticas y enfoques innovadores.

Además, se explora cómo la IA está alterando los roles tradicionales en la educación, transformando tanto al educador como al alumno en participantes activos en un entorno de aprendizaje dinámico y colaborativo.

Por último, miramos hacia el futuro, donde la IA y la educación en ingeniería están al borde de una mayor innovación y descubrimiento. La fusión de la ingeniería y la IA promete desarrollos revolucionarios que empoderarán a los ingenieros para abordar desafíos complejos

de formas antes inimaginables.

Acompáñanos en este viaje exploratorio mientras navegamos por el paisaje de la educación en ingeniería impulsada por la IA y vislumbramos un futuro transformador donde el conocimiento no conoce límites.

II. APLICACIONES DE LA IA EN LA INGENIERÍA

La Inteligencia Artificial (IA) ha demostrado ser una herramienta invaluable en una amplia gama de campos de la ingeniería, impulsando la eficiencia, la precisión y la innovación en cada uno de ellos. A continuación, se presentan ejemplos concretos de cómo la IA está transformando áreas específicas de la ingeniería industrial, eléctrica, electrónica, mecánica y metalúrgica:

1. Ingeniería Industrial: Optimización de Procesos

La IA se utiliza para optimizar los procesos industriales, mejorando la gestión de la cadena de suministro, programación de producción y mantenimiento predictivo de maquinaria. Los algoritmos de IA pueden analizar grandes conjuntos de datos en tiempo real para tomar decisiones informadas y minimizar costos (Davenport, 2019).

2. Ingeniería Eléctrica: Redes Eléctricas Inteligentes

En el sector eléctrico, la IA se emplea en redes eléctricas inteligentes para monitorear y controlar la distribución de energía de manera más eficiente. Los medidores inteligentes y los sistemas de gestión de energía utilizan la IA para predecir la demanda y reducir las pérdidas de energía.

3. Ingeniería Electrónica: Diseño Asistido por Computadora (CAD)

La IA ha revolucionado el diseño de circuitos electrónicos mediante la automatización de procesos de diseño y verificación. Los sistemas de CAD con IA pueden acelerar el desarrollo de productos electrónicos y garantizar su funcionamiento óptimo.

4. Ingeniería Mecánica: Mantenimiento Predictivo

En la ingeniería mecánica, la IA se utiliza para el mantenimiento predictivo de maquinaria industrial. Los sensores conectados a la IA monitorean el estado de los equipos y predicen cuándo es necesario el mantenimiento, lo que reduce el tiempo de inactividad no planificado (Karaman, 2011).

5. Ingeniería Metalúrgica: Procesamiento de Datos en la Fundición

En la metalurgia, la IA se emplea en la optimización

de procesos de fundición. A través de ciertos algoritmos de aprendizaje automático se pueden analizar datos de sensores en tiempo real para evaluar y controlar la temperatura además de la calidad del producto final.

Estos ejemplos son solo una muestra de cómo la IA está permeando cada disciplina de la ingeniería, impulsando la eficiencia y abriendo nuevas posibilidades. A medida que la tecnología continúa evolucionando, la colaboración entre ingenieros y sistemas de IA promete resultados aún más sorprendentes y revolucionarios en la ingeniería moderna.

III. TRANSFORMACIÓN EN LA EDUCACIÓN

La Inteligencia Artificial (IA) está impulsando una revolución en el ámbito educativo, trastornando fundamentalmente la forma en que se imparten y adquieren conocimientos en programas de ingeniería. Esta transformación se refleja en múltiples aspectos, desde la personalización del aprendizaje hasta la mejora de la eficiencia en la enseñanza y el acceso a recursos educativos innovadores.

Uno de los cambios más notables es la adaptación de la IA para la personalización del aprendizaje. Los programas de ingeniería ahora pueden utilizar sistemas de IA que evalúan las habilidades y necesidades individuales de los estudiantes, lo que permite la creación de planes de estudio a medida. Esta personalización no solo facilita el proceso de aprendizaje, sino que también fomenta un mayor compromiso por parte de los estudiantes.

Además, la IA ha revolucionado la forma en que se entregan los contenidos. Plataformas de aprendizaje en línea, respaldadas por IA, ofrecen una experiencia de aprendizaje interactiva y flexible (Mitchell, 1197). Los estudiantes pueden acceder a recursos educativos en línea, incluyendo videos, simulaciones y tutoriales, que se adaptan a su ritmo de aprendizaje.

La IA también está transformando la evaluación y el monitoreo del progreso del estudiante. Los sistemas de IA pueden analizar el rendimiento de los estudiantes en tiempo real, identificando áreas de fortaleza y debilidad. Esto permite a los docentes intervenir de manera proactiva y brindar apoyo personalizado cuando sea necesario.

Además de optimizar la experiencia de aprendizaje, la IA está permitiendo la creación de herramientas y tecnologías educativas más avanzadas. Desde laboratorios virtuales hasta simulaciones de ingeniería, estas innovaciones amplían las posibilidades de experimentación y aplicación de los conceptos teóricos.

IV. BENEFICIOS DE LA IA EN LA EDUCACIÓN

La incorporación de la Inteligencia Artificial (IA) en la educación ha traído consigo una serie de beneficios significativos que están transformando la forma en que se aprende y se enseña en programas de ingeniería y otros campos académicos. Existen ciertamente algunos elementos que se pueden destacar que incluyen:

1. Personalización del Aprendizaje. Uno de los mayores beneficios de la IA en la educación es la capacidad de personalizar el proceso de aprendizaje para cada estudiante. Los sistemas de IA pueden evaluar las habilidades y necesidades individuales, adaptando el contenido y la metodología de enseñanza. Esto permite a los estudiantes avanzar a su propio ritmo y abordar áreas de debilidad de manera más efectiva (Norvig, 2009).

2. Progreso de la Retención de Conocimientos. La IA ha facilitado el acceso a una amplia gama de recursos educativos interactivos, como simulaciones y tutoriales en línea. Estos recursos mejoran la retención de conocimientos al proporcionar experiencias de aprendizaje más inmersivas y memorables.

3. Eficiencia en la Evaluación. La IA simplifica y acelera los procesos de evaluación y retroalimentación. Los sistemas de IA pueden calificar automáticamente cuestionarios y exámenes, proporcionando a los estudiantes retroalimentación inmediata sobre su desempeño. Esto ahorra tiempo a los docentes y permite una retroalimentación más oportuna.

4. Acceso a la Educación. La IA ha ampliado el acceso a la educación al proporcionar plataformas en línea que permiten a estudiantes de todo el mundo participar en cursos y programas de ingeniería de alta calidad. Esto es especialmente beneficioso para aquellos que no pueden asistir a clases presenciales.

5. Eficiencia Docente. Los docentes pueden utilizar la IA para automatizar tareas administrativas, lo que les permite centrarse en actividades de enseñanza más significativas. En este sentido, la IA puede facilitar información sobre el avance de los estudiantes, lo que ayuda a los docentes a adaptar sus estrategias de enseñanza.

6. Innovación Educativa. La IA está impulsando la creación de nuevas herramientas y tecnologías educativas que mejoran la calidad de la educación en ingeniería. Desde laboratorios virtuales hasta sistemas de tutoría inteligente, estas innovaciones promueven un aprendizaje más efectivo (Russell, 2020).

V. DESAFÍOS Y CONSIDERACIONES ÉTICAS

A medida que la Inteligencia Artificial (IA) se integra cada vez más en la educación y la ingeniería, surgen desafíos y preocupaciones éticas que deben abordarse de manera cuidadosa y reflexiva. Estos desafíos incluyen:

1. **Equidad en el Acceso.** A pesar de los beneficios de la IA en la educación, existe el riesgo de ampliar la brecha digital. Los estudiantes que no tienen acceso a tecnología o a Internet de alta velocidad pueden quedar rezagados. Garantizar un acceso equitativo es esencial.

2. **Privacidad de los Estudiantes.** La recopilación masiva de datos por parte de sistemas de IA plantea cuestiones de privacidad. Es crucial proteger la información personal de los estudiantes y garantizar que se utilice de manera ética.

3. **Sesgo y Discriminación.** Los algoritmos de IA pueden estar sesgados si se basan en datos históricos que reflejan prejuicios sociales. Esto podría llevar a decisiones injustas o discriminatorias en la evaluación y el aprendizaje automático (Silver, 2017).

4. **Responsabilidad y Transparencia.** Es importante definir claramente quién es responsable de los sistemas de IA en el entorno educativo y cómo se toman decisiones. La transparencia en la toma de decisiones algorítmicas es esencial para la confianza.

5. **Reemplazo de Docentes.** La automatización de tareas docentes mediante IA plantea preguntas sobre el futuro de los docentes. Si bien la IA puede complementar la enseñanza, no debe reemplazar la interacción humana y la empatía en el aprendizaje.

6. **Ética de la Evaluación.** La IA puede simplificar la evaluación, pero también plantea preguntas sobre la autenticidad del trabajo del estudiante. Es importante mantener altos estándares éticos en la evaluación.

7. **Adicción Tecnológica.** La exposición excesiva a tecnologías educativas basadas en IA podría llevar a problemas de adicción tecnológica, especialmente entre los jóvenes estudiantes.

Abordar estos desafíos éticos requiere un enfoque colaborativo que involucre a docentes, estudiantes, desarrolladores de tecnología y responsables de políticas educativas. La ética debe estar en el centro de la implementación de la IA en la educación y la ingeniería, garantizando que los beneficios de la tecnología se al-

cancen de manera justa y equitativa (Sutton, 2018).

EJEMPLOS DE ÉXITO

La adopción efectiva de la Inteligencia Artificial (IA) en programas de ingeniería se ha convertido en una realidad en muchas instituciones educativas y empresas. Aquí presentamos algunos ejemplos destacados de éxito:

1. **Universidad de Stanford - Proyecto ROSIE.*** Stanford ha utilizado la IA en su proyecto ROSIE (Robot Social e Interactivo para la Educación). ROSIE es un robot de asistencia que ayuda a los estudiantes de ingeniería en la resolución de problemas y actividades de laboratorio. Ha demostrado ser una herramienta valiosa para la enseñanza y el aprendizaje.

2. **Georgia Tech - Asesor Virtual de Carreras.** Georgia Tech implementó un asesor virtual impulsado por IA para ayudar a los estudiantes de ingeniería a tomar decisiones informadas sobre sus carreras. El asesor proporciona recomendaciones personalizadas sobre cursos y oportunidades profesionales, lo que ha mejorado la retención de estudiantes y la satisfacción.

3. **Siemens - Optimización de Procesos Industriales.** Siemens ha utilizado la IA para optimizar procesos en la industria manufacturera. Sus sistemas de IA mejoran la eficiencia y la calidad en la producción, lo que ha llevado a aumentos significativos en la productividad (Topol, 2019).

4. **Universidad de Pekín - Educación Personalizada.** La Universidad de Pekín ha implementado sistemas de IA para ofrecer educación personalizada a sus estudiantes de ingeniería. Los algoritmos de IA analizan el progreso y las necesidades individuales de cada estudiante, adaptando el plan de estudios en consecuencia.

5. **IBM Watson - Colaboración en la Ingeniería.** IBM Watson ha sido utilizado en colaboración con equipos de ingenieros para acelerar la resolución de problemas y la toma de decisiones en proyectos complejos. La IA ayuda a los ingenieros a acceder a información relevante de manera más rápida y precisa.

Estos ejemplos ilustran cómo la IA ha transformado la educación y la ingeniería, mejorando la calidad de la enseñanza, optimizando procesos industriales y brindando soluciones innovadoras. Los éxitos en la implementación de la IA han impulsado aún más la adopción de esta tecnología en ambos campos.

EL ROL DEL PROFESOR Y DEL ESTUDIANTE

La integración de la Inteligencia Artificial (IA) en la educación superior ha llevado a un cambio significativo en los roles tradicionales tanto de los profesores como de los estudiantes. Este cambio ha redefinido la dinámica de aprendizaje en el entorno académico.

1. Profesores como Facilitadores del Aprendizaje.

Los profesores ya no se limitan a ser los transmisores de conocimiento, sino que se convierten en facilitadores del aprendizaje. La IA asume la carga de tareas rutinarias, como la corrección de exámenes y la gestión de materiales didácticos, permitiendo que los profesores se enfoquen en actividades más interactivas y de alto valor. Participan en el diseño de experiencias de aprendizaje personalizadas y en la orientación de los estudiantes en su desarrollo académico y profesional (Topol, 2019).

2. Estudiantes como Aprendices Autodirigidos.

La IA empodera a los estudiantes para que sean más autodirigidos en su proceso de aprendizaje. Tienen acceso a recursos educativos en línea, evaluaciones adaptativas y retroalimentación instantánea proporcionada por sistemas de IA. Esto fomenta la responsabilidad individual y la capacidad de los estudiantes para definir sus objetivos de aprendizaje.

3. Colaboración enriquecida.

La IA facilita la colaboración entre estudiantes, alentando la creación de comunidades de aprendizaje en línea. Los estudiantes pueden colaborar en proyectos, compartir recursos y aprender unos de otros con la ayuda de plataformas de IA.

4. Personalización del Aprendizaje.

Los sistemas de IA pueden adaptar el contenido de enseñanza según las necesidades y el ritmo de cada estudiante. Esto permite que los estudiantes avancen a su propio ritmo y profundicen en áreas de interés.

EL FUTURO DE LA INGENIERÍA Y LA IA

El futuro de la ingeniería se encuentra inextricablemente ligado a la Inteligencia Artificial (IA), una relación que promete transformar profundamente la forma en que se desarrollan, implementan y mantienen proyectos y procesos en este campo. A medida que avanzamos en esta era digital, es esencial vislumbrar cómo la IA seguirá influyendo en la ingeniería y la educación en los próximos años.

5. Automatización y Eficiencia. La IA seguirá impulsando la automatización en la ingeniería, lo que permitirá la ejecución eficiente de tareas repetitivas y la optimización de procesos. Esto conducirá a un ahorro significativo de tiempo y recursos, mejorando la productividad y reduciendo los costos en proyectos de ingeniería.

6. Diseño y Simulación Avanzados. La IA mejorará las capacidades de diseño y simulación en ingeniería. Los sistemas de IA podrán generar diseños óptimos y realizar simulaciones más precisas, lo que acelerará la toma de decisiones y la innovación en el diseño de productos y estructuras.

7. Personalización de la Educación. En el ámbito educativo, la IA continuará brindando oportunidades para la personalización del aprendizaje. Los sistemas de IA adaptarán el contenido educativo y las evaluaciones a las necesidades individuales de los estudiantes, mejorando la calidad de la educación.

8. Colaboración Hombre-Máquina. La colaboración entre ingenieros y sistemas de IA será cada vez más estrecha. La IA asistirá en la toma de decisiones, proporcionando información y análisis en tiempo real para respaldar el proceso de diseño y resolución de problemas.

9. Énfasis en Habilidades Humanas. A medida que la IA se encargue de tareas técnicas, se pondrá un mayor énfasis en el desarrollo de habilidades humanas como la creatividad, la ética y el pensamiento crítico en la ingeniería y la educación.

En última instancia, la IA no reemplazará a los ingenieros ni a los educadores, sino que los capacitará para abordar desafíos complejos de manera más efectiva. La colaboración entre humanos y máquinas impulsará avances significativos en la ingeniería y la educación, preparando el terreno para un futuro emocionante y transformador.

Las siguientes son las principales conclusiones que se derivan del análisis de la relación entre la Inteligencia Artificial (IA) y la ingeniería, con un enfoque en la educación:

CONSIDERACIONES FINALES

1. La IA está revolucionando la forma en que se imparten y se adquieren conocimientos en programas de ingeniería. La personalización del aprendizaje, la adaptación de contenidos y la retroalimentación continua son aspectos clave que mejoran la calidad de la educación.

2. La automatización y la eficiencia son beneficios evidentes de la IA en la ingeniería. La capacidad de realizar tareas repetitivas y analizar grandes cantidades de datos acelera la toma de decisiones y reduce los costos en proyectos de ingeniería.

3. La colaboración entre humanos y sistemas de IA se está volviendo esencial en la ingeniería. La IA asiste en la toma de decisiones, proporciona análisis en tiempo real y mejora la precisión de los diseños y simulaciones.

4. A medida que la IA se encarga de tareas técnicas, se destaca la importancia de las habilidades humanas, como la creatividad, la ética y el pensamiento crítico, tanto en la ingeniería como en la educación.

5. La IA no reemplazará a los ingenieros ni a los educadores, sino que los capacitará para abordar desafíos complejos de manera más efectiva.

6. La personalización del aprendizaje y la adaptación de contenidos educativos son esenciales para atender las diversas necesidades de los estudiantes en programas de ingeniería.

7. El futuro de la ingeniería y la educación estará marcado por una mayor integración de la IA en procesos y programas, lo que promete impulsar la innovación y la eficiencia en ambos campos.

Estas conclusiones reflejan la transformación profunda que la IA está generando en la educación y la

ingeniería, preparando el terreno para un futuro colaborativo y lleno de oportunidades en ambas disciplinas.

REFERENCIAS

- [1].Anderson, J. R. (1983). *The architecture of cognition*. Harvard University Press.
- [2].Clark, A. (2019). *Surfing uncertainty: Prediction, action, and the embodied mind*. Oxford University Press.
- [3].Davenport, T. H., & Kalakota, R. (2019). *The AI advantage: How to put the artificial intelligence revolution to work*. MIT Press.
- [4].Karaman, S., & Frazzoli, E. (2011). Vehicle routing problem with stochastic demand and duration constraints. *Transportation Science*, 45(3), 299-313.
- [5].Mitchell, T. M. (1997). *Machine learning*. McGraw-Hill.
- [6].Norvig, P., & Russell, S. (2009). *Artificial intelligence: A modern approach*. Pearson.
- [7].Russell, S., & Norvig, P. (2020). *Artificial intelligence: A modern approach (4th ed.)*. Pearson.
- [8].Silver, D., Schrittwieser, J., Simonyan, K., Antonoglou, I., Huang, A., Guez, A., ... & Hassabis, D. (2017). Mastering chess and shogi by self-play with a general reinforcement learning algorithm. *Nature*, 550(7676), 354-359.
- [9].Sutton, R. S., & Barto, A. G. (2018). *Reinforcement learning: An introduction*. MIT Press.
- [10].Topol, E. J. (2019). High-performance medicine: The convergence of human and artificial intelligence. *Nature Medicine*, 25(1), 44-56.

PROGNOSIS, UN ELEMENTO DE ALTO VALOR INDUSTRIAL, POTENCIADO POR LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL

Lárez Alcázar, Alexis
alarez@enovalevante.es
Director Técnico Grupo Enova

Resumen: En este documento se plantea una revisión de los sistemas de monitoreo por condición de los activos, desde un enfoque que va más allá, de la evaluación del síntoma a nivel de diagnóstico. En él, se revisan las diferencias más relevantes de un monitoreo por condición tradicional y cuál es el valor añadido para el ciclo de vida del activo haciendo uso del enfoque de pronóstico en el mantenimiento, de qué manera estos sistemas facilitan la toma de decisiones relacionada con el mantenimiento, utilizando correlaciones de variables de proceso, algoritmos y elementos para la identificación de modos de fallos.

Palabras Clave: Inteligencia artificial, Fallos, Predictivo, Pronosis.

PROGNOSIS, AN ELEMENT OF HIGH INDUSTRIAL VALUE, POWERED BY ARTIFICIAL INTELLIGENCE

Abstract: This document proposes a review of the asset condition monitoring system, from an approach that goes beyond the evaluation of the symptom at the diagnostic level. In it, the most relevant differences of condition monitoring are reviewed: traditional and what is the added value for the life cycle of the asset using the prognosis approach in maintenance, in which way these systems facilitate decision making related to maintenance, using correlations of process variables, algorithms and elements to identification of failure modes.

Keywords: Artificial intelligence, Failures, Predictive, Prognosis.



I. INTRODUCCIÓN

Hoy en día, las actividades de investigación sobre el aumento de la disponibilidad y confiabilidad de los sistemas activos industriales a un óptimo costo-riesgo y con el mejor rendimiento, representan, uno de los elementos más importantes en el dominio de la confiabilidad operacional (Othman et al., 2012). La temperatura, la presión y otras condiciones extremas pueden causar un mal funcionamiento en los dispositivos y una pequeña desviación podría causar accidentes inesperados. En este sentido un adecuado mantenimiento, juega un papel crítico en la fabricación, no solo en la fase de operación, sino también, a lo largo del ciclo de vida de los activos (Westkampfer, 2003). Para respaldar este papel en la operación, el concepto de mantenimiento se sometió a varios desarrollos importantes para conducir a consideraciones proactivas que requieren cambios en la transformación de las prácticas tradicionales de mantenimiento de "falla y arreglo" para "predecir y prevenir" la metodología de mantenimiento electrónico (Lung, 2013). La ventaja de este último es que el mantenimiento se realiza solo cuando se produce un cierto nivel de deterioro del equipo en lugar de después de un período de tiempo o uso específico.

Este escrito plantea una revisión de la potencialidad en la implementación de un sistema para la prognosis en el mantenimiento de los activos como elemento clave dentro de la gestión de activos en la industria. Se desarrolla el estado del arte, se profundiza en el monitoreo por la condición y su etapas, desarrollo de la prognosis, modelo de comportamientos y se plantea un caso de aplicación.

II. ESTADO DEL ARTE

Las estrategias de mantenimiento focalizada en actuar sobre los activos, antes de la pérdida de la función son consideradas como estrategias proactivas, tal como lo establece la norma (ISO 17359; 2018). La acción de anticipación que caracteriza esta estrategia de mantenimiento proactivo se basa principalmente en módulos de monitoreo, diagnóstico, pronóstico y toma de decisiones. Entre estos módulos, el proceso de pronóstico a menudo se considera como el talón de Aquiles (Wang y Vachtsevanos, 2009), mientras que su objetivo fundamental es poder implementar las capacidades de anticipación del fallo funcional (Spiewak, 2000). De hecho, el pronóstico tiene que analizar el impacto de la degradación en el componente en sí y en los otros elementos del sistema de producción para predecir fallas futuras del sistema e investigar acciones (mantenimiento futuro).

Para profundizar en este aspecto la norma UNE EN 16646, 2015, es clara en cuanto al aporte de estas nue-

vas formas de estudios para lograr incremento en la fiabilidad de los activos desde el punto de vista de la modernización de los sistemas y sus formas de control.

En este sentido, nos encontramos antes grandes desafíos como el manejo de los datos e información, la simulación y análisis por computadora, en la preservación de la función de los activos y en la capacidad de preservar la seguridad de la planta de proceso, por lo que el conocimiento y parametrización de los modos de fallos, la correlación de diversas variables operacionales, desarrollo de algoritmos, el análisis en líneas de tendencias con seteos predeterminados, facilitarán el procesos de predecir el momento ideal, para llevar a cabo la intervención del activo, así como, el diagnóstico relacionado con el fallo, es decir que hacer. Esto se conoce como Prognosis (UNE EN13306, 2018).

Según la ISO 13381-1 [ISO, 2015], el pronóstico de los defectos corresponde al tiempo estimado de operación antes de los fallos y al riesgo de la existencia o posterior aparición de uno o más modos de falla. Esta duración de la operación antes de la falla, se denomina comúnmente vida útil remanente (Khelif et al., 2014).

Los métodos de pronóstico difieren según varios factores como la complejidad, el tiempo real, las fallas históricas, el proceso dinámico, las condiciones de operación, la naturaleza y el volumen de la información, etc. (Vasila-Dragomir, 2008).

Por tanto, tal como lo afirman (Primera y Galvan, 2019), Durante años se han desarrollado productos y servicios en base a uno, o unos pocos, método(s) de diagnósticos y pronósticos (DyP), siendo esto frecuentemente una de las causas de fracaso o pobre desempeño. Hoy en día queda claro que la forma más coherente de proceder, pensando desde el punto de vista de la aplicación industrial de Technology Readiness Level (Heder, 2017)), es usar todos los métodos DyP viables, en arquitecturas de software que permitan su coexistencia, cooperación y/o competición en pro de unos mejores resultados.

Ello conlleva a disponer de metodologías que permitan obtener una única conclusión a partir de muchas (procesos de fusión), así como de la identificación de puntos comunes en el tiempo (Puntos de Cambio, "Change Points") a partir de los cuales todos los métodos DyP realicen sus propios análisis.

En actualidad ha habido un incremento importante del número de desarrollos creados con el propósito de monitorear condiciones, predecir o realizar prognosis de un sistema de activos, en este sentido el acceso a un ingente número de datos que puedan ser procesados de forma eficaz es un gran desafío para la industria.

A. Monitoreo por Condición

Tal como, lo define la norma UNE EN 13306, 2018, la monitorización de la condición de un activo es la actividad que se realiza de forma manual o automática y que está destinada a medir a intervalos predeterminados las características y los parámetros del estado físico real de un elemento.

En este sentido el mantenimiento basado en la condición (MBC) de los sistemas complejos, es una política de mantenimiento, que permite identificar a través de líneas de tendencia, análisis de datos, recomendar acciones de mantenimiento apropiadas en base a un diagnóstico, basadas en la información característica recopilada a través del monitoreo. Para llevar a cabo estos diagnóstico es necesario disponer de técnicos cua-

lificados en las diferentes técnica. Al tomar medidas de mantenimiento solo cuando son necesarias, como lo indica la información característica monitoreada, una política adecuada de MBC, podría evitar tareas de mantenimiento innecesarias y reducir el costo de mantenimiento (Jardin y Daming, 2006). En este sentido el diagnóstico se ocupa de la detección de fallas, aislamiento e identificación cuando ocurre. La detección de una falla es una tarea para indicar si algo va mal en el sistema monitoreado; el aislamiento de fallas es una tarea para localizar el componente que está defectuoso; y la identificación de fallas es una tarea para determinar la naturaleza de la falla cuando se detecta. En la imagen se muestra los tres elementos que componen un diagnóstico de un equipo:



Imagen 1. Tres pasos del diagnóstico por monitoreo de condición.

B. Adquisición de datos

La adquisición de datos es un proceso de recopilación y almacenamiento de datos útiles (información) del activo físicos específicos estudiado. Este proceso es un paso esencial en la implementación de un programa MBC para diagnósticos y pronósticos de fallas de maquinaria (o fallas, generalmente causadas por una o más fallas de maquinaria), tal como lo afirma (Jardin y Daming, 2006). Los datos de monitoreo por condición son muy versátiles. Pueden ser datos de vibración, datos acústicos, datos de análisis de aceite, datos de temperatura, presión, humedad, humedad, clima o medio ambiente, etc. Las tecnologías inalámbricas, como bluetooth, han proporcionado una solución alternativa a la comunicación de datos rentable. Tal como lo afirman (Primera y Galvan, 2019) por la forma de adquirir los datos se pueden clasificar en:

-Opción IN SITU. Esta opción implica que los datos son almacenados en el equipo, ya sea en el mismo sensor o en una CPU instalada al efecto. Dado el grado de miniaturización y potencia de los actuales sistemas computacionales y de almacenamiento, esta opción es en muchos casos viable y de bajo costo, pudiendo aliviar mucho de tráfico las redes de comunicación y proporcionar análisis previos muy precisos directamente en el equipo.

-Opción en CASA. Esta opción contempla el envío

de toda la información hacia sistemas de almacenamiento centralizados en la empresa o planta, donde son previamente tratados.

-Opción en la NUBE. El uso de esta opción implica generalmente la firma de acuerdo con proveedores externos de servicios especializados de Detección, Diagnóstico y Pronóstico, existiendo una gran variedad de opciones

C. Procesamiento de datos

El primer paso del procesamiento de datos es la limpieza de datos. La limpieza de datos asegura, o al menos aumenta la posibilidad, de que los datos limpios (sin errores) se utilicen para análisis y modelado adicionales. El siguiente paso del procesamiento de datos es el análisis de datos. Una

variedad de modelos, algoritmos y herramientas están disponibles en la literatura para analizar datos para una mejor comprensión e interpretación de los datos. Los modelos, algoritmos y herramientas utilizados para el análisis de datos dependen principalmente de los tipos de datos recopilados

D. Decisiones de Mantenimiento

Las técnicas de apoyo para las decisiones del mantenimiento en un programa de MBC, se pueden dividir en dos categorías principales: diagnóstico y pronóstico. Como se mencionó anteriormente, el diagnóstico de

fallas se enfoca en la detección, aislamiento e identificación de fallas cuando ocurren. Los pronósticos, sin embargo, intentan predecir fallas antes de que ocurran. Obviamente, los pronósticos son superiores a los diagnósticos en el sentido de que los pronósticos pueden prevenir los fallos, y si es imposible, estar listo (con repuestos preparados y recursos humanos planificados) para los problemas, y así ahorrar costos de mantenimiento no planificados adicionales. Sin embargo, los pronósticos no pueden reemplazar completamente los diagnósticos, ya que, en la práctica, siempre hay fallas que no son predecibles. Además, los pronósticos, como cualquier otra técnica de predicción, no se pueden estar 100% seguros de predecir fallas.

III. DESARROLLO DE PROGNOSIS EN EVENTOS COMBINADOS Y ENFOQUES PROBABILÍSTICOS

En la actualidad hablar de prognosis como factor crítico de éxitos dentro de la gestión del ciclo de vida de los activos, se hace cada vez más recurrente, tal como lo afirman (Muller y Lung, 2004). El desarrollo de los procesos para prognosis de activos, tienen como objetivo combinar un modelo de comportamiento probabilístico con un modelo de eventos, de tal manera que permita obtener beneficios simultáneos del conocimiento a priori sobre el comportamiento y evolución del sistema en tiempo real.

Los pronósticos se ocupan de la predicción de fallas antes de que ocurra. La predicción de fallas es una tarea para determinar, si una falla es inminente y estimar qué tan pronto y con qué probabilidad ocurrirá una falla.

La idea principal de los pronósticos que incorporan políticas de mantenimiento es optimizar las políticas de mantenimiento de acuerdo con ciertos criterios tales como riesgo, costo, confiabilidad y disponibilidad. El riesgo se define como la combinación de probabilidad y consecuencia. Por lo general, la consecuencia se puede medir por el costo. En este caso, el criterio de riesgo es equivalente al criterio de costo.

Hay dos tipos principales de prognosis de máquina. El pronóstico más obvio y ampliamente utilizado, es predecir cuánto tiempo queda antes de que ocurra una falla (o, una o más fallas) dada la condición actual de la máquina y el perfil de operación anterior, sin embargo en la actualidad también encontramos desarrollos que procesan todos los datos generados en tiempo real, se anticipan a la ocurrencia de eventos e identifican modos de fallos, potenciales causas asociadas y emite las acciones a seguir en función a la correlación de variables de operación y condiciones mecánicas medidas.

A. El modelo de comportamiento (probabilístico)
La definición del modelo de comportamiento del sistema resulta de la integración de dos componentes:

- a) Un enfoque funcional del sistema
- b) Un enfoque dinámico del sistema.

a) El enfoque funcional del sistema tiene como objetivo modelar el funcionamiento del sistema. Se basa en el proceso de enfoque. En el cual todo el sistema se divide en varios procesos y subprocesos identificados de acuerdo con sus objetivos y sus niveles de abstracción. Esta descomposición, tiene que ser impulsada, también por los flujos de recursos de información, material consumidos o producidos por cada proceso, se detiene, cuando el proceso es elemental. Luego se asocia un soporte a cada proceso que materializa el mecanismo necesario para realizar el proceso. Cada flujo está compuesto de objetos; cada flujo y objeto se describe por atributos; los valores de los atributos son representativo de los modos de funcionamiento (degradado, nominal) del proceso.

b) El enfoque dinámico del sistema, que modela el mal funcionamiento del sistema, se describe en dos fases:

b1). La definición de todas las relaciones causales, entre degradación / causa / consecuencia, que vinculan los apoyos de los procesos y el flujo atributos. Esta acción utiliza métodos convencionales de fiabilidad tal como la descrita en UNE-EN 60812, 2018. tales como modos de falla, efectos y análisis criticidad análisis (FMECA).

b2) El modelado de todos los deterioros que son complementarios y que están vinculados a los mecanismos físicos de deterioros como desgaste, grietas, corrosión y que son definidos en la UNE ISO 14224, 2016.

Estos mecanismos pueden ser formalizados por procesos de Markovianos representados, por ejemplo, por redes dinámicas bayesianas para enfrentar el aumento de los números estadíos.

Por lo tanto, el modelo de comportamiento (probabilístico) resulta de la agregación del modelo de proceso, lo causal de las relaciones entre degradación / causa / consecuencia y los modelos de mecanismo de deterioro. En la imagen 2, se muestra un prototipo de los procesos de comunicación.

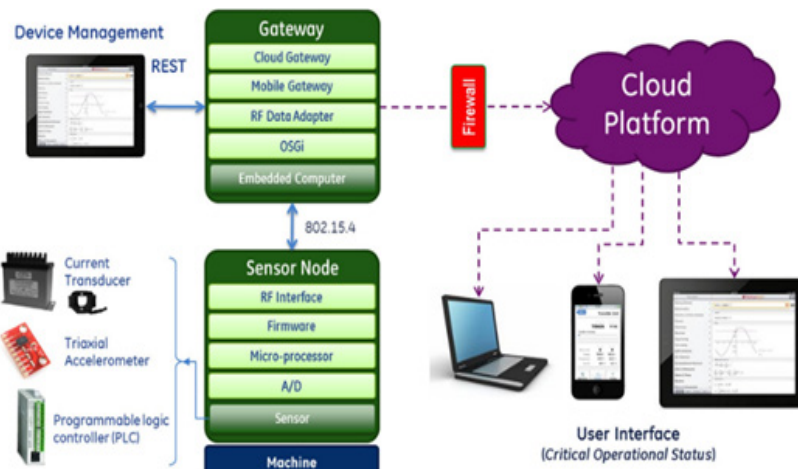


Imagen.2 Arquitectura de comunicación

IV. CASO DE APLICACIÓN

Para el sistema de combustión instalado en el banco de prueba desarrollamos un despliegue de 7 puntos de captura de datos con un muestreo de variables, tal

y como se muestra en la figura 3, con una capacidad de captura de 3 datos por minuto. Se utilizó tecnología inalámbrica para cada uno de los datos.

V. CONCLUSIONES

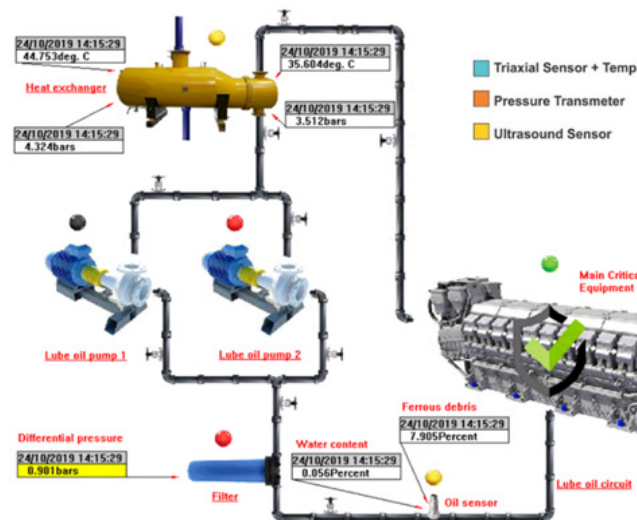


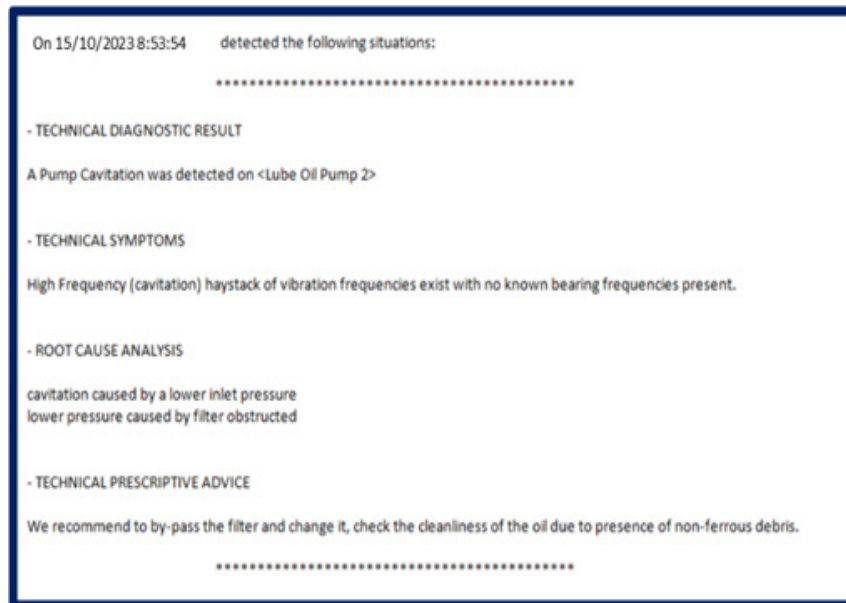
Imagen.3 Sistema de combustión (prueba)

Se procede a la medición de 9 variables, a estas medidas (ver figura 3) se les definieron límites de alarma, alerta y precaución basados en estándares internacionales, análisis de la curva de desempeño de la bomba y análisis de los datos técnicos de la bomba y el motor. El modo de falla que se utilizó para la primera simulación fue la obstrucción del filtro en la línea, dado que estadísticamente es la falla más repetitiva en este sistema.

Se identificaron los síntomas y correlaciones que podrían ocasionar la obstrucción del filtro en la línea. Con los elementos disponibles en el banco de prueba para forzar la aparición de estos síntomas, se generó la desviación para poner a prueba el desarrollo del softwa-

re. Con objeto de forzar comportamientos erráticos de difícil interpretación en cada variable, un simulador especialmente creado al efecto generó comportamientos normales y desviaciones más extremos (menos predecibles) que los convencionales para las variables. Con ellos el software fue sometido a pruebas reiteradas hasta que su capacidad de autoadaptación, detección, diagnóstico y pronóstico fue considerada adecuada, porque tenía éxito.

Como resultado de este proceso el software es capaz de generar y enviar el correo electrónico a los responsables del proceso. Tal como se muestra en la imagen 4.



Este trabajo plantea la potencialidad de los nuevos desarrollos como herramientas para la pronosis como elemento clave más allá de monitoreo por condición tradicional.

Las organizaciones con capacidad tecnológica para implementar este tipo de herramientas obtienen mejores rendimientos de los activos a lo largo de su ciclo de vida.

Este tipo de tecnología tiene un equilibrado costo beneficio para activos críticos de procesos.

Este tipo de tecnología incorpora metodologías que permiten fusionar conclusiones de diferentes métodos de detección, diagnóstico y pronóstico, tratamiento de la incertidumbre y generación de conclusiones coherentes desde el punto de vista de la ingeniería y el negocio. Además de aporta también acciones directas sobre los activos.

REFERENCIAS

- [1]Heder, M; From NASA to EU: the evolution of the TRL scale in Public Sector Innovation" (PDF). The Innovation Journal. 22: 1–23. Archived from the original (PDF) on October 11, 2017.
- [2]IJIM, Wang, P., Vachtsevanos, G., 2009, Pronóstico de fallas utilizando redes neuronales de wavelet dinámicas, En: AAAI Spring Symposium in Equipment Maintenance Service and Support, Polo Alto (EE. UU.).
- [3]Jardine, A; Daming Lin, D. A review on machinery diagnostics and prognosticsimplementing condition-based maintenance. Elsevier.pag.1463-1510.2006.
- [4]Khelif, R., Malinowski, S., Chebel-Morello, B., Zerhouni, N., 2014. RUL prediction based on a new similarity-instance based approach. In: Presented at the

Industrial Electronics (ISIE), IEEE 23rd International Symposium on, IEEE, pp. 2463–2468.

[5]Muller, A, Suhner, M.-C., lung B., 2004, Probabilistic vs. dynamical prognosis process-based e- maintenance system, Pre-prints of the 11th IFAC Symposium INCOM04, Salvador, Brasil, April 5-7

[6]Spiewak S.A., Duggirala R., Barnett K., 2000, Monitoreo predictivo y control del proceso de extrusión en frío, Annals of CIRP, 49/1: 383-386.

[7]Primera, E; Galvan, B. Diagnóstico y Pronóstico de Fallas mediante Sistemas de Monitorización y Análisis de Datos en la Nube.Simposio SMRP.Lima.2019.

[8]Othman, M.R., Ali, M.W., Kamsah, M.Z., 2012. Process fault detection using hierarchical artificial neural network diagnostic strategy. J. Teknol. 46, 11–26.

[9]Vasile-Dragomir, O.E., 2008. Contribution au pronostic de défaillances par réseau neuro-flou: maîtrise de l'erreur de prédiction.

[10]Westkampfer, E., 2003, Procesos de ensamblaje y desensamblaje en las perspectivas del ciclo de vida del producto.

[11]UNE-EN 16646. Mantenimiento. Mantenimiento dentro de la gestión de activos. AENOR. 2015.

[12]UNE-EN 13306. Mantenimiento. Terminología del Mantenimiento. AENOR. 2018.

[13]UNE EN 60812. Analisis de Modos y efectos de Fallos. AENOR. 2018

[14]UNE ISO 14224. Adquisición y manejo de información del mantenimiento. AENOR. 2016.

TECNOLOGÍA BLOCKCHAIN EN LA INDUSTRIA DE LA FABRICACIÓN

Acevedo López, Daniel y Duarte Parra, Ángel.
dacevedo@unexpo.edu.ve, aduarte@unexpo.edu.ve
Centro de Ingeniería de Fabricación

Resumen: En este trabajo se presenta el análisis de la aplicación de la tecnología blockchain en la industria de fabricación. Se parte de la génesis y evolución histórica, pasando por la explicación de trabajos académicos e industriales que se están realizando y se plantean los retos y desafíos futuros. En tal sentido, es importante destacar que la Tecnología blockchain se está convirtiendo en una herramienta cada vez más importante en la implementación de la Industria 4.0. La Industria 4.0 representa la tendencia actual de las tecnologías de automatización en la industria de fabricación, y se basa en tecnologías como los Sistemas Conectados, el Internet de las Cosas y la Computación en la Nube. La tecnología Blockchain se puede utilizar para implementar la Industria 4.0 y tiene el potencial de promover la resiliencia, la escalabilidad, la seguridad y la autonomía en la industria.

Palabras Clave: Tecnología Blockchain, Blockchain en Fabricación, Industria de Fabricación, Fabricación 4.0, Industria 4.0.

BLOCKCHAIN TECHNOLOGY IN THE MANUFACTURING INDUSTRY

Abstract: This work presents the analysis of the application of blockchain technology in the manufacturing industry. It starts from the genesis and historical evolution, going through the explanation of academic and industrial work that is being carried out and future challenges and challenges. In this sense, it is important to highlight that blockchain Technology is becoming an increasingly important tool in the implementation of Industry 4.0. Industry 4.0 represents the current trend of automation technologies in the manufacturing industry, and is based on technologies such as Connected Systems, the Internet of Things and Cloud Computing. Blockchain technology can be used to implement Industry 4.0 and has the potential to promote resilience, scalability, security and autonomy in the industry.

Keywords: Blockchain Technology, Blockchain in Manufacturing, Manufacturing Industry, Manufacturing 4.0, Industry 4.0.



I. INTRODUCCIÓN

Debido a la profunda influencia que la industria de fabricación tiene en el progreso económico y social, la iniciativa de la Industria 4.0 ha generado gran expectativa tanto en la comunidad empresarial como en la académica. Aunque el concepto no es nuevo y ha sido objeto de investigación académica durante muchos años, el término "Industria 4.0" ha ganado recientemente aceptación en la vida académica y en la sociedad industrial [1]. Mientras la investigación académica se centra en comprender y definir el concepto, desarrollar sistemas relacionados, modelos de negocios y metodologías, los empresarios se enfocan en cómo cambiar sus máquinas industriales ya existentes y como hacer sus productos inteligentes, así como en los posibles clientes en este proceso [2].

Para lograr una transformación exitosa hacia la fabricación digital, las empresas deben comprender las características y el contenido de la Industria 4.0 y evaluar sus capacidades en relación con los requisitos básicos establecidos para el estándar. Blockchain Manufacturing 4.0 se refiere a la aplicación de la tecnología blockchain en la industria de la fabricación, con el objetivo de mejorar la eficiencia, la transparencia y la seguridad de los procesos de producción. Esto se puede lograr mediante la implementación de sistemas de registro y seguimiento basados en blockchain que permitan a las empresas de fabricación rastrear y verificar el origen de las materias primas y componentes utilizados en sus productos, compartir y acceder de manera segura a datos importantes, como los diseños de piezas y partes, los planos de fabricación, y los registros de calidad, y realizar y recibir pagos de manera rápida y segura utilizando criptomonedas. La implementación de estos sistemas puede ayudar a las empresas de fabricación a mejorar su competitividad y a adaptarse a los cambios del mercado en un mundo cada vez más digital y conectado [3].

Precisamente, en este trabajo se presenta el análisis de la aplicación de la tecnología blockchain en la industria de fabricación. Se parte de la génesis y evolu-

ción histórica, pasando por la explicación de trabajos académicos e industriales que se están realizando y se plantean los retos y desafíos futuros.

II. TECNOLOGÍA BLOCKCHAIN

Blockchain es un sistema de base de datos distribuida, inmutable y transparente. Esto significa que los datos se almacenan en multitud de nodos de una red informática, sin que haya ninguna entidad concreta que la controle. Cada nodo tiene su propia copia que se actualiza a medida que se confirman y agregan nuevos datos. Los datos registrados son inmutables, esto es, se pueden guardar nuevos registros, pero no modificar los existentes. Por último, cualquier persona puede consultarlos o formar parte de la red [4].

Tradicionalmente, las bases de datos públicas necesitan que haya una tercera persona de confianza (un banco, notario, registrador, otros) que certifique que los registros de los datos que contiene son veraces. La tecnología blockchain elimina la necesidad de los terceros de confianza, pudiendo registrar transacciones con total garantía [5].

Como hemos visto, la tecnología blockchain o cadena de bloques está pensada para crear bases de datos. Lo particular de estas bases de datos es que los datos no se guardan en el disco duro de alguna computadora, no hay ninguna persona o empresa que gestione esta base de datos. Se trata de una base de datos distribuida y descentralizada. Los datos se guardan en multitud de nodos de una red informática. Todos los nodos son iguales y, en caso de inconsistencia (por error o mala intención), se valida la versión de los datos que tiene un mayor número de nodos [6].

Las bases de datos de blockchain recopilan la información en grupos de datos conocidos como bloques. Los bloques tienen una cierta capacidad de almacenamiento. Cuando se llena un bloque, se cierra y se vincula con el bloque anterior (el bloque que se había llenado previamente). Por tanto, la base de datos es realmente una cadena de bloques sellados, representados en la figura 1. De ahí el nombre, blockchain.

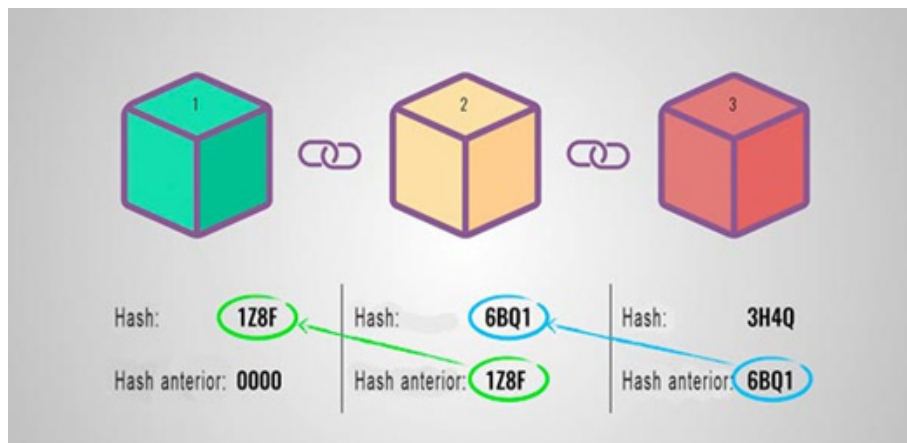


Figura 1: Cadena de bloques

Sellar un bloque significa que se crea una firma criptográfica (de tipo hash) que garantiza la integridad de los datos del bloque, junto con los del bloque anterior. Si se modificase mínimamente algún bit del bloque, la firma perdería la consistencia y se detectaría. Esto le proporciona a cada bloque una especie de “sello único” que hace imposible su modificación. La firma electrónica cifrada une cada bloque con el anterior, garantizando la continuidad temporal [7].

Las bases de datos blockchain van registrando sus datos de acuerdo con una línea de tiempo inquebrantable. Cuando se sella un bloque, sus datos se “graban en piedra” y pasan a formar parte de su línea de tiempo. Los datos guardados de esta forma son inmutables. Las bases de datos tradicionales estructuran sus datos en tablas. Los programas de gestión de estas bases de datos (como SQL) se encargan de relacionar estos datos para gestionarlos de la forma deseada. Pueden sustituir un dato por otro o mostrarlos de forma diversa. La cadena de bloques no hace ningún trabajo de gestión, simplemente almacena datos de forma secuencial con marca de tiempo [8].

Los datos registrados en la cadena de bloque pueden consultarse de forma transparente desde cada nodo. Por otro lado, existe un software específico conocido como exploradores de cadenas de bloques que permiten que cualquier usuario pueda consultar los registros. Dicho de otra forma, blockchain no está pensado para gestionar una base de datos dinámica, sino para registrar información que no se puede modificar, eliminar o destruir.

A. Evolución de la tecnología blockchain.

1) Del 2008 al 2013: Nacimiento de bitcoin

La mayoría de la gente cree que bitcoin y blockchain son lo mismo. Sin embargo, ese no es el caso, ya que

una es la tecnología base que impulsa la mayoría de las aplicaciones, de las cuales una de ellas es la criptomoneda. Bitcoin nació en 2008 como la primera aplicación de la tecnología blockchain. Satoshi Nakamoto en su artículo técnico lo describió como un sistema electrónico peer-to-peer (punto a punto). Nakamoto formó el bloque génesis, desde el cual se extrajeron otros bloques, que se interconectaron, dando como resultado una de las cadenas de bloques más grandes que transporta información y transacciones [9].

2) Del 2013 al 2015: Desarrollo de Ethereum.

Ethereum nació como una nueva blockchain pública en 2013 con funcionalidades adicionales en comparación con bitcoin, un desarrollo que ha resultado ser un momento crucial en la historia de blockchain [10].

Ethereum se diferencia de bitcoin al habilitar una función que permite a las personas registrar otros activos como “contratos inteligentes”. La nueva característica amplió las funcionalidades de Ethereum de ser una criptomoneda a una plataforma para desarrollar aplicaciones descentralizadas también. Lanzado oficialmente en 2015, Ethereum ha evolucionado hasta convertirse en una de las aplicaciones más grandes de la tecnología de blockchain, dada su capacidad para respaldar los contratos inteligentes utilizados para realizar diversas funciones [11].

3) En 2015: Hyperledger.

La Fundación Linux presentó un proyecto blockchain llamándolo Hyperledger, que hasta la fecha actúa como un desarrollo colaborativo de registros distribuidos. El proyecto busca avanzar en la colaboración con las industrias para el desarrollo de blockchain y los registros distribuidos [12]. El enfoque es fomentar el uso de la tecnología blockchain para mejorar el rendimiento

y la confiabilidad de los sistemas actuales para respaldar las transacciones comerciales a nivel global. [13]

4)En 2017: EOS.io

La empresa block.one en 2017, realizó la publicación de un documento que detalla un nuevo protocolo de blockchain con EOS como la criptomoneda nativa. A diferencia de otros protocolos de blockchain, EOS intenta emular atributos de computadoras reales, incluyendo CPU y GPU como una plataforma de contrato inteligente, así como un sistema operativo descentralizado. Su objetivo principal es fomentar el despliegue de aplicaciones descentralizadas a través de una compañía autónoma y descentralizada [14].

5)De 2018 en adelante: aplicaciones blockchain.

La historia y evolución de blockchain no se detienen con Ethereum y Bitcoin. En los últimos años, una serie de proyectos han surgido aprovechando todas las capacidades de la tecnología de blockchain. Los nuevos proyectos han tratado de abordar algunas de las deficiencias de Bitcoin y Ethereum, además de ofrecer nuevas características que aprovechan las capacidades de

blockchain [15].

Algunas de las nuevas aplicaciones de blockchain incluyen NEO, anunciada como la primera plataforma blockchain de código abierto [16] e IOTA, plataforma de criptomoneda optimizada para el ecosistema de Internet de las cosas [17].

B.Evolución de la tecnología blockchain en la industria.

Aunque es una tecnología relativamente nueva, la tecnología blockchain tiene muchos casos de uso prácticos y continuamente se introducen nuevas aplicaciones de la tecnología. Este desarrollo lo muestra una encuesta del Foro Económico Mundial de 2015, que predice que el 10% del PIB mundial se almacenará en la cadena de bloques para 2027 [18].

La primera aplicación de la Tecnología Blockchain, fue en el campo de las monedas digitales, como Litecoin y Dogecoin. Este trabajo, se centra en las otras aplicaciones y casos de uso más allá de esas aplicaciones iniciales. En la tabla 1 se ofrece una visión general de los siguientes casos de uso.

Caso de uso	Ejemplos	Descripción
Criptomoneda	- Bitcoin, Litecoin, Dogecoin	- Moneda digital utilizada para pagos
Contratos inteligentes	- Hyperledger Fabric	- Proyecto de implementación de contratos inteligentes confidenciales
Financiación participativa	- Swarmcoin	- Transferencia directa de capital a empresas
Mercados de predicción	- Predictious - Fairlay	- Implementación eficiente de los mercados de predicción
Mercados energéticos	- LO3 Energy - Wien Energy - Innogy	- Comercialización local de energía - Comercialización de energía entre empresas de servicios públicos - Solución para la facturación automatizada de estaciones de carga de vehículos eléctricos
Propiedad Inteligente	- Lantmäteriet - Telia - Landshypoteket - SBAB - ChromaWay	- Transferencia de derechos de propiedad, para activos como terrenos u otros activos tangibles, utilizando blockchain

C. Uso en contratos inteligentes.

Con la introducción de los contratos inteligentes, el número de casos de uso aumentó drásticamente. Los contratos inteligentes son simplemente “programas almacenados en una cadena de bloques que se ejecutan cuando se cumplen condiciones predeterminadas”. Por lo general, se utilizan para automatizar la ejecución de un acuerdo, de modo que todos los participantes puedan estar seguros de inmediato del resultado, sin la participación de ningún intermediario ni pérdida de tiempo [19].

Si se cumplen las condiciones previas del contrato, las operaciones comerciales acordadas comenzarán automáticamente y no requerirán interacción humana adicional.

Un ejemplo de uso de contratos inteligentes es el marco HyperLedger, un proyecto de código abierto, en el que IBM es uno de los principales contribuyentes al desarrollo del código. El proyecto involucra a ABN-AMRO, Intel, JP Morgan, Red Hat, VMware, Wells Fargo y otros actores. Existen numerosos proyectos basados en el marco HyperLedger, uno de ellos se llama Fabric, que permite a los actores de un mercado establecer acuerdos confidenciales a través de contratos inteligentes [20]

D. Uso en mercados energéticos

Los mercados energéticos se enfrentan al cambio hacia un mercado de consumidores con producción descentralizada. Las microrredes de energía basadas en blockchain abordan este desafío. LO3 Energy ha desarrollado una tecnología para el comercio de energía solar a nivel local utilizando una solución de cadena de bloques peer-to-peer. La primera aplicación real con 50 unidades físicas se probó en el año 2016 en Brooklyn, en cooperación con Siemens [21].

El proyecto Brooklyn Microgrids aplica contadores inteligentes para realizar el seguimiento de la genera-

ción y consumo de energía con contratos inteligentes de transacciones de energía entre los actores de la red. Una cuestión clave planteada es la escalabilidad del proyecto. Específicamente, la potencia de cómputo que se necesita para validar las transacciones de la microrred y que aumenta con el tamaño de la red se considera como uno de los desafíos clave para escalar el proyecto [22]

E. Uso en propiedad inteligente

El registro y la transferencia de derechos de propiedad (tierra u otros activos valiosos como automóviles) se pueden realizar a través de la tecnología blockchain de manera segura y eficiente. Se ha probado una aplicación pionera en Suecia, con actores como el Servicio Nacional de Encuesta de Tierras de Suecia Lantmäteriet, la empresa de telecomunicaciones Telia, los bancos Landshypoteket y SBAB, y la empresa emergente ChromaWay [23].

III. TECNOLOGÍA BLOCKCHAIN EN LA INDUSTRIA DE FABRICACIÓN

Si bien la mayoría de los proyectos de investigación aún se centran en la tecnología en sí y las aplicaciones en la industria financiera, el interés por explotar blockchain en la industria de la fabricación está aumentando. Especialmente la aplicación de blockchain para la gestión y auditoría de la cadena de suministro es investigada por varias compañías. Adicionalmente, el rol de la tecnología blockchain para la Industria 4.0 y el Internet de las Cosas está actualmente en el punto de mira de los principales protagonistas de los sectores industriales, también algunas compañías están combinando blockchain con soluciones de impresión 3D creando nuevos procesos de fabricación.

Una descripción general de los casos de uso de la tecnología blockchain en fabricación se muestra en la tabla 2.

Caso de uso	Ejemplos	Descripción
Gestión de la cadena de suministros y memoria digital de productos	- IBM y Maersk - Provenance	- Seguimiento de contenedores durante el proceso de envío - Registro de toda la información importante del producto a lo largo de toda la cadena de suministro
Aplicaciones del Internet de las cosas y de la Industria 4.0	- Hyundai Digital Asset Company (Hdac) - Super Computing System AG	- Identificación de dispositivos IoT a través de blockchain - Sensores que marcan el tiempo de los datos en la cadena de bloques para resguardarlos de la manipulación
Impresión 3D	- Génesis of Things - Moog Aircraft Group	- Plataforma para permitir la impresión 3D a través de contratos inteligentes - Garantiza la impresión 3D segura de piezas de aviones a través de blockchain

A. Gestión de la cadena de suministro y memoria digital de producto

La empresa Informática IBM y la empresa naviera Maersk probaron la aplicación de blockchain en la logística. Mostraron en un “Proof of Concept” que se puede usar una cadena de bloques para rastrear contenedores durante el proceso de envío. El objetivo del proyecto es reducir el esfuerzo y el papeleo necesarios para el envío. A través de la plataforma, todos los actores de la cadena de suministro pueden acceder a la información que es relevante para ellos y pueden actuar en consecuencia [24]

En un esfuerzo por digitalizar la cadena de suministro, la empresa emergente Provenance. está intentando asegurar la trazabilidad de certificaciones y otra información importante de productos en una cadena de bloques. La idea es que cada producto obtenga un “pasaporte digital” que pruebe su autenticidad y ayude a determinar su origen, evitando así la venta de productos falsificados. A diferencia de las soluciones existentes, donde terceros independientes certifican el producto (por ejemplo, Fairtrade, Soil Association), Provenance utiliza una cadena de bloques para registrar cada paso del proceso de producción. Para los diferentes participantes en la cadena de suministro, existen diferentes soluciones de software para acceder a la cadena de bloques, posibilitando extraer información importante para

este participante y para confirmar su paso por el proceso de producción. Posteriormente, el comprador puede escanear el producto (por ejemplo, a través de código QR) y acceder a la información de la cadena de bloques para verificar cada paso del proceso de producción [25].

B. Internet de las cosas e Industria 4.0

Resolver el problema de identificación de dispositivos IoT y reducir la vulnerabilidad durante este proceso son los objetivos de Hyundai Digital Asset Company. La forma actual de autenticación basada en certificados de autoridades es significativamente costosa la escalabilidad es cuestionable. HDAC está aplicando la tecnología blockchain para comunicarse de forma rápida y eficaz, gestionar la verificación de identidad, la autenticación y el almacenamiento de datos entre dispositivos IoT. El sistema incorpora un sistema de doble cadena (pública y privada) para aumentar la velocidad y el volumen de las transacciones, lo que lo hace idóneo para los dispositivos IoT [26].

También Super Computing Systems AG publicó un documento técnico en el que proponen el uso de blockchain para marcar el tiempo de los datos de los sensores para las aplicaciones de la Industria 4.0. Para aumentar el nivel de confianza entre las diferentes partes, quieren crear sensores que puedan guardar y, por lo tanto, marcar el tiempo de sus datos en una cadena de bloques.

Como resultado, se puede asegurar que los datos no fueron manipulados posteriormente y que se cumplieron todos los estándares [27].

C. Plataformas de impresión 3D

En 2016 Blechschmidt y Stöcker publicaron un artículo sobre cómo la cadena de bloques puede eliminar los gastos generales en la industria de fabricación, a lo que denominan "impuesto de confianza" [28]

En el documento, presentan el proyecto "Genesis of Things", que es una cooperación de varias empresas, incluidas Cognizant Technology Solutions GmbH, Innoogy SE y Commerzbank AG. El objetivo del proyecto es crear una plataforma basada en blockchain para facilitar la cadena de suministro de impresión 3D. Como PoC, se produjeron piezas con una identificación única y una memoria de producto digital usando la plataforma.

Primero, el diseñador registra el diseño de su producto en la cadena de bloques. Para protegerlo del plagio, el diseño está encriptado. Entonces el archivo de diseño utiliza contratos inteligentes para negociar automáticamente los precios, encontrar la impresora 3D más cercana y barata y negociar condiciones con el cliente y el proveedor.

Todos esos pasos se llevan a cabo sin intermediarios. Después de que se produce el pedido, la cadena de bloques proporciona la memoria digital del producto, la cual incluye todo el historial del producto, por ejemplo; los materiales utilizados en la producción o la propiedad del producto. Este proyecto no sólo puede aumentar la confianza de los clientes también permite grandes ahorros de costos cuando se trata de garantía, mantenimiento o reciclaje.

Otra empresa que utiliza blockchain en combinación con impresión 3D es Moog Aircraft Group. Utilizan la impresión 3D para habilitar una cadena de suministro On-Time y On-Use, donde las piezas se pueden imprimir exactamente cuándo se necesitan, ahorrando costos de inventario, importación y logística. En este proyecto, la cadena de bloques se utiliza para transferir de forma segura los datos a una impresora 3D verificada. Después de la producción, permite la autenticación de la pieza, lo que ayuda a los técnicos a asegurarse de que no haya sido falsificada antes de la instalación, lo que garantiza que cada pieza individual pueda identificarse sin lugar a duda. Actualmente, la tecnología se utiliza para registrar piezas producidas de manera convencional, porque las piezas impresas en 3D aún no están permitidas para su uso actual en aeronaves, pero en el futuro el sistema se actualizará para permitir una producción descentralizada. La visión es que los clientes en el futuro solo comprarán artículos de suministro digital y podrán

decidir cuándo y dónde producir la pieza en una red de impresoras 3D certificadas [29]

D. Análisis de factibilidad

Después de presentar los casos de uso actuales de la tecnología blockchain, ahora se revisará las condiciones bajo las cuales las soluciones blockchain pueden ser más beneficiosas.

Para este fin se debe responder a la pregunta de si la aplicación de blockchain es útil para casos de uso específicos. Dado que los bancos de datos con software tradicional también pueden cumplir con la mayoría de los requisitos, se deben cumplir ciertas condiciones para que las fortalezas de blockchain surtan efecto.

Un sistema colaborativo descentralizado solo tiene sentido cuando múltiples partes involucradas que necesitan compartir o actualizar datos de manera confiable. Generalmente se describe la funcionalidad de blockchain como "administrar y asegurar las relaciones digitales como parte de un sistema de registro sobre una capa de la Internet" [30]. En consecuencia, la historia de las relaciones digitales es más importante que la velocidad de las transacciones. Se reemplaza una autoridad central, porque está conectada a fallas de seguridad o altos costos de confianza. Los problemas de confianza entre muchas partes involucradas son la condición subyacente predominante para aplicar blockchain.

En los procesos de fabricación, la irreversibilidad de los datos puede ser valiosa para controlar y documentar la calidad. Esto reduciría los costos inherentes a muchos procesos. Sin embargo, hasta ahora, a menudo no se sabe con certeza dónde radican las ventajas reales en comparación con las soluciones tecnológicas de uso común y, antes de que se hayan establecido técnica y culturalmente procesos descentralizados y colaborativos, la cadena de bloques solo sirve como un medio.

Los principales desafíos hoy en día son la falta de estándares y normas, el marco legal y regulatorio poco claro, la falta de confianza y los problemas técnicos. En consecuencia, razones que aún impiden que blockchain tenga aplicaciones industriales a gran escala.

Sin embargo, esto no significa que las cadenas de bloques no se puedan utilizar en la industria de fabricación con Big Data y en tiempo real. Incluso si no se puede utilizar para la toma de decisiones, los datos agregados se pueden almacenar en la cadena de bloques y, por lo tanto, también estar disponibles para otras partes de la cadena de suministros.

El HypeCycle de Gartner es una herramienta de uso común para clasificar la madurez, la adopción y la aplicación social de tecnologías específicas. Fue desarrollado por la empresa de tecnología de la información Gart-

ner Inc. y muestra las expectativas de una tecnología a lo largo del tiempo desde que surgió. El ciclo se divide en cinco fases. Después de que se activa la tecnología, el entusiasmo aumenta dramáticamente y surgen expectativas poco realistas. Cuando esas expectativas no pueden ser cumplidas, se pasa el pico y las expectativas caen en el valle de la desilusión. Posteriormente, cuando un número cada vez mayor de personas comprende la tecnología, se produce la pendiente de la iluminación

y, finalmente, se produce la adopción generalizada en la meseta de la productividad [31].

La figura 2 muestra el HypeCycle de Gartner con las estimaciones de los expertos. Se puede observar que las plataformas blockchain aún no han superado la desilusión y la mayoría piensa que Blockchain & IoT se encuentra actualmente descendiendo de las expectativas infladas.

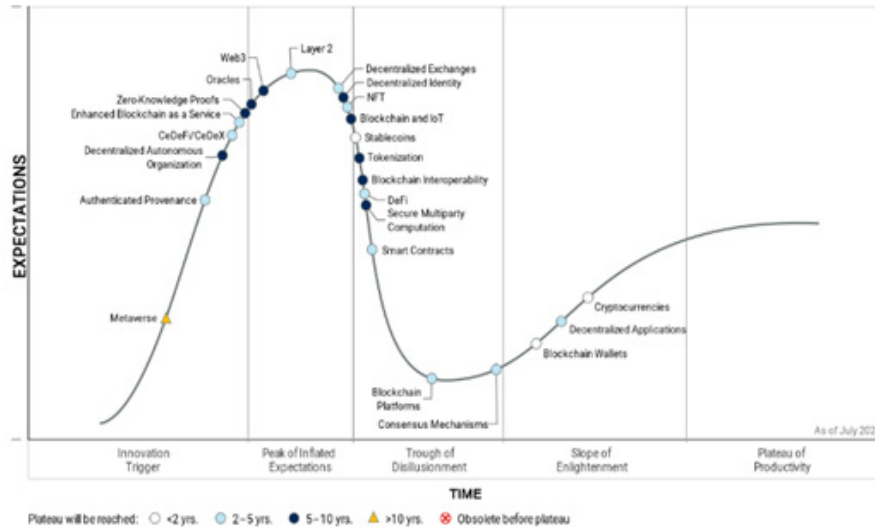


Figura 2: Hype Cycle de Gartner

IV. PANORAMA Y FUTURO DE LA TECNOLOGÍA BLOCKCHAIN EN LA INDUSTRIA DE LA FABRICACIÓN

Se ha intentado mostrar una perspectiva del futuro cercano de la tecnología blockchain, al analizar y sintetizar la información disponible en Internet y opiniones de expertos de la industria.

Los expertos predicen consistentemente que los primeros casos de uso exitosos se implementarán y anunciarán públicamente dentro de los próximos tres a cinco años. Es importante mencionar que el tiempo de comercialización difiere significativamente entre las áreas potenciales, debido a los diferentes requisitos técnicos de la solución específica.

Mientras que las primeras implementaciones se han dado en el sector financiero, otras industrias se están poniendo al día rápidamente con su desarrollo [32]. Un buen ejemplo es el sector de la energía, donde ya se han realizado pruebas de concepto prometedoras, a saber, el proyecto de cooperación de Siemens con LO3 o el proyecto de plataforma energética StromDAO [33].

El consenso prevalece en la medida en que el uso comercial de blockchain en la industria de fabricación no se alcanzará en un período de tres a cinco años, prin-

cipalmente debido a barreras técnicas.

Aunque los desafíos técnicos son los obstáculos más obvios, la gran mayoría de los expertos los considera solucionables en el futuro. Incluso la escalabilidad limitada, uno de los principales problemas y especialmente crucial en IoT o en la industria de fabricación, parece ser solucionable con conceptos en evolución actual como IOTA [34].

Además de estos problemas técnicos, los expertos consideran varios obstáculos adicionales que difieren en relación con su respectivo campo de actividad. En concreto, el sector energético parece enfrentarse a retos normativos relacionados con el establecimiento de una plataforma energética basada en blockchain, mientras que los problemas legales de responsabilidad aparecen cuando se trata de la impresión 3D.

Parece lógico pensar, que el principal problema es la apertura general hacia esta tecnología innovadora. Mucha gente parece asociar blockchain con bitcoin, dark-net y otros aspectos oscuros y, por lo tanto, tiene una asociación negativa con ella. Otros nunca han oído hablar de la tecnología, o no quieren invertir en una tecnología que no podría estar a la altura de las expectativas. En la mayoría de los casos, se prefieren soluciones

alternativas y conocidas que prolongan la transición a las soluciones blockchain.

Como se mencionó anteriormente, los expertos predicen un período de tiempo manejable para resolver la mayoría de los obstáculos que aún impiden el uso industrial de blockchain.

V. CONCLUSIONES

Este trabajo pretende mostrar el alto potencial de blockchain para la industria de fabricación. Se identificó una variedad de casos de uso de la tecnología blockchain en la industria de la fabricación. Estos casos de uso se analizaron y evaluaron en función de criterios para una aplicación beneficiosa de blockchain. El análisis evaluó el potencial de los casos de uso y el tiempo hasta la entrada en el mercado. Los expertos coinciden en que las primeras soluciones listas para el mercado que incluyen blockchain surgirán en los próximos 3 a 5 años y la evaluación de los casos de uso indica que esas aplicaciones pioneras estarán en la industria financiera.

Se prevé que a medida que la adopción de la tecnología blockchain crezca, se desarrollaran protocolos especializados para la industria de fabricación. Estos protocolos permitirán la creación de soluciones personalizadas para gestionar la cadena de suministro, mejorar la trazabilidad de productos y fortalecer la colaboración entre los participantes de la red.

Aunque la tecnología blockchain ha mostrado un gran potencial, no está exenta de desafíos, como la escalabilidad y la interoperabilidad. Sin embargo, la investigación y el desarrollo continuos buscan superar estos obstáculos, anticipando un futuro donde la blockchain desempeñará un papel fundamental en la transformación digital de la industria de fabricación.

Este trabajo se centró en las aplicaciones de blockchain en la industria de fabricación y potenciales desafíos. Las oportunidades de investigaciones futuras radican en un análisis más profundo de los procesos comerciales en la industria de la fabricación para explotar aún más las ventajas de la tecnología blockchain.

REFERENCIAS

- [1]Accenture. (s.f.). Industry 4.0 Revolution Report. Recuperado de <https://www.accenture.com/us-en/insight-digital-industry-impact>. Disp. en 2016
- [2]Alatoibi, Y. (2016). Business process modelling challenges and solutions: A literature review. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 27, 701–723.
- [3]Acevedo, D. (s.f.). Blockchain Manufacturing 4.0. Recuperado de <https://medium.com/@acevedod1974/blockchain-manufacturing-4-0-55000656ffca>
- [4]Binance Academy. (s.f.). History of Blockchain. Re-

cuperado de <https://academy.binance.com/es/articles/history-of-blockchain>

[5]Goel, A. (s.f.). Evolution of Blockchain Technology and Its Potential. Recuperado de <https://www.linkedin.com/pulse/evolution-blockchain-technology-its-potential-atul-goel/>

[6]Campus Blockchain. (s.f.). Historia y evolución de la tecnología blockchain de Bitcoin. Recuperado de <https://www.campusblockchain.es/historia-y-evolucion-de-la-tecnologia-blockchain-de-bitcoin/>

[7]TechTarget. (s.f.). A timeline and history of blockchain technology. Recuperado de <https://www.techtarget.com/whatis/feature/A-timeline-and-history-of-blockchain-technology>

[8]García, E. (s.f.). Blockchains, un futuro cercano. Decimocuarta Edición – Revista ECYS. Recuperado de <https://revistaecys.github.io/14Edicion/12-egarcia.html>

[9]Nakamoto, S. (2008). Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System. Recuperado de <https://bitcoin.org/bitcoin.pdf>

[10]Buterin, V. (2014). A Next-Generation Smart Contract and Decentralized Application Platform. Recuperado de <https://ethereum.org/en/whitepaper/>

[11]TechTarget. (s.f.). A timeline and history of blockchain technology. Recuperado de <https://www.techtarget.com/whatis/feature/A-timeline-and-history-of-blockchain-technology>

[12]Wikipedia. (s.f.). Hyperledger. Recuperado de <https://es.wikipedia.org/wiki/Hyperledger>

[13]Hyperledger Wiki. (s.f.). Recuperado de <https://wiki.hyperledger.org/>

[14]LCX. (s.f.). Brief Introduction to Evolution of Blockchain Technology. Recuperado de <https://www.lcx.com/brief-introduction-to-evolution-of-blockchain-technology/>

[15]LCX. (s.f.). Brief Introduction to Evolution of Blockchain Technology. Recuperado de <https://www.lcx.com/brief-introduction-to-evolution-of-blockchain-technology/>

[16]GeeksforGeeks. (s.f.). Phases of Evolution of Blockchain. Recuperado de <https://www.geeksforgeeks.org/phases-of-evolution-of-blockchain/>

[17]TechTarget. (s.f.). A timeline and history of blockchain technology. Recuperado de <https://www.techtarget.com/whatis/feature/A-timeline-and-history-of-blockchain-technology>

[18]World Economic Forum. (2015). Technological Tipping Points Report 2015. Recuperado de https://www3.weforum.org/docs/WEF_GAC15_Technological_Tipping_Points_report_2015.pdf

[19]IBM. (s.f.). Smart Contracts. Recuperado de <https://www.ibm.com/topics/smart-contracts>

- [20]Hyperledger. (s.f.). Introduction to Hyperledger. Recuperado de https://8112310.fs1.hubspotusercontent-na1.net/hubfs/8112310/Hyperledger/Offers/HL_Whitepaper_IntroductiontoHyperledger.pdf
- [21]Brooklyn Energy. (s.f.). Recuperado de <https://www.brooklyn.energy/>
- [22]Siemens. (s.f.). A microgrid grows in Brooklyn. Recuperado de <https://www.siemens.com/global/en/company/stories/research-technologies/energytransition/a-microgrid-grows-in-brooklyn.html>
- [23]CoinDesk. (2017). Sweden's Blockchain Land Registry to Begin Testing in March. Recuperado de <https://www.coindesk.com/markets/2017/01/10/swedens-blockchain-land-registry-to-begin-testing-in-march/>
- [24]Martinez, A. (s.f.). Maersk-IBM Blockchain Solution Value Consultative Selling. Recuperado de <https://www.linkedin.com/pulse/maersk-ibm-blockchain-solution-value-consultative-selling-martinez/>
- [25]Provenance. (s.f.). Provenance Whitepaper. Recuperado de <https://www.provenance.org/whitepaper>
- [26]Ledger Insights. (s.f.). Hyundai HDC and Blockchain Development. Recuperado de <https://www.ledgerinsights.com/hyundai-hdac-blockchain-development/>
- [27]SCS. (s.f.). Blockchain und Trusted Execution schaffen Vertrauen. Recuperado de <https://www.scs.ch/en/projekt/blockchain-und-trusted-execution-schaffen-vertrauen/>
- [28]Manufacturing Report. (s.f.). Whitepaper on Manufacturing. Recuperado de https://manufacturing.report/Resources/Whitepapers/b9492551-a132-4451-8eda-182ebd3a2780_Whitepaper-manufacturing.pdf
- [29]Moog. (s.f.). Introducing Veripart Issue 3. Recuperado de https://www.moog.com/news/blog/Innovation/IntroducingVeripart_Issue3.html
- [30]CoinDesk. (s.f.). Why Use a Blockchain? Recuperado de <https://www.coindesk.com/learn/why-use-a-blockchain/>
- [31]Gartner. (s.f.). Gartner Hype Cycle. Recuperado de <https://www.gartner.com/en/research/methodologies/gartner-hype-cycle>
- [32]Revista ECYS. (s.f.). Blockchains, un futuro cercano. Recuperado de <https://revistaecys.github.io/14Edicion/12-egarcia.html>
- [33]StromDAO. (s.f.). Über Uns. Recuperado de <https://www.stromdao.de/ber-uns>
- [34]IOTA Foundation. (s.f.). Vision and Mission. Recuperado de <https://www.iota.org/foundation/vision-and-mission>

LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL Y EL MERCADO LABORAL: PREPARANDO A LOS ESTUDIANTES PARA EL FUTURO

Resplandor, Richard.

rresplandor@unexpo.edu.ve.

Universidad Nacional Experimental Politécnica "AJS" Vice-Rectorado Puerto Ordaz, Bolívar, Venezuela.

Resumen: La inteligencia artificial está transformando el mercado laboral y tendrá un impacto significativo en el futuro del trabajo. La inteligencia artificial puede automatizar tareas repetitivas y ayudar a los profesionales a tomar decisiones, pero también puede destruir empleos y plantear problemas éticos. Los trabajadores y las organizaciones deben mejorar y reciclar sus habilidades para prepararse para el futuro del trabajo, y los responsables políticos deben abordar las posibles repercusiones de la inteligencia artificial para el empleo y trabajar en políticas que garanticen que las ventajas de la inteligencia artificial se compartan de forma equitativa. La inteligencia artificial también está creando nuevas oportunidades para roles que requieren habilidades técnicas avanzadas y una educación más especializada, pero se espera que la educación continua sea cada vez más importante para los trabajadores.

Palabras Clave: Estudiantes, inteligencia artificial, futuro, mercado laboral.

ARTIFICIAL INTELLIGENCE AND THE LABOR MARKET: PREPARING STUDENTS FOR THE FUTURE

Abstract: Artificial intelligence is transforming the labor market and will have a significant impact on the future of work. Artificial intelligence can automate repetitive tasks and help professionals make decisions, but it can also destroy jobs and raise ethical issues. Workers and organizations must upskill and reskill to prepare for the future of work, and policymakers must address the potential implications of AI for employment and work on policies that ensure the benefits of AI are shared equitably. Artificial intelligence is also creating new opportunities for roles that require advanced technical skills and more specialized education, but continuing education is expected to become increasingly important for workers

Keywords: Students, artificial intelligence, future, labor market



I. INTRODUCCIÓN

La inteligencia artificial está teniendo un impacto significativo en el mercado laboral, transformando la naturaleza del trabajo y las habilidades requeridas. A medida que la inteligencia artificial avanza, su influencia en la economía y la fuerza laboral es innegable. Según un estudio del Foro Económico Mundial, se espera que la inteligencia artificial automatice 75 millones de puestos de trabajo en todo el mundo para 2025, al tiempo que se crearán 133 millones de nuevos puestos de trabajo en su lugar

Ante este escenario, es necesario equipar a los estudiantes con las habilidades necesarias para prosperar en un mercado laboral cada vez más influenciado por la inteligencia artificial. Esto implica no solo enseñar habilidades técnicas en áreas como la ciencia de datos y el aprendizaje automático, sino también habilidades emocionales y estratégicas que requieren habilidades humanas únicas, como la toma de decisiones éticas, la empatía y la resolución de problemas complejos

II. DESARROLLO

A. La importancia de la inteligencia artificial en el mercado laboral.

La inteligencia artificial (IA) ha adquirido una importancia significativa en el mercado laboral, especialmente en el ámbito del marketing digital. Su aplicación ha generado transformaciones tecnológicas, mejoras en la eficiencia y la adquisición de nuevas habilidades. La IA ha demostrado ser capaz de identificar patrones de fraude en publicidad digital, protegiendo las inversiones en marketing y asegurando la precisión en la medi-

ción de resultados. Asimismo, ha permitido la creación de sistemas inteligentes y personalizados para gestionar el consentimiento, asegurando el cumplimiento de regulaciones y manteniendo la confianza del cliente. La inteligencia artificial (IA) puede ayudar a adquirir nuevas habilidades en el mercado laboral, especialmente en áreas como la programación, análisis de datos, aprendizaje automático y gestión de procesos de negocio. La IA también puede ser útil en la gestión del capital humano, permitiendo evaluar entrevistas con menos sesgos y tomar decisiones concretas sobre el futuro de un empleado. La automatización de tareas repetitivas, como el análisis de datos y la gestión de campañas publicitarias, ha liberado a los profesionales del marketing de tareas tediosas, permitiéndoles centrarse en actividades de mayor valor. Para adquirir habilidades relacionadas con la inteligencia artificial (IA) en el mercado laboral, es importante capacitarse en habilidades digitales, como la programación, análisis de datos, aprendizaje automático y gestión de procesos de negocio. Además, es importante tener habilidades en resolución de problemas complejos y capacidad de adaptarse rápidamente a los cambios. También es importante tener habilidades en inteligencia emocional, ya que la IA está diseñada para complementar el trabajo humano, no para reemplazarlo. La capacitación en estas habilidades puede ser adquirida a través de cursos en línea, programas de capacitación y certificaciones.

B. ¿Cuáles son los trabajos del futuro?

- Automatización industrial creación y mantenimiento de sistemas, robots y equipos de automatización de fabricación ver Figura 1.



Figura 1: Automatización industrial

•Cuidado de la salud, profesionales de la salud que trabajan en tecnología médica o en la intersección entre tecnología y cuidado de la salud ver Figura 2.



Figura 2: Cuidado de la salud.

•Desarrollo y análisis de datos análisis y desarrollo de software, hardware y algoritmos de IA, así como las habilidades de gestión de datos ver Figura 3.



Figura 3: Desarrollo y análisis de datos

C.¿Cómo podemos mitigar el impacto negativo de la IA en el mercado laboral?

•Debemos manejar dos conceptos relacionados con la formación y capacitación en el ámbito laboral a saber: Reskilling y upskilling [1]. Ambos términos se refieren a la adquisición de habilidades y competencias, pero con diferentes objetivos y enfoques. Reskilling es el proceso de formación que tiene como objetivo el reciclaje laboral, es decir, adaptar a un empleado para que pueda desempeñar un nuevo puesto en la empresa. El reskilling busca crear empleados más versátiles y adaptables a los cambios tecnológicos y empresariales Upskilling es el proceso de formación que tiene como

objetivo enseñar a un trabajador nuevas competencias para optimizar su desempeño en su puesto actual. El upskilling busca crear trabajadores más especializados y eficientes en sus áreas de trabajo Ambos conceptos son fundamentales para enfrentar los desafíos de la revolución digital y la irrupción de la IA en el mundo laboral. Algunos beneficios de la formación reskilling y upskilling incluyen: Combatir la brecha digital en la empresa y hacerla más competitiva, reducir la inversión económica en los procesos de selección y mejorar la empleabilidad y crear un entorno laboral más dinámico y resiliente. Para adquirir habilidades relacionadas con la IA y el reskilling y upskilling, es importante capacitarse en habilidades digitales, resolución de problemas

complejos y tener habilidades en inteligencia emocional. La capacitación en estas habilidades puede ser adquirida a través de cursos en línea, programas de capacitación y certificaciones

- Regulaciones y políticas de seguridad social es importante establecer regulaciones y políticas de seguridad social que protejan a los trabajadores que se ven afectados por la automatización y la IA. Esto puede incluir programas de reciclaje laboral y políticas de seguridad social adaptadas a las nuevas realidades laborales.

- Fomentar la adopción responsable de la IA es importante establecer políticas y regulaciones que fomenten la adopción responsable de la IA y eviten su uso para reemplazar a los trabajadores. También fomentar la colaboración entre humanos y máquinas, y promover la creación de empleos que requieran habilidades que las máquinas no pueden replicar

D.¿Cómo preparar a los estudiantes para el futuro laboral?

- Educación centrada en habilidades es fundamental fomentar habilidades como el pensamiento crítico, la resolución de problemas y la creatividad desde temprana edad.

- Enfoque en STEM las áreas de ciencia, tecnología, ingeniería y matemáticas brindan una base sólida para que los estudiantes comprendan y apliquen conceptos de inteligencia artificial.

- Aprendizaje práctico la experiencia directa con herramientas de inteligencia artificial, como el uso de robots o el desarrollo de proyectos, ayuda a los estudiantes a adquirir conocimientos y habilidades relevantes.

E. Integrando la inteligencia artificial en el currículo escolar.

- Evaluación de necesidades y recursos: Identificar las áreas en las que la IA puede ser más útil y asegurarse de que los recursos necesarios estén disponibles para implementar la tecnología.

- Capacitación de docentes: Formar a los profesores en el uso de la IA en el aula y en cómo adaptar sus enseñanzas a las nuevas tecnologías-

- Diseño curricular: Integrar la IA en el currículo escolar de manera sostenible y significativa, considerando los objetivos de aprendizaje y las necesidades de los estudiantes.

- Desarrollo de programas educativos: Crear programas educativos que aprovechen el potencial de la IA para mejorar la experiencia de aprendizaje de los estudiantes, como la personalización del aprendizaje, el

apoyo a los educadores y el desarrollo de habilidades del siglo XXI.

- Implementación y evaluación: Implementar la IA en el currículo escolar y evaluar su impacto en el aprendizaje y la eficiencia educativa

F.Herramientas de inteligencia artificial para estudiantes

- Machine Learning (ML) es una rama de la inteligencia artificial (IA) y la informática que se centra en el uso de datos y algoritmos para enseñar a las computadoras a aprender y mejorar con la experiencia. En otras palabras, es un subconjunto de la IA que se enfoca en enseñar a las computadoras a aprender de los datos y mejoren con la experiencia. Algunos aspectos clave de la ML incluyen:

- a)Algoritmos: Los algoritmos de ML están entrenados para encontrar patrones y correlaciones en grandes data sets, y para lograr las mejores decisiones y proyecciones en base a ese análisis.

- b)Aprendizaje automático: La ML permite que las máquinas aprendan sin ser programadas específicamente para realizar una tarea.

- c)Reconocimiento de patrones: La ML es un maestro del reconocimiento de patrones y es capaz de convertir una muestra de datos en un programa informático capaz de extraer inferencias.

- d) Aplicaciones: La ML se encuentra en una amplia variedad de aplicaciones, como las recomendaciones de Netflix, las respuestas inteligentes de Gmail, el habla de Siri y Alexa, y los coches autónomos.

- Procesamiento de lenguaje natural (PLN) es un campo de la inteligencia artificial que se centra en la interacción entre las computadoras y el lenguaje humano. Utiliza el aprendizaje automático para procesar e interpretar textos y datos, y permite a las máquinas comprender, interpretar y responder al lenguaje humano de manera significativa. El PLN combina la lingüística computacional con modelos de machine learning y deep learning para tareas como el reconocimiento y la generación de lenguaje natural, la comprensión del lenguaje humano y la extracción de información de textos no estructurados. En resumen, el PLN es fundamental para que las máquinas puedan entender y procesar el lenguaje humano en forma de datos de texto, lo que tiene aplicaciones en áreas como el análisis de sentimientos, la atención al cliente y la extracción de información.

- Visión por computadora es una herramienta en la

inteligencia artificial que permite a las máquinas procesar y analizar información visual, como imágenes y videos [2,3]. Esta tecnología se basa en algoritmos y modelos de aprendizaje automático para detectar y reconocer objetos, patrones y características en las imágenes. Algunas aplicaciones de la visión por computadora incluyen:

a) **Detección de objetos:** Identificar y clasificar objetos en imágenes, como automóviles, edificios o personas.

b) **Análisis de vídeo:** Analizar el contenido de vídeos en tiempo real, como para detectar eventos o acciones específicas.

c) **Reconocimiento facial:** Identificar y clasificar rostros en imágenes, lo que se utiliza en sistemas de seguridad y atención al cliente.

d) **Agricultura:** Monitorear y analizar imágenes de campos de cultivo para detectar problemas de salud de las plantas o anomalías en el terreno. **Medicina:** Detectar tumores o malfunciones en imágenes médicas, como radiografías o tomografías.

G. Desarrollando habilidades de inteligencia artificial para el futuro

• **Aprendizaje continuo** la habilidad de aprendizaje continuo se refiere a la capacidad de los sistemas de inteligencia artificial para adquirir nuevos conocimientos y habilidades de forma constante a partir de la interacción con su entorno y los datos [4]. Esta habilidad es fundamental para que los sistemas de inteligencia artificial puedan adaptarse a situaciones cambiantes y mejorar con el tiempo. Los sistemas de aprendizaje continuo en inteligencia artificial son importantes porque permiten a los sistemas de inteligencia artificial aprender de los datos y adaptarse a nuevas situaciones, volviéndolos más inteligentes con el tiempo. Además, en un mundo en constante evolución, la habilidad para aprender y adaptarse rápidamente es esencial, tanto para los sistemas de inteligencia artificial como para los profesionales que trabajan con ellos. El aprendizaje continuo es una de las habilidades blandas esenciales en la era de la inteligencia artificial, junto con el pensamiento crítico, el pensamiento analítico y la resolución de problemas usando tecnología.

• **Trabajo en equipo** la habilidad de trabajo en equipo es importante en la era de la inteligencia artificial (IA) porque permite combinar el talento de manera que se favorezca la productividad y se desarrollen las habilidades necesarias para adaptarse a situaciones cambiantes.

En un mundo en constante evolución, la habilidad para trabajar en equipo es esencial, tanto para los sistemas de IA como para los profesionales que trabajan con ellos. Las soft skills, como el trabajo colaborativo y en equipo, actuarán como verdaderos aceleradores para que las empresas puedan aprovechar al máximo las herramientas impulsadas por IA.

• **Pensamiento ético** la habilidad de pensamiento ético es fundamental en el campo de la inteligencia artificial (IA) debido a su impacto en la toma de decisiones y en la interacción con los seres humanos. El pensamiento ético implica considerar las implicaciones morales y sociales de las aplicaciones de la IA, así como garantizar la equidad, la transparencia y la responsabilidad en su desarrollo y uso. Esto incluye la reflexión sobre temas como el sesgo algorítmico, la privacidad de los datos, el impacto en el empleo y la seguridad. Además, el pensamiento ético en la IA también abarca la necesidad de establecer marcos normativos y regulatorios que guíen su implementación de manera ética y legal. En resumen, el pensamiento ético es esencial para asegurar que la IA se utilice de manera responsable y beneficiosa para la sociedad en su conjunto.

H. Oportunidades laborales actuales y futuras en la industria de la inteligencia artificial

• **Actualidad:** Las oportunidades laborales en la industria de la inteligencia artificial incluyen puestos de científicos de datos, ingenieros de aprendizaje automático y especialistas en visión por computadora.

• **Futuro:** Se espera un crecimiento significativo en áreas como la robótica, la inteligencia artificial aplicada a la medicina y la inteligencia artificial ética.

• **Desarrollo profesional:** En la era de la inteligencia artificial (IA), el desarrollo profesional se ha vuelto crucial para mantenerse actualizado y competitivo en el mercado laboral. Los profesionales que deseen trabajar con IA deben tener habilidades sólidas en pensamiento analítico, programación, estadísticas y conocimiento del dominio para prepararse para los trabajos del futuro. Además, la IA está cambiando el mercado laboral y creando nuevas funciones y oportunidades, por lo que es importante entender cómo funciona y cómo puede mejorar el crecimiento profesional. En este sentido, la capacidad de adaptarse y aprender continuamente es fundamental para el desarrollo profesional en la era de la IA. La IA está transformando la forma en que trabajamos y tiene el potencial de automatizar tareas re-

petitivas, mejorar la toma de decisiones y aumentar la productividad. Por lo tanto, es importante desarrollar habilidades en el uso de herramientas de IA y mantenerse actualizado en las últimas tendencias y tecnologías.

I. Desafíos y preocupaciones sobre la integración de la inteligencia artificial en el mercado laboral

- Desplazamiento de empleo la inteligencia artificial tiene el potencial de automatizar tareas repetitivas y mejorar la eficiencia en diversos sectores [5], lo que puede llevar a la eliminación de ciertos trabajos. Además, la inteligencia artificial también puede cambiar la naturaleza de ciertos trabajos, lo que puede requerir que los trabajadores adquieran nuevas habilidades para mantenerse relevantes en el mercado laboral. Esto puede generar preocupaciones en relación a la brecha de habilidades y la desigualdad en el acceso a oportunidades laborales.

- Sesgos algorítmicos la integración de la inteligencia artificial (IA) en la toma de decisiones presenta desafíos y preocupaciones en relación a los sesgos algorítmicos. Los algoritmos de IA pueden perpetuar las desigualdades y los prejuicios existentes en los datos utilizados para entrenarlos, lo que puede llevar a decisiones injustas y discriminatorias. Por ejemplo, los sistemas de reconocimiento facial han demostrado tener un sesgo racial y de género, lo que puede tener consecuencias negativas en la vida de las personas. Además, la falta de diversidad en la industria de la IA también puede contribuir a la perpetuación de los sesgos algorítmicos.

- Ética y privacidad Es fundamental desarrollar la inteligencia artificial de manera justa y ética, conside-

rando las implicaciones sociales y morales de su uso, y garantizando la equidad, la transparencia y la responsabilidad en su desarrollo y uso. Asimismo, es importante establecer marcos regulatorios que aborden los aspectos éticos de la IA, como la privacidad, para guiar su implementación de manera ética y legal.

III. CONCLUSIONES

- Adaptabilidad los estudiantes deben estar dispuestos a adaptarse a los cambios tecnológicos y buscar oportunidades de aprendizaje continuo.

- Enfoque en habilidades claves los educadores deben centrarse en el desarrollo de habilidades como el pensamiento crítico, la resolución de problemas y la colaboración.

- Ética y responsabilidad la inteligencia artificial debe ser utilizada de manera ética y responsable, considerando el impacto tanto a nivel laboral como social.

REFERENCIAS

- [1] Bramer, Max, comp. "Artificial intelligence: an international perspective". Berlin: Springer Verlag, 2009.
- [2] Caicedo Bravo, Eduardo Francisco, y Jesús Alfonso López Sotelo. "Una aproximación práctica a las redes neuronales artificiales." Colombia: Programa Editorial Universidad del Valle, 2009.
- [3] Millán Jiménez, Ana. "Mente, cerebro e inteligencia artificial." España: Universidad de Murcia, 1993.
- [4] Nilsson, Nils J. "Principios de inteligencia artificial". Madrid: Díaz de Santos, 1987.
- [5] Winstons, P. H. "Inteligencia artificial." Delaware: Addison-Wesley, 1994.

ASTUDY OF MECHANICAL AND ELECTRICAL PROPERTIES USING EXPERIMENTAL RELATIONS BETWEEN AGING, CALCIUM CONCENTRATION, PH AND PARATHYROID HORMONE (PTH) AND NERNST EQUATION

Velez Cruz, Alex J.

<https://orcid.org/0000-0002-9289-5256>

alvelez@upr.edu

Polytechnic University of Puerto Rico

San Juan, PR-USA

Dam, Oscar Gilberto

<https://orcid.org/0000-0002-0594-6757>

oscar.curmetals@gmail.com

Universidad Nacional Experimental Politecnica "Antonio Jose de Sucre"

Vice-Rectorado, Puerto Ordaz-VEN

Abstract: This paper presents an in-depth exploration of the intricate interplay between mechanical and electrical properties in biological systems, focusing on the experimental relations among aging, calcium concentration, pH, and PTH. The Nernst equation, a fundamental electrochemical principle, is also examined for its relevance in understanding these phenomena and its future electrostimulation application in the cortical bone healing processes. The article delves into the impact of aging on the human body, the role of calcium and pH in physiological processes, the significance of PTH, and the application of the Nernst equation in biological systems.

Keywords: Aging, calcium, PTH, pH, Cortical Bone, Young Modulus, Electrical Conductivity, Nernst Equation and Electro-stimulation

ESTUDIO DE PROPIEDADES MECÁNICAS Y ELÉCTRICAS UTILIZANDO RELACIONES EXPERIMENTALES ENTRE EL ENVEJECIMIENTO, CONCENTRACIÓN DE CALCIO, PH Y HORMONA PARATIROIDEA (PTH) Y LA ECUACIÓN DE NERNST

Resumen: Este artículo presenta una exploración en profundidad de la intrincada interacción entre las propiedades mecánicas y eléctricas en sistemas biológicos, centrándose en las relaciones experimentales entre el envejecimiento, la concentración de calcio, el pH y la PTH. La ecuación de Nernst es un principio electroquímico fundamental, el cual se examinará por su relevancia en la comprensión de estos fenómenos y su futura aplicación de electroestimulación para procesos de sanación del hueso cortical. El artículo profundiza en el impacto del envejecimiento en el cuerpo humano, el papel del calcio y el pH en los procesos fisiológicos, la importancia de la PTH y la aplicación de la ecuación de Nernst en sistemas biológicos.

Palabras Clave: Envejecimiento, Calcio, PTH, pH, Hueso Cortical, Modulo de Elasticidad, Conductividad Eléctrica, Ecuación de Nernst y Electroestimulación.



I. INTRODUCTION

Bioengineering is a multidisciplinary field that integrates biology, chemistry, physics, and engineering principles to develop innovative solutions in healthcare and biomedical applications [1], [2]. Understanding the mechanical and electrical properties of biological tissues, such as bone, is crucial for various bioengineering applications, including the design of medical devices, drug delivery systems, and assessments of bone health [3]. The Nernst equation, derived from electrochemistry, is a fundamental tool that allows researchers to quantify the behavior of ions and electrical potential differences across biological membranes [4].

In the field of bioengineering, especially in the characterization of cortical bone, the Nernst equation is applied to determine the electrical properties of bone and the amount of electricity needed to pass through bone membranes [5]. This article provides a comprehensive overview of the Nernst equation, its theory, applications in bioengineering, and its specific relevance to cortical bone characterization.

Bone healing is a complex biological process influenced by various factors, including mechanical stress, growth factors, cellular activities, and signaling pathways. However, electrical stimulation has been explored as a potential modality to promote bone healing, and [6] suggests that specific electrical parameters can have a positive impact on bone regeneration. When electrical stimulation is used for bone healing, several factors should be considered, including the type of electrical stimulation (e.g., direct current, pulsed electromagnetic fields), the frequency, duration, and intensity of the stimulation, and how these parameters affect cellular and tissue responses [7].

Vitamin D plays an indirect role in stimulating the mineralization of the unmineralized bone matrix. After the absorption or skin production of vitamin D, the liver synthesizes 25-hydroxyvitamin D, and subsequently, the kidneys produce biologically active 1,25-dihydroxyvitamin D [1,25-(OH)₂D]. Serum 1,25-(OH)₂D is responsible for maintaining serum calcium and phosphorus concentrations adequate to allow passive mineralization of the unmineralized bone matrix. Serum 1,25-(OH)₂D primarily accomplishes this by stimulating the intestinal absorption of calcium and phosphorus. Serum 1,25-(OH)₂D also promotes the differentiation of osteoblasts and stimulates osteoblastic expression [8]. Vitamin D, specifically vitamin D3 (cholecalciferol), plays a crucial role in various physiological processes in the body, such as the regulation of calcium and phosphate metabolism. The primary active form of vitamin D is calcitriol, which is formed in the skin from vita-

min D₃ (cholecalciferol) in the presence of ultraviolet B radiation. Calcitriol acts in the intestines to increase the absorption of calcium and phosphate, additionally, calcitriol promotes the reabsorption of calcium in the kidneys, thereby preventing its loss through urine [9].

Calcium is an essential mineral that plays a vital role in many physiological processes, including muscle contraction, nerve function, and blood clotting. Calcium is the most abundant divalent cation in the body, representing about 2% of body weight, approximately 1,000 grams. It is distributed across various compartments, with constant exchange flows subject to complex regulatory mechanisms. More than 98% of the body's calcium is found in the bone compartment, of which approximately 1% is freely exchangeable with extracellular fluid [10], [11]. Serum calcium exists in three (3) different forms: ionic or free form, which accounts for approximately 50%; protein-bound, approximately 40%; and finally, about 10% forms complexes with anions such as bicarbonate, citrate, phosphate, and lactate [12]. Ionic calcium and calcium bound to anions constitute the ultra-filtrable fraction, with the ionic fraction being the only one with biological activity and, therefore, subject to hormonal control.

The circulating extracellular calcium pool exists in three (3) different states, protein-bound, anion-bound, and free or ionized. Protein-bound, anion-bound, and free or ionized calcium account for approximately 40-45 %, 5-10 %, and 45-50 % of the total calcium in circulation respectively [13]. When calcium measurements are needed, there are two (2) options to obtain the concentration, total calcium, and ionized calcium (iCa²⁺). The total calcium measurement is the sum of the subfractions (protein-bound, anion-bound, and free or ionized). Total calcium measurement is widely used because it is an accurate representation of calcium homeostasis in most cases and can be included as part of a routine blood collection. While total calcium measurement is valuable in many patients, it can yield misleading results in situations where circulating protein concentrations are abnormal either by excessive protein loss or impaired protein synthesis [14].

For these reasons, there exists a pressing clinical and analytical demand for the direct measurement of iCa²⁺. The difficulty in measuring iCa²⁺ arises primarily from the rigorous preanalytical conditions that must be met. The equilibrium is influenced by pH levels, as the binding of calcium to proteins is notably sensitive to changes in pH. Thus, pH change is inversely proportional to the concentration of iCa²⁺. Typically, changes by 5 % for every 0.1-unit change in pH as hydrogen ions effectively compete with iCa²⁺ for available negative

charges on proteins [15]. The application of pH-adjusted calcium was clinically useful, but a change in pH that occurred after collection would affect the accuracy of the results by an error of 10% approximately [16]. Therefore, ion practice to correct the pH-adjusted free calcium measurements are recommended to multiply the iCa^{2+} by 10 % approximately.

$$\text{True Calcium} = \text{Reported Total Calcium} + 0.8 (4.0 - \text{Serum Albumin}) \quad (1)$$

where “True Calcium”; “Reported Total Calcium”; and “Serum Albumin” have units of mg/dL, m/dL, and g/dL respectively.

The concentration of calcium in the blood is tightly regulated by the PTH and other factors [17]. Approximately, 90% of protein-bound calcium binds to albumin in a pH-dependent manner. Alterations that decrease serum albumin values will decrease total serum calcium but will have a smaller effect on ionized calcium concentration. In general, each g/dL of albumin binds approximately 0.2 mmol/L (0.8 mg/dL) of calcium, so to correct hypoalbuminemia, it is necessary to add 0.2

mmol/L to the total calcium concentration for every g/dL decrease in albumin concentration from the normal values of 4.0 g/dL [12], [18]. The binding of calcium to albumin is also affected by the pH of the extracellular fluid. Acidemia will decrease protein binding and increase ionized calcium. For every 0.1 decrease in ionized pH, calcium increases approximately by 0.05 mmol/L. The exact regulation of serum calcium is controlled by calcium itself through a calcium receptor and various hormones, the most important of which are PTH and 1,25-dihydroxyvitamin D₃ (1,25(OH)₂D₃). Maintaining appropriate calcium equilibrium, and therefore serum calcium levels, is a complex and dynamic process involving calcium absorption and excretion in the intestines, filtration, and reabsorption in the kidneys, and its storage and mobilization in the skeleton.

Calcium homeostasis refers to the regulation of the calcium ions concentration in the extracellular fluid [19]. Normal serum calcium concentration varies between laboratories but is usually 8.5 to 10.5 mg/dL (2.1 to 2.6 mmol/L) and it represents the sum of the three circulating fractions mentioned above [20].

Table 1. Calcium Intakes by Life Stage

LSG	AI	EAR	RDA	TUIL
(Yr.)	(mg)	(mg)	(mg)	(mg)
MALES				
19-30	—	800	1,000	2,500
31-50	—	800	1,000	2,500
51-70	—	800	1,000	2,000
> 70	—	1,000	1,200	2,000
FEMALES				
19-30	—	800	1,000	2,500
31-50	—	800	1,000	2,500
51-70	—	1,000	1,200	2,000
> 70	—	1,000	1,200	2,000

LSG = Life Stage Group; AI = Adequate Intake; EAR = Estimated Average Requirement; RDA = Recommended Dietary Allowance; TUIL = Tolerable Upper Intake Level, The LSG unit is years (Yr.). The symbol (>) means greater than [21].

On the other hand, the body's pH is regulated by various systems, including calcium regulation systems. Acid-based balance is important for maintaining the normal functioning of enzymes and metabolic processes. When blood calcium levels decrease, the release of PTH can be activated, which in turn can influence acid-base balance. Acidosis, characterized by a lower-

than-normal blood pH, can affect the binding of calcium to proteins and, as a result, influence ionized calcium levels in the blood. This can have an impact on hormonal response and calcium homeostasis [22].

The PTH is secreted by the parathyroid glands in response to low levels of calcium in the blood. PTH increases the reabsorption of calcium in the kidneys, thereby releasing more calcium into the bloodstream. PTH stimulates the release of calcium and phosphate from the bones, which raises the concentration of calcium in the blood [22]. Additionally, PTH plays a crucial role in regulating calcium levels in the body, with one of its

primary targets being bone tissue. Below, it is describing the mechanism of action of PTH in bone and its principal functions:

- Stimulation of Osteoclast Activity:** PTH activates osteoclasts, which are cells that resorb bone. [23]

- Inhibition of Osteoblast Activity:** Although PTH primarily stimulates bone resorption, it can also indirectly inhibit the activity of osteoblasts, reducing bone formation under certain conditions [23].

- Calcium Homeostasis:** PTH plays a central role in maintaining serum calcium levels within a narrow range. This calcium is then available for vital physiological functions such as muscle contraction and nerve signaling [23].

- Bone Remodeling:** PTH is a key regulator of bone remodeling, which involves both bone resorption and formation. By promoting bone resorption, PTH contributes to the removal of old or damaged bone tissue and the release of stored calcium. This, in turn, allows for the deposition of new bone matrix when conditions are appropriate [24].

- Response to Hypocalcemia:** When blood calcium levels decrease, the secretion of PTH increases. This hormone acts rapidly to mobilize calcium from bone tissue, ensuring that the body maintains the necessary levels for normal physiological processes [23].

In this study, the investigation was carried out to explore the relationship between calcium concentration, age, PTH, and pH using an electrochemistry equation and experimental data from mechanical and electrical properties of the cortical bone. We have explored the significance of the Nernst equation in elucidating ion transport across biological membranes and its role in maintaining cellular electrical potentials, let's delve into the complexities of determining the precise electrical requirements for bone healing.

II. FIELDS OF INTEREST TO THE SUBJECT

The Nernst equation describes the relationship between the concentration of ions and the electric potential difference (voltage) across a membrane or at an electrode interface. This equation is crucial for understanding ion transport phenomena across biological membranes, including cell membranes, and provides insights into how cells maintain their electrical potential as well as the electrical potentials at a cellular level. However, determining the exact amount of electricity needed for bone healing would require a more comprehensive approach that considers all relevant biological and biomechanical factors and mechanisms [25].

For that reason, experiments were conducted to de-

termine the mechanical and electrical properties of the cortical bone, emphasizing the experimental correlation between both properties through a statistical analysis. Additionally, biological factors and components such as aging, pH, PTH, and calcium concentration were analyzed to understand their interaction and the biological response when electrical stimulation is applied.

The Nernst equation is typically expressed as follows [26]:

$$E = E_0 - \frac{R \cdot T}{(2) \cdot F} \cdot \ln \left(\frac{[Ca^{2+}]_{in}}{[Ca^{2+}]_{out}} \right) \quad (2)$$

Where:

- E represents the electric potential difference (in volts) across a membrane or at an electrode.

- E0 is the standard electrode potential, a reference value.

- R is the universal gas constant.

- T is the absolute temperature (in Kelvin).

- n is the number of electrons transferred in the reaction.

- F is the Faraday constant.

- [A-] y [A] are the concentrations of the ion Ca²⁺ on either side of the membrane or at the electrode interface [27].

According to Eq. 1 above, the potential difference across a membrane is proportional to the concentration gradient of the ions involved, where [Ca²⁺]_{in} is the concentration of calcium ions inside the cell, and [Ca²⁺]_{out} is the concentration of calcium ions outside the cell and n is 2 due to the number of electrons transferred from Ca²⁺ [28]. The Nernst equation illustrates how changes in ion concentrations can affect the electric potential across a membrane.

The electrical characterization of biological tissues is a great interest in the bioengineering field, especially, obtaining electrical properties of biological tissues such as bone structures [29]. The most common electrical properties associated with bone studies include electrical conductivity, permittivity, and impedance, which provide information about the composition, health, and functionality of the tissue [30]. The Nernst equation can be applied to assess the electrical behavior of biological tissues and explore how different ions influence their electrical properties.

For example, the electrical conductivity of cortical bone depends on various factors, including ion concentrations and the porosity of the bone matrix [31]. Ions such as calcium (Ca²⁺) and phosphate (PO₄³⁻) play a crucial role in bone tissue. The Nernst equation can be

used to calculate the equilibrium potential for these ions and understand how they influence the electrical conductivity of cortical bone [32].

Studies have shown that changes in bone health, such as osteoporosis or the presence of fractures, can alter the electrical properties of cortical bone. By measuring the electrical conductivity of bone tissue, bioengineers can assess bone quality and monitor bone health, providing valuable information for clinical diagnoses and treatment planning [33]. Electrostimulation has proven to be promising in promoting bone healing and regeneration. Techniques such as Pulsed Electromagnetic Field Therapy (PEMF) involve the application of electric fields to bone tissue to stimulate cellular responses that enhance bone growth. Bioengineers can utilize the Nernst equation to calculate the electric potential required to influence specific ion concentrations within bone tissue. This information helps optimize the design of electric stimulation devices for bone healing, potentially speeding up the recovery process for individuals with bone fractures or orthopedic surgeries [34].

III.METHODOLOGY

The methodology described herein outlines a syste-

matic and rigorous approach to the selection of research papers in the fields of bioengineering and science. This methodology serves as a robust framework for the critical evaluation of scientific and engineering obtained results.

This methodology outlines the experimental procedures and analytical steps performed to correlate mechanical and electrical properties of cortical bones obtained in the first phase of this investigation with factors such as gender, age, calcium concentration, pH, and PTH levels, linking this data to the Nernst equation for clinical application. The process consists of twelve distinct steps to perform the experimental analysis of this research. The study aims to establish a relationship between these properties and use them to predict the electric potential difference across cortical bone membranes for safe electrostimulation in bone fracture healing.

IV.RESULTS

The basic analyzed data and corresponding results are described below.

The gathered data used jointly with the mathematical model so developed is presented in Table 2 below.

Table 2. Demographic Data Based on Biological and Biochemical Factors

AG (Yr.)	CCB (mg/dL)	PTH-L (pg/mL)	pH Sc. (0-14)
MALES			
19-30	8.6 - 10.0	10 - 55	7.35 - 7.45
31-50	8.6 - 10.2	10 - 50	7.35 - 7.45
51-70	8.6 - 10.4	10 - 55	7.35 - 7.45
> 70	8.6 - 10.5	10 - 65	7.35 - 7.45
FEMALES			
19-30	8.6 - 10.0	10 - 50	7.35 - 7.45
31-50	8.6 - 10.2	10 - 50	7.35 - 7.45
51-70	8.6 - 10.4	10 - 55	7.35 - 7.45

AG = Age Group; CCB = Calcium Concentration in Blood; PTH-L = Parathyroid Hormone Levels; pH Sc. = Acidity/Alkalinity Scale. AG unit is years (Yr.). The symbol (>) means greater than., CCB, PTH-L, and pH Sc. Values were obtained from [35], [36], [37].

The obtained results show that calcium concentration decreases with age due to changes in bone metabolism and hormonal regulation. It was also found that PTH levels increase with age as a compensatory mechanism to maintain calcium homeostasis. Furthermore,

we observed that pH has a significant effect on calcium concentration due to its impact on ionization states.

IV.2 Mechanical and electrical properties correlation with demographic data, and biological and biochemical factors

To correlate the obtained experimental data, conductivity and permittivity variables were plotted, as show in Figure 1.

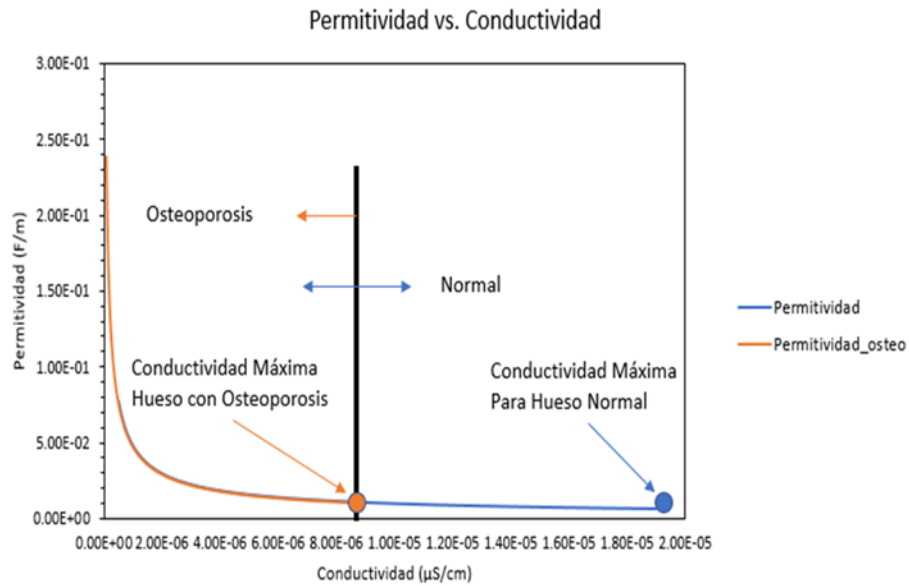


Figure 1.- Conductivity and Permittivity Relationship. Source, the authors

For a better understanding of Figure 3, it is assumed that the studied bone falls within either the osteoporosis or normal condition, but as the osteoporosis bone can resist a tension stress of about 18,28 MPa, when compared this value with the obtained value of 28,6 MPa thus it is possible to conclude as a normal bone. Nevertheless, by using equations 3 and 4 it is also possible to get $\sigma_{Elec. Max}$ y ϵ_a values for the two bones conditions respectively.

$$\sigma_{Elec. Max(normal)} = \frac{E - 10,845}{8.82 \times 10^8} \quad (3)$$

$$\sigma_{Elec. Max(normal)} = \frac{28.6 \times 10^6 - 10,845}{8.82 \times 10^8} = \boxed{0.0323(\mu S/c m)}$$

$$Y = 3 \times 10^{-6} X^{-0.7} \quad \text{o} \quad \text{Permitividad } (\epsilon_a) = 3 \times 10^{-6} \left(\sigma_{Elec. Max(normal)} \right)^{-0.7} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} \epsilon_a &= 3 \times 10^{-6} \left(\sigma_{Elec. Max(normal)} \right)^{-0.7} \\ &\rightarrow 3 \times 10^{-6} \left(0.0323(\mu S/c m) \right)^{-0.7} = \boxed{3.316 \times 10^{-5} (F/m)} \end{aligned}$$

IV.2 Mechanical and Electric Properties Relationship

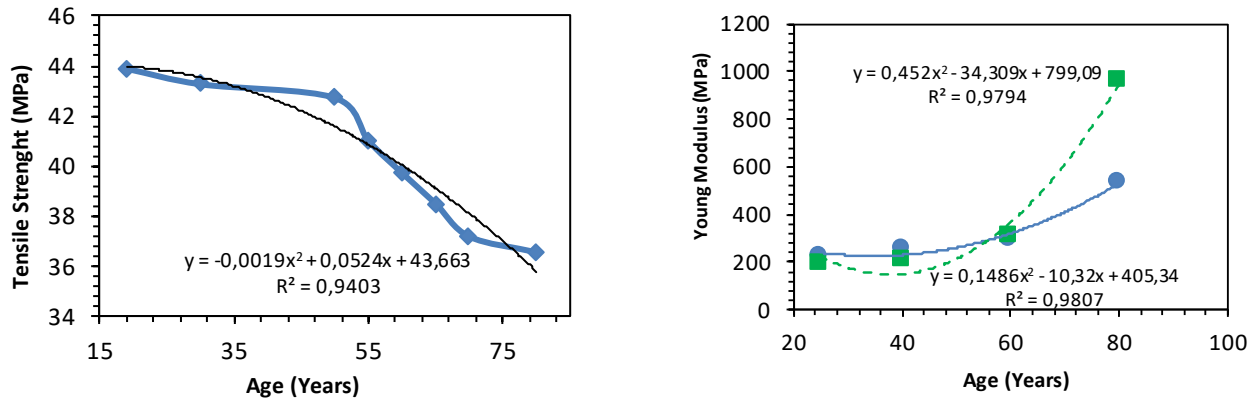


Figure 2.- Left: Age effect on Tensile Stress; Right: Young Modulus (green Male, blue Women vs. Age. (Source authors)

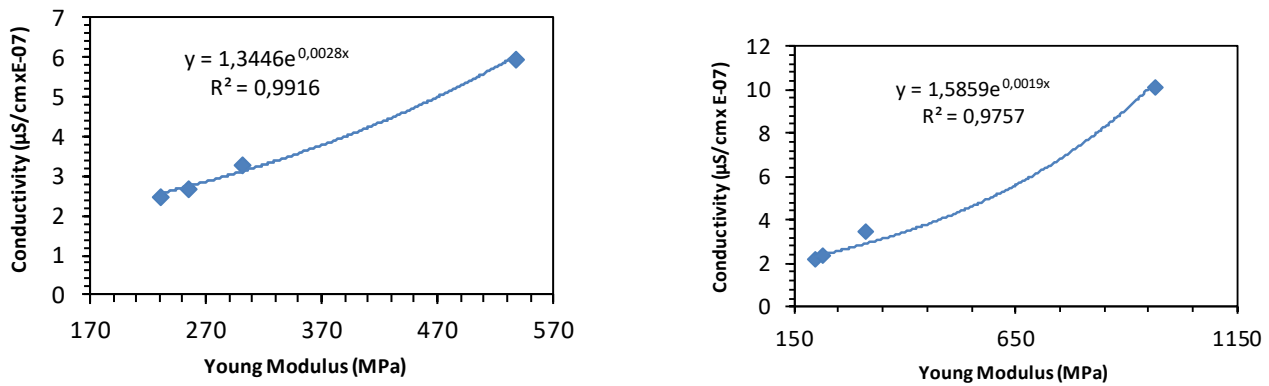


Figure 3.- Conductivity vs Young Modulus (right Men, left Women) Source: The authors

To investigate the relationships between mechanical and electrical properties, it was imperative to determine the slope of the mechanical graphs for each of the samples, which signifies the modulus of elasticity.

$$\text{Young Modulus (E)} = 8.82 \times 10^8 \times \text{Conductivity}_{\text{max}} (\sigma_{\text{Elec. Max}}) + 10,845 \quad (5)$$

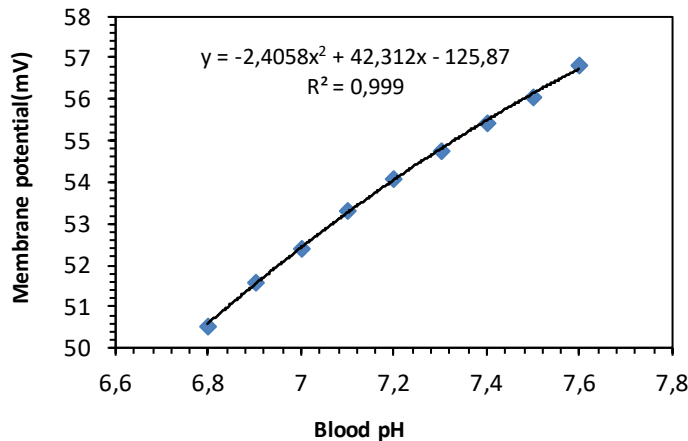


Figure 4.- Effect of pH in blood on the membrane's electric potential. Source: The authors

V. CONCLUSIONS

In conclusion, the present research provides new insights into the complex relationship between calcium concentration, age, PTH, and pH. The Nernst equation has been identified as a valuable application in the field of bioengineering, particularly in the characterization of cortical bone. By understanding the electrical properties of cortical bone and applying the Nernst equation, researchers can assess bone health, and optimize electrical stimulation therapies for bone healing. This interdisciplinary approach demonstrates how the principles of science and engineering can be harnessed to advance healthcare solutions and improve the quality of life for individuals with bone-related conditions. The findings suggest that changes in these factors can have significant implications for human health and disease. Further research is needed to fully understand these relationships and develop effective interventions to prevent or treat related conditions by means of define stimulation parameters through iterative experiments to achieve the desired biological responses while minimizing potential side effects. Finally, further experimental tests will be useful to validate the effectiveness of the designed electrical stimulation involving in vitro studies using samples of bone tissue or in vivo studies with animal models.

ACKNOWLEDGMENT

I would like to express my sincere gratitude to UNEXPO, Puerto Ordaz, for their continuous support and guidance throughout the process of this research, the preparation of this paper and transformative years. Their insights and assistance have been instrumental in shaping the outcome of this work.

REFERENCES

- [1]M. F. Bear, B. W. Connors and M. A. Paradiso, *Neuroscience: Exploring the Brain* (4th ed.), Wolters Kluwer, 2016.
- [2]B. Alberts, A. Johnson, J. Lewis, M. Raff, K. Roberts and P. Walter, *Molecular Biology of the Cell* (4th ed.), Garland Science, 2002.
- [3]D. Purves, G. J. Augustine, D. Fitzpatrick, L. C. Katz, A. S. La Mantia and J. O. McNamara, *Neuroscience* (6th ed.), Oxford University Press, 2017.
- [4]A. J. Bard and L. R. Faulkner, *Electrochemical Methods: Fundamentals and Applications*, John Wiley & Sons, 2000.
- [5]C. T. Rubin, K. J. McLeod and L. E. Lanyon, "Prevention of osteoporosis by pulsed electromagnetic fields," *J Bone Joint Surg Am*, vol. 71, no. 3, pp. 411-417, 1989.
- [6]M. Griffin and A. Bayat, "Electrical stimulation in bone healing: critical analysis by evaluating levels of evidence," *Eplasty*, vol. 11, no. e34, pp. 303-353, 2011.
- [7]L. Leppik, K. M. C. Oliveira, M. B. Bhavsar and J. H. Barker, "Electrical stimulation in bone tissue engineering treatments," *Eur J Trauma Emerg Surg*, vol. 46, no. 2, pp. 231-244, 2020.
- [8]C. Chen, R. Adhikari, D. L. White and W. K. Kim, "Role of 1,25- Dihydroxyvitamin D3 on Osteogenic Differentiation and Mineralization of Chicken Mesenchymal Stem Cells," *Frontiers in Physiology*, vol. 12, p. 1-13, 2021.
- [9]M. F. Holick, "Vitamin D Deficiency," *New England Journal of Medicine*, vol. 357, no. 3, pp. 266-281, 2007.
- [10]R. Goswami, "Primer on the metabolic bone diseases and disorders of mineral metabolism," *Indian J Med Res*, vol. 144, no. 33, p. 489-90, 2016.
- [11]L. J. Deftos, "Calcium Metabolism," in *Clinical Essentials of Calcium and Skeletal Disorders*, Caddo, OK, Professional Communications, Inc., 1998, pp. 44-71.
- [12]F. Carral San Laureano, G. Oliveira Fusterb and M. Aguilar Diosdado, "Homeostasis del calcio, fósforo y magnesio," *Medicina Integral*, vol. 36, no. 7, pp. 261-266, 2000.
- [13]A. Hamroun, J.-D. Pekar, A. Lionet, A. Ghulam, P. Maboudou, A. Mercier, T. Brousseau, G. Grzych and F. Glowacki, "Ionized calcium: analytical challenges and clinical relevance," *Journal of Laboratory and Precision Medicine*, vol. 5, pp. 1-16, 2020.
- [14]Z. D. Hu, Y. L. Huang, M. Y. Wang, G. J. Hu and Y. Q. Han, "Predictive accuracy of serum total calcium for both critically high and critically low ionized calcium in critical illness," *J Clin Lab Anal.*, vol. 32, no. 9, pp. 1-5, 2018.
- [15]J. O. Joswig, J. Anders, H. Zhang, C. Rademacher and B. G. Keller, "The molecular basis for the pH-dependent calcium affinity of the pattern recognition receptor langerin," *J Biol Chem*, pp. 1-16, 2021.
- [16]N. Fogh-Andersen, "Ionized calcium analyzer with a built-in pH correction," *Clin Chem*, vol. 27, no. 7, pp. 1264-1267, 1981.
- [17]E. Yu and S. Sharma, "Physiology, Calcium," *StatPearls Publishing*, Treasure Island, FL, 2023.
- [18]D. A. Bushinsky and R. D. Monk, "Electrolyte quintet: Calcium," *The Lancet*, vol. 352, no. 9124, pp. 306-311, 1998.
- [19]L. A. Negrea, "Hypocalcemia and hypercalcemia," in *Nephrology Secrets* (4 ed.), Elsevier, 2019, pp. 526-531.
- [20]J. Feher, "9.7 - Calcium and Phosphorus Homeostasis I: The Calcitropic Hormones," in *Quantitative Human Physiology* (2nd ed.), Richmond, VA, Elsevier,

2017, pp. 924-932.

[21]A. C. Ross, C. L. Taylor, A. L. Yaktine and H. B. Del Valle, "7 - Dietary Reference Intakes for Calcium and Vitamin D," in Institute of Medicine (US) Committee to Review Dietary Reference Intakes for Vitamin D and Calcium, Washington, DC, National Academies Press (US), 2011, pp. 457-478.

[22]S. J. Silverberg, E. Shane, L. de la Cruz, D. W. Dempster, F. Feldman, D. Seldin, T. P. Jacobs, E. S. Siris, M. Cafferty, M. V. Parisien and J. P. Bilezikian, "Skeletal disease in primary hyperparathyroidism," *Journal of Bone and Mineral Research*, vol. 14, no. 5, pp. 878-887, 1999.

[23]M. Augustine and M. J. Horwitz, "Parathyroid hormone and parathyroid hormone-related protein analogs as therapies for osteoporosis," *Curr Osteoporos Rep.*, vol. 11, no. 4, pp. 400-406, 2013.

[24]J. P. Bilezikian, R. Marcus, M. A. Levine, C. Marcocci, S. J. Silverberg and J. T. Potts, *The Parathyroids: Basic and Clinical Concepts* (3rd ed.), Cambridge, Massachusetts: Academic Press, 2014.

[25]M. Ciobanu, J. P. Wilburn, M. L. Krim and D. E. Cliffler, "Fundamentals," in *Handbook of Electrochemistry*, Elsevier, 2007, pp. 3-29.

[26]A. -S. Feiner and A. J. McEvoy, "The Nernst Equation," *Journal of Chemical Education*, vol. 71, no. 6, p. 493, 1994.

[27]C. H. Hamann, A. Hamnett and W. Vielstich, *Electrochemistry*, Wiley-VCH, 1998.

[28]B. Hille, *Ion Channels of Excitable Membranes* (3rd ed.), Sinauer Associates, 2001.

[29]M. Amini, J. Hisdal and H. Kalvøy, "Applications of Bioimpedance Measurement Techniques in Tissue Engineering," *J Electr Bioimpedance*, vol. 9, no. 1, pp. 142-158, 2018.

[30]T. W. Balmer, S. Vesztergom, P. Broekmann, A. Stahel and P. Büchler, "Characterization of the electrical conductivity of bone and its correlation to osseous structure," *Sci Rep*, vol. 8, no. 1, pp. 1-8, 2018.

[31]A. C. Guyton and J. E. Hall, *Textbook of Medical Physiology* (11th ed.), Saunders, 2005.

[32]E. Matthews and M. G. Hanna, "Muscle Channelopathies: Does the Clinical Classification Predict Pathophysiology?," *Brain*, vol. 133, no. 10, pp. 2870-2875, 2010.

[33]C. Yang, J. Ji, Y. Lv, Z. Li and D. Luo, "Application of Piezoelectric Material and Devices in Bone Regeneration," *Nanomaterials (Basel)*, vol. 12, no. 24, 2022.

[34]S. Ueno and T. Furukawa, "Electroporation-based drug delivery systems: beyond the first-generation strategy," *Current Opinion in Biotechnology*, vol. 66, pp. 173-179, 2021.

[35] D. F. Geary and F. Schaefer, "CHAPTER 50 - Disorders of Bone Mineral Metabolism in Chronic Kidney Disease," in *Comprehensive Pediatric Nephrology*, Philadelphia, PA, Mosby Elsevier, 2008, pp. 773-792.

ANÁLISIS DE CONVERGENCIA DE LOS RESULTADOS DE LA APLICACIÓN DEL MODELO DETERMINACIÓN DEL EFECTO DE LAS ANOMALÍAS CLIMÁTICAS EN LA INTERACCIÓN SUELO-ATMOSFERA (DEACISA/ DECASAI)

Girón, Mara

<https://orcid.org/ORCID 0000-0001-9215-1807>

margiron.777@gmail.com

Universidad Nacional Experimental Politécnica "Antonio José de Sucre" UNEXPO
Puerto Ordaz, Venezuela

Resumen: Se presenta el análisis de los resultados de la aplicación del modelo determinación del efecto de las anomalías climáticas en la interacción suelo-atmósfera (DEACISA/ DECASAI siglas en inglés) para diversas localidades del planeta, con énfasis en los impactos de los parámetros que son relevantes para la predicción estacional en los casos de estudio seleccionados y más específicamente en el proceso de evaporación acoplado con el comportamiento mecánico de los suelos y cuerpos de agua. Finalmente, el modelo matemático, enfocado como Ondas de Elliot, ha demostrado ser suficientemente robusto, basado en su enfoque termodinámico, de momento y físico para determinadas localidades, según la continentalidad de las mismas, para estudiar las anomalías climáticas estacionales o no, con especial énfasis en periodos de sequías prolongadas (como el ENOS) a nivel global o de microclimas (microescala) y que puede predecir la vulnerabilidad de los cuerpos de agua seleccionados, en sus aspectos hidráulicos y pluviales.

Palabras Clave: Variabilidad climática, cinturón tropical, sistema suelo-atmósfera, Decasai/Deacisa.

CONVERGENCE ANALYSIS OF THE RESULTS OF THE APPLICATION OF THE MODEL DETERMINATION OF THE EFFECT OF CLIMATIC ANOMALIES ON THE SOIL-ATMOSPHERE INTERACTION (DECASAI)

Abstract: The study presents the results of a model called DECASAI that determines the effect of climatic anomalies on soil-atmosphere interaction at various locations around the world. The focus is on the impact of relevant parameters that affect seasonal prediction, specifically on the evaporation process and how it relates to the mechanical behavior of soils and bodies of water. By comparing the results with conventional models, the study analyzed differences in spatial variations of coupling strength and observed forces, taking into account differences in parameterization, climatology, and hydrological regimes. The appropriate measures were identified through the study. The mathematical model (Elliot Waves), which focuses on thermodynamic, momentum, and physical approaches, has been proven to be robust enough for certain localities depending on their continentality to study seasonal or non-seasonal climate anomalies. It is especially useful for predicting the vulnerability of selected water bodies in their hydraulic and pluvial aspects during periods of prolonged drought such as ENSO at a global level or microclimates at a microscale.

Keywords: Climatic variability, tropical belt, soil-atmosphere system, Decasai/Deacisa.



I. INTRODUCCIÓN

Dado que los modelos climáticos son el mejor medio para proyectar el cambio climático futuro, es crucial que los modelos climáticos capturen con precisión los cambios observados para aumentar la confianza en sus proyecciones futuras.

El estudio presenta los resultados de un modelo llamado DECASAI que determina el efecto de las anomalías climáticas en la interacción suelo-atmósfera en varios lugares del mundo. La atención se centra en el impacto de parámetros relevantes que afectan la predicción estacional, específicamente en el proceso de evaporación y cómo se relaciona con el comportamiento mecánico de suelos y cuerpos de agua. Al comparar los resultados con los modelos convencionales, el estudio analizó las diferencias en las variaciones espaciales de la fuerza de acoplamiento y las fuerzas observadas, teniendo en cuenta las diferencias en parametrización, climatología y regímenes hidrológicos.

La selección de los cuerpos de agua fueron el Embalse Gurí (Venezuela), la Presa de Aswan (Egipto) y el Lago Victoria (África). Esta selección incluyó por una parte, sus condiciones y carácter de continentalidad de Topografía, y por otra parte de similitud de biomasa (Gurí y Lago Victoria) y diferencia de la misma (Gurí y Aswan). Estas características influyen en los valores de humedad relativa y condiciones de evaporación del espejo de agua de la ubicación, para analizar la convergencia de los resultados. Se validó el modelo realizando la comparación con base a la topográfica y continentalidad, se tomó la información necesaria para ejecutar los cálculos del modelo propuesto, se analizó la variabilidad climática sobre el sistema estudiado, el modelo se orientó hacia una situación de flujo mínimo (estratificado de la analogía de la teoría de las ondas de Elliot), la predicción climática del modelo DECASAI al embalse, se estudió la reproducibilidad del modelo, para obtener los resultados y conclusiones del análisis de convergencia.

II. DESARROLLO

El modelo determinación del efecto de las anomalías climáticas en la interacción suelo-atmósfera (DEACISA/ DECASAI) es un modelo matemático del clima que se desarrolló para determinar el efecto de las anomalías climáticas, no estacionales, en la interacción suelo-atmósfera sobre cuerpos de agua y sobre su biomasa circundante [1]. Se considera la característica primordial de los cuerpos de agua como son su dependencia hidráulica y pluvial de las corrientes de agua que los alimentan.

Este modelo DECASAI [1], se aplica en forma com-

plementaria con modelos climáticos convencionales (ORCHIDEE, MCT-UNAM) [2], [3], para analizar la convergencia de los resultados. Ya que, se incluye la topografía y continentalidad de regiones, dentro del cinturón tropical [4] y más específicamente en el proceso de evaporación con el comportamiento hidráulico y pluvial de los cuerpos de agua interiores, con cuerpos de agua interiores y similares rangos convectivos y termodinámicos, como casos de estudio. La interrelación estudiada, hace énfasis en los impactos de los parámetros incluyendo regímenes hidrológicos [5]. que se consideran relevantes para la predicción climática, y se presenta con un enfoque transversal para la determinación, en tiempo real, de la vulnerabilidad de los cuerpos de agua por efecto de las anomalías climáticas, y los resultados obtenidos se presentan tanto en rango de valores como en percepciones que se asemejan a las de modelos más elaborados.

Independientemente de la escala espacio-temporal, y por una parte, los modelos dinámicos de sistemas climáticos comparten en general la misma estructura básica; las variables por considerar son las mismas y al igual que cualquier sistema natural, se rigen por los mismos principios físicos de conservación de la masa, la energía y el momento. Los modelos pueden utilizarse para la predicción climática y meteorológica y abarcan desde la escala planetaria hasta la microescala [6]. Por otra parte, consideran que los comportamientos atmosféricos, se comportan como fluidos ideales, y cuando se trata de sistemas climáticos de menor dimensión de espacio local, estos se modelan con sus características locales

III. METODOLOGÍA

El punto de partida para la abstracción matemática del modelo desarrollado, son los procesos físicos relacionados con la transferencia de momento, energía y masa en una determinada localidad. Para enfocar los efectos de estos parámetros sobre estos intercambios suelo y atmósfera que suceden entre las partes del sistema y de ellos con el medio externo [7], [8].

A partir del volumen de control, se realizó un análisis de las condiciones de borde, como lo muestran las Figuras 1a y 1b, Cara 1: Suelo, cota 0°, sobre el Ecuador, considera las regiones según la clasificación climática de Köppen-Geiger para los trópicos (Aw - Tropical de sabana, Am - Tropical monzónico, Af - Ecuatorial o tropical húmedo), y los cuerpos de agua y considera la altura sobre el nivel del mar (msnm). Cara 2: Hemisferio Norte, colinda con el trópico de cáncer. Cara 3: Hemisferio Sur, colinda con el trópico de capricornio, Cara 4: Este, vientos alisios del este, Cara 5: Oeste, vientos

alisios del Oeste, Cara 6: Troposfera (Atmósfera)

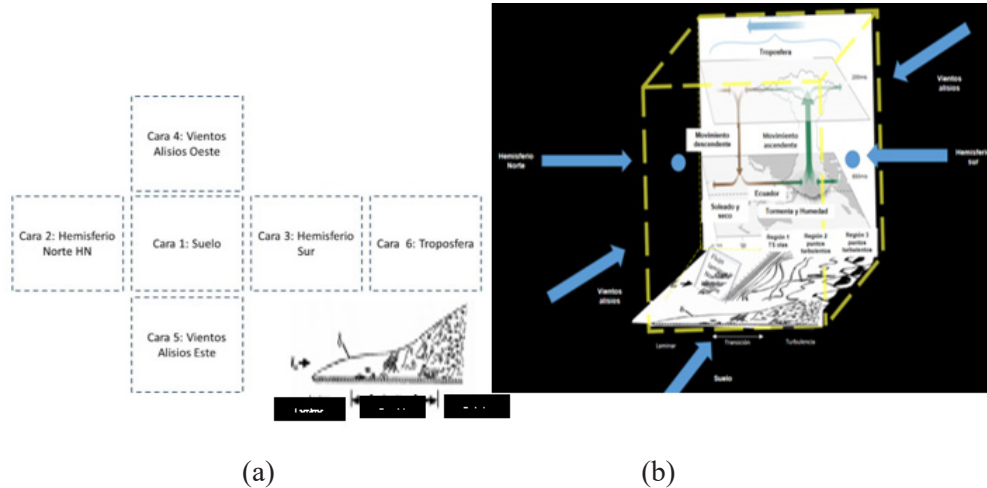


Fig. 1. Volumen de control (1a).- Caras del volumen de control; (1b).- Volumen de control establecido en los trópicos. Fuente: Autor

a) La caracterización del sistema incluye parte de los parámetros usados en los modelos predictivos como: Valor de la anomalía térmica detectada en °C, Velocidad de los vientos de anomalías climáticas (ENOS), Valor del vapor de agua hacia las nubes, Humedad relativa de las regiones seleccionadas (vulnerables a su afectación).

b) Por la caracterización termodinámica y cinética incluyen los parámetros correspondientes, como son: Características físicas de los fluidos involucrados (aire, agua, vapor de agua), Características y variaciones de condiciones de Temperatura con la altura y la presión de la atmósfera, Características de los suelos vulnerables de afectación y su relación con la humedad necesaria para mantener la biodiversidad, Áreas afectadas que alojan espejos de agua de embalses y cuencas hídricas, Áreas biodiversas consideradas como microclimas.

c) Atmosféricas (Troposfera): Formación de gotas de agua, Comportamiento de la Humedad Relativa para precipitaciones, Calcular la cantidad de la entropía intercambiada entre las masas de aire involucradas.

d) Termodinámica (Suelo): Efecto de evaporación de agua de los cuerpos de agua considerados, Efecto de la evaporación de humedad de los suelos asociados.

A. Validación del Modelo Decasai

Para la validación del modelo propuesto, y habiendo obtenido resultados muy cercanos a la realidad localmente, se ha propuesto hacer una comparación interregional, tomando en cuenta las similitudes de ciertas regiones mundiales, categorizados como clima tropical, ubicado entre los trópicos y alrededor del área Ecuatorial conocida como Dominio Continental), como lo muestra la figura 2.

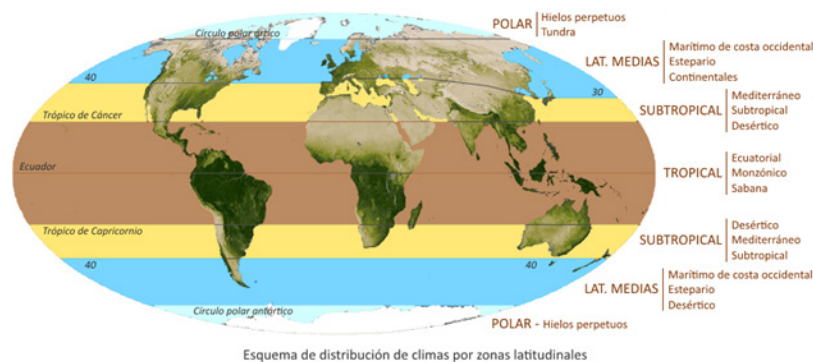


Fig.2. Distribución de los climas por zonas latitudinales [9]

Para los aspectos de aplicación del modelo desarrollado con base en climas dentro del cinturón tropical que se ubica Dentro del grupo A según Koopen Para los motivos de comparación del modelo, independientemente de la ubicación y continentalidad de cuencas acuíferas con cuerpos de agua considerados, así como la biomasa asociada a los mismos, se seleccionaron tres ubicaciones geográficas.

El modelo DECASAI [1] considera vientos preponderantes, Temperatura, humedad relativa, altura geopotencial en todos los niveles de presión, Temperatura y contenido de agua líquida en la superficie (volumen del cuerpo de agua). Se consideran las siguientes variables que muestra la tabla 1.

Tabla 1. Variables meteorológicas consideradas en DECASAI

Símbolo	Descripción	Unidad	Símbolo	Descripción	Unidad
Tg	Temperatura Aire	°C, °F, °K	r	Radiación Local	W/m ²
Ta	Temperatura Agua	°C, °F, °K	H	Humedad Del Suelo Local	%
Te	Temperatura Anomalía (Enos)	°C	Vv	Velocidad Del Viento	Km/h
Tm	Temperatura media		h	Altura Atmosférica. De Referencia.	mm Hg
pa	Presión Atmosférica	Kpa, Atm, mm Hg	L	Long Recorrida P/Viento	cm
Pvs	Presión Vapor Agua/Suelo	mm Hg	Aca	Área De Cuerpo De Agua	Km ²
Pva	Presión Vapor Agua/Agua	mm Hg	Va	Volumen De Agua	m ³
VI	Volumen Especifico del Líquido	cc/g, cc/mol	Ab	Área Biodiversa	Km ²
Q	Flujo De Agua Área Biodiversa (biomasa)	m ³ /seg	t	Duración Anomalía (Enos)	meses

Para definir la configuración base, se hizo necesario analizar los patrones de variables meteorológicas, tales como: humedad relativa, temperatura del aire, presión atmosférica al nivel del mar, radiación solar y rapidez del viento. Comúnmente estas variables tienen un ciclo diario asociados con cambios en los vientos de la zona intertropical ZIT, por estar ubicadas en las cercanías del Ecuador. También se induce la intensificación de los vientos alisios del volumen de control estudiado.

B.Comparación con base a la Topográfica y Continentalidad

Para los motivos de comparación del modelo, independientemente de la ubicación y continentalidad de cuencas acuíferas con cuerpos de agua considerados, así como la biomasa asociadas a los mismos, se seleccionaron tres ubicaciones geográficas: Embalse Gurí (Venezuela), Represa de Aswan (Egipto), el Lago

Victoria (África). Esta selección incluye por una parte, sus condiciones y carácter de continentalidad, de Topografía, y por otra parte de similitud de biomasa (Gurí y Lago Victoria) y diferencia de la misma (Gurí y Aswan). En el caso del embalse Gurí, su selección se tomó como Ciudad Guayana con latitudes semejantes. Estas características influyen en los valores de humedad relativa y condiciones de evaporación del espejo de agua de la ubicación, como se muestra en las figuras 3a y 3b, la comparación de probabilidad de precipitación y velocidad de vientos que presentan los lugares seleccionados para el estudio, basado en un análisis estadístico climatológico histórico por hora y reconstrucciones de modelos del 1980-2016, tomados de la estadística meteorológica, según todos los datos relacionados con la posición del sol (Meeus J., *Astronomical Algorithms*) [10].

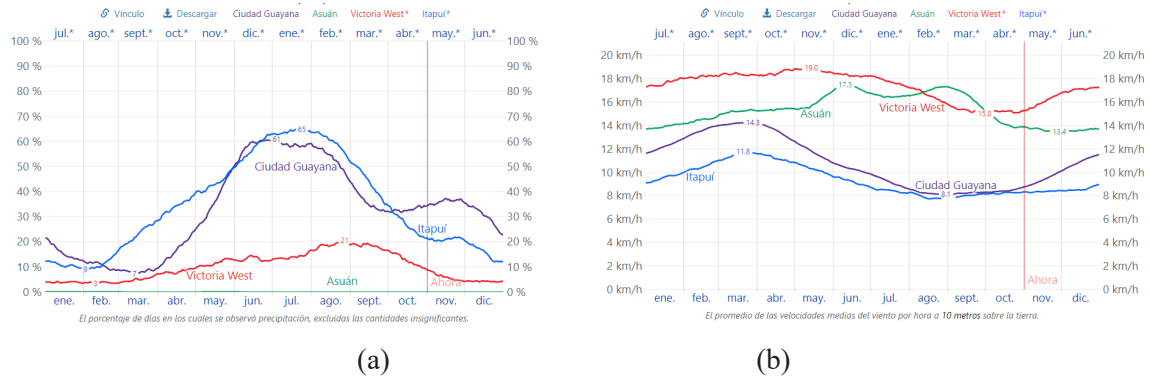


Fig. 3. Comparación climática de la selección el Embalse Gurí (Venezuela), Represa de Aswan (Egipto), Presa Itapúa (Paraná-Brasil) y el Lago Victoria (África). (3a) Probabilidad de precipitación diaria; (3b) Velocidad promedio de los vientos, según ubicación geográfica. [10], [11], [12], [13], [14], [15], [16], [17].

Todos los datos climatológicos, incluida la nubosidad, precipitación, velocidad y dirección del viento y flujo solar (MERRA-2 Modern-Era Retrospective Analysis de NASA) [11], combinando una variedad de medidas de área amplia en un moderno modelo meteorológico mundial en cuadrículas de 50 km. (FAOH, Global Land Cover SHARE database) [12], [13], Los datos de las elevaciones (SRTM) [14], [15] la base de datos GeoNames Geographical Database. AskGeo.com [16] proporciona los husos horarios para los aeropuertos y las estaciones meteorológicas, Los mapas tienen (Esri, National Geographic, Esri, DeLorme, AVTEQ, UNEP-WCMC, USGS, NASA, ESA, METI, NRCAN, GEBCO, NOAA y iPC) [17].

- Continentalidad: ubicación, latitud, altitud
- Topografía: tipo de suelo, la incidencia del sol, para considerar la biomasa, suelo (arenoso, francoarenoso...)

C.Información para realizar los cálculos del modelo
 La información necesaria para ejecutar los cálculos del modelo propuesto, se recurre a la registrada sobre el comportamiento del cuerpo de agua estudiado, lo que generalmente cuando se trata de represas, la vulnerabilidad del sistema aguas abajo, se reduce a la medición de la cota o nivel del embalse, lago o río dicha información depende de los lapsos o períodos de registro, como lo muestra la Figura 4, la altura relativa con relación del dique, del embalse de Gurí.

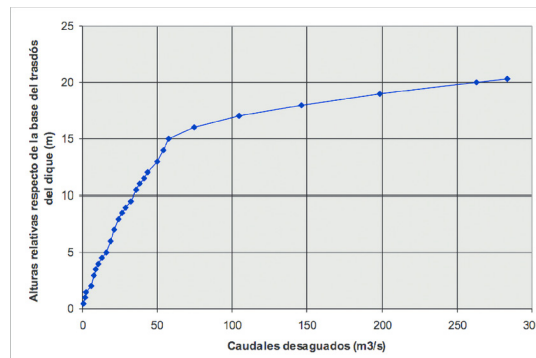


Fig.4.- Altura de cota del embalse Gurí [18]

Ésta estadística suele ser muy variada como se muestra en la Figura 5a, dado que el modelo se basa en tendencias, se hace necesario aplicar técnicas estadísticas de probabilidades, como análisis de Monte Carlo, y obtener la curva característica del cuerpo de agua en estudio y su expresión matemática, como se observa en la Figura 5b. Aplicando un análisis de Monte Carlo, para

los datos de la Figura 4b tiene una diferencia de $-0,1$ o $0,1$ que es estadísticamente significativa al nivel del 99,6%, por lo que puede producirse un falso negativo en aproximadamente el 0,4% de la cuadrícula y células trazadas. Las diferencias de $-0,05$ y $0,05$ son estadísticamente significativas al nivel del 92%.

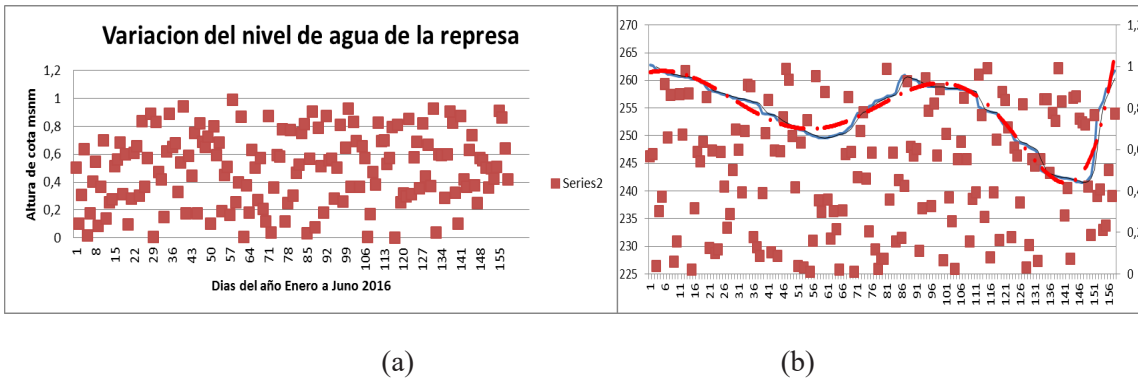


Fig. 5. Mediciones de variaciones de nivel de agua dela presa (5a).- Ploteo de datos crudos, Imagen de- recha (5b).- Curva probabilistica depues de aplicar Monte Carlo, mostrando curva mas probable y la de tendencia matemática.

Para la simulación matemática, de los datos de la se seleccionaron los valores de los parámetros que se muestran en la Figura 4b, La expresion matemática de esta tendencia, expresada a continuación:

$$Y = 2E - 10x6 - 7E - 08x5 + 7E - 06x4 - 9E - 05x3 - 0,0117x2 + 0,1289x + 261,34 \quad (1)$$

$$R^2 = 0,9532 \quad (2)$$

Donde y= altura de cota, x= días

La curva obtenida permitió enfocar las anomalías estacionales desde la perspectiva de la teoría de ondas de Elliot [19], [20], e identificar las anomalías climáticas de carácter extraordinario de su variabilidad y ocurrencia. Esta teoría, indica un patrón gráfico que muestra la continuación de la tendencia de una onda de impulso o una corrección de la misma como una onda correctiva. Dichas ondas son vitales a la hora de predecir los movimientos de las ondas climáticas se ya que tienen frecuencia de ocurrencia e intensidad por su duración, como se puede observar en la Figura 6.

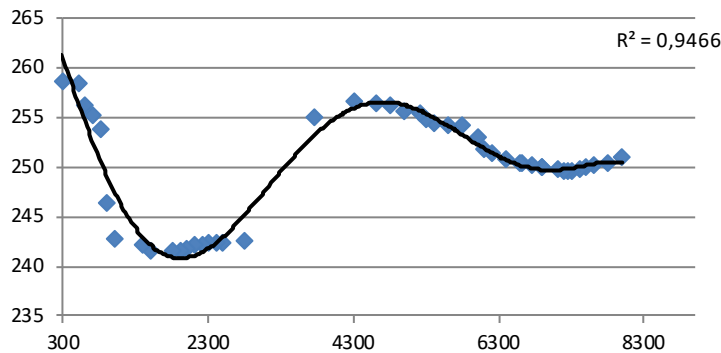


Fig. 6.- Tendencia de la altua sobre el nivel del mar de Embalse Gurí en función del flujo de agua de ali- mentación. Fuente: Autor

La expresion matemática de esta curva de tendencia real, se expresa a continuación

$$y = -1E-20x^6 + 3E-16x^5 - 3E-12x^4 + 9E-09x^3 - 8E-06x^2 - 0,0188x + 266,84 \quad (3)$$

$$R^2 = 0,9466 \quad (4)$$

donde: y= altua sobre el nivel del mar en función del tiempo, x= flujo de agua de alimentación al Embalse

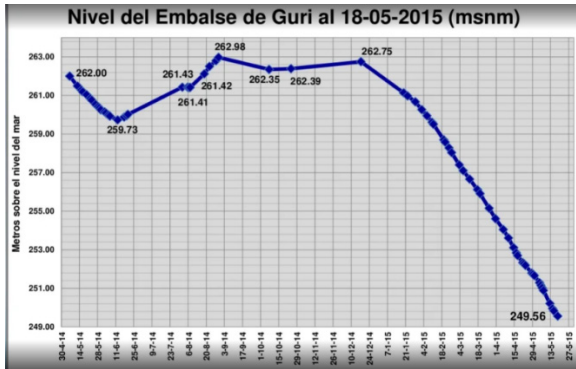
Gurí.

D.Análisis de Variabilidad Climática sobre el sistema estudiado.

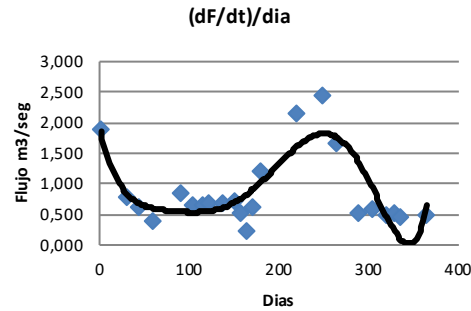
El análisis de variabilidad climática es un estudio que busca entender cómo las condiciones climáticas cambian a lo largo del tiempo y cómo estos cambios pueden afectar a los cuerpos de agua, basado en anomalías climáticas Estacionales o No (ENOS), se describe la

ubicación geográfica de la interacción suelo-atmósfera, según la continentalidad y estaciones meteorológicas de las regiones seleccionadas. Para caso de estudio se considera los datos del nivel (msnm) de cota del embalse de Gurí (Estado Bolívar-Venezuela), durante los meses del

2015 y se toma el $(dF/dt)/\text{día}$, para visualizar el comportamiento de la anomalía climática según la variación del flujo de agua (m^3/s) en función del tiempo días, como se muestra en la Figura 7.



(a)



(b)

Fig. 7. Mediciones de datos de Embalse de Gurí 2015 (msnm) (7a).- Nivel del Embalse Gurí, [18] (7b).- Variación diaria del flujo de agua. Fuente: Autor

La expresión matemática de la figura 7 derecha, se muestra a continuación.

$$y = 2E-13x^6 - 2E-10x^5 + 8E-08x^4 - 1E-05x^3 + 0,0013x^2 - 0,0646x + 1,9177 \quad (5)$$

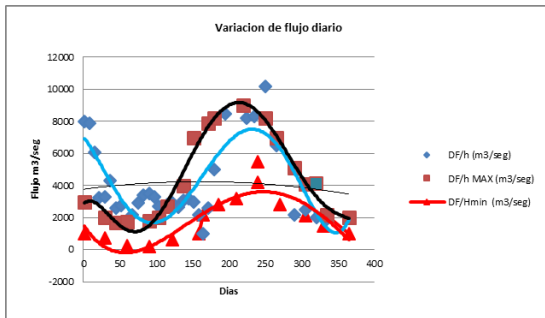
$$R^2 = 0,6907 \quad (6)$$

donde: $y =$ Nivel del embalse Gurí, $x =$ Variación diaria del flujo de agua

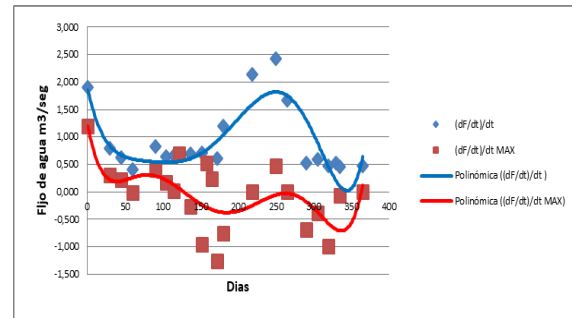
Aplicando la teoría de ondas de Elliot [19], [20], a los datos registrados y aceptados por la comunidad científica sobre la frecuencia asincrónica pero de duración variable, se clasificaron y analizaron los datos disponibles, aunque de amplitud variable en los rangos de flujos altos y bajos, y se asociaron con etapas de inun-

dación y sequía respectivamente. Ante esta situación, a los efectos del modelo desarrollado, la amplitud se asoció con la predicción de la tendencia climática a un seguimiento en tiempo real, y se considera como una información crucial para los efectos de la predicción de la tendencia de la anomalía y su efecto sobre la vulnerabilidad del sistema estudiado.

Lo anterior, permite separar las ondas de la variabilidad climática estudiada, en curvas de ondas específicas en función del flujo que alimenta al cuerpo de agua durante un determinado lapso. Esto se puede observar en las Figuras 8. En la cual la Figura 8a representa las ondas de la variación del flujo diario discriminado para los flujos altos y mínimos. En la Figura 8b se presentan las ondas de flujo alto y mínimo por separado.



(a)



(b)

Fig. 8. flujo que alimenta al cuerpo de agua (8a).-Variación del flujo diario de agua (m^3/seg), (8b).- Oscilación del flujo alto y mínimo del nivel del Embalse Gurí. Fuente : Autor

La expresión matemática de estas curvas son:

a.- Caso flujo máximo (inundación)

$$y = 8E-10x^6 - 8E-07x^5 + 0,0003x^4 - 0,0528x^3 + 5,0585x^2 - 264,97x + 8536,5 \quad (7)$$

$$R^2 = 0,7299 \quad (8)$$

b.- Caso Flujo mínimo (sequía)

$$y = -6E-11x^6 + 1E-07x^5 - 7E-05x^4 + 0,0166x^3 - 1,5072x^2 + 33,53x + 895,13 \quad (9)$$

$$R^2 = 0,8627 \quad (10)$$

Es de hacer notar que todas las expresiones matemáticas son similares en el grado polinómico con potencia a la 6 de la variable independiente como el tiempo, el cual esta asociado a la variacion estacional o anómala.

E.Flujo mínimo y vulnerabilidad

Por tratarse de un anomalía climática no estacional, o regular durante un determinado período anual, el modelo se orienta hacia una situación de flujo mínimo que conlleva a un período de sequía. La Figura 9 muestra el comportamiento ondulatorio del flujo mínimo de agua al embalse durante un año, expresado en días.

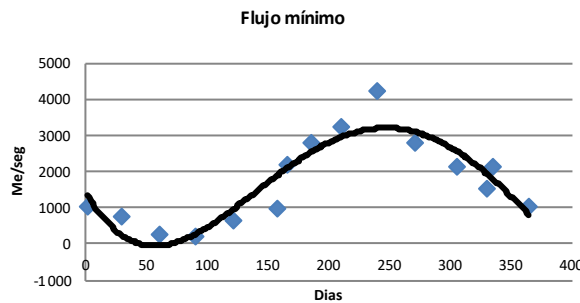


Fig. 9.- Comportamiento diario del flujo de agua de alimentación. Fuente: Autor

F.Predicción climática del modelo DECASAI al embalse

Para la predicción de la tendencia climática considerada en tiempo real, se utiliza la variación de la variable de vulnerabilidad seleccionada esto es, calcular la segunda derivada de la variable promedio de altura de un embalse, dH/dt , en función de un lapso de duración

del flujo mínimo en el lapso considerado, como se puede observar en la figura 10, a medida que la tendencia es negativa (<0) y el efecto permanece y por lo tanto el embalse se vacía; y al producirse un cambio de esta pendiente (>0) entonces se conoce que la tendencia se revierte; y el embalse se llena.

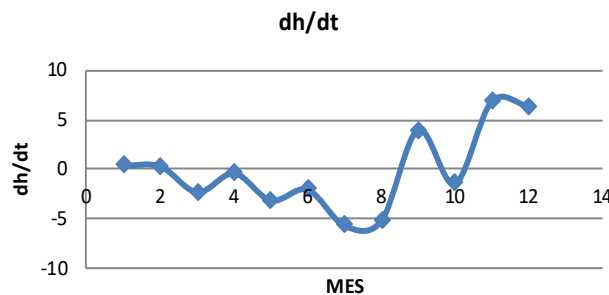


Fig. 10.- Comportamiento de la variación mensual del flujo de agua de alimentación Fuente: Autor

La expresión matemática de la figura 8, se muestra a continuación.

$$y = 0,2482x^2 - 2,7297x + 4,1643 \quad (11)$$

$$R^2 = 0,6454 \quad (12)$$

IV.RESULTADOS

G.Continentalidad o Reproducibilidad del modelo.

Para la verificación de la reproducibilidad del modelo, en lo que se refiere a la continentalidad, se seleccionaron localidades situadas dentro del cinturón tropical,

cuyos parámetros de comparación se presentan en la Tabla 2, para el parámetro de la humedad relativa se tomó la de Luxor (Egipto) como valor medio de 39,9%, con una media máxima del 57%. Para el parámetro de suelos arenosos se toma como representativos los de Coro (Venezuela) y del Sahara (Egipto) cuyo valor es de alrededor de 2.600 kg.m^{-3} . También la separación intersticial es menor que las de las partículas de arena de Coro, haciendo que el flujo de aire entre ellas sean menor, de esta manera su empuje aerodinámico vertical hacia arriba será mayor garantizando. Por su parte se considera que la porosidad total en suelos arcillosos oscila entre 40% y 60 %, mientras que en suelos arenosos se encuentra entre 35% y 50%

Tabla 2. Parámetros para la corrida de comparación de los cuerpos de agua seleccionados Represa Gurí (1), Lago Victoria (2), Represa Aswan (3)

Parámetros calculados	Unidad	Embalse Gurí	Lago victoria	Presa de Aswan
Remoción de agua de cuerpo de agua	g/h.m ²	19,01	19,01	26,61
Remoción de agua del suelo	g/h.m ²	31,73	31,73	31,32
Temperatura vapor agua nubes	°C	96,19	96,19	96,19
Temperatura circuito convectivo mezcla ENOS	°C	22,16	21,16	29,02
Temperatura ambiente mezcla en altura	°C	7,4	7,4	7,4
Temperatura estimada del suelo	°C	32,6	32,6	28,1
Radio de gotas	nm	9,24	9,24	9,46
Radio crítico de gotas	nm	4,60	4,60	4,71
Humedad relativa aire	%	83,33	58,48	49,05
Energía activación para formación de gotas	j*10 e-18	20,27	20,27	10,24
Entropía	cal/mol	10,241	17,346	17341
Humedad final del suelo	gr/h.cm ³	2,18	2,18	2,18
Volumen de agua removida cuerpo de agua	m ³	21846482	2429420	417
Volumen de agua removida área biodiversa	m ³	52731393	2184000	
Porcentaje de agua removida(+)	%	30,18	24,91	24,92

Para los parámetros de comparación, para los tres casos calculados por el modelo DECASAI donde converge el resultado de la Humedad final del suelo en 2,18 gr/h.cm³, la Remoción de agua del suelo (g/h.m²) oscila >30%. El modelo DECASAI descrito en [1] deja demostrado la convergencia y robustez del mismo, considerando la topografía y la continentalidad de los diferentes cuerpos de área.

V.CONCLUSIONES

Después del análisis realizado, los resultados del ejercicio son esclarecedores. como base para obtener mejores proyecciones del clima futuro, ya que el Modelo matemático ha demostrado ser suficientemente

robusto, basado en su enfoque termodinámico, de momento y físico para determinadas localidades, según la continentalidad de las mismas, para estudiar las anomalías climáticas estacionales o no, con especial énfasis en periodos de sequías prolongadas (como el ENOS) a nivel global o de microclimas (microescala) y que puede predecir la vulnerabilidad de los cuerpos de agua seleccionados, en sus aspectos hidráulicos y pluviales.

Entonces, el modelo DECASAI se enfoca en la aplicación de cálculos matemáticos y estadísticos para evaluar cómo los ciclos de la tierra y la atmósfera afectarían al clima futuro para analizar el efecto de las anomalías climáticas, en la interacción suelo-atmósfera. Los resultados obtenidos demuestran que es posible utilizarlo

de forma predictiva, considerando las anomalías climáticas para el pronóstico del impacto, según el usuario del modelo.

RECONOCIMIENTO

Reconocimiento a la UNEXPO vicerrectorado Puerto Ordaz, por su destacada labor en la formación de ingenieros que desean generar conocimientos de ciencia y para la ciencia. Así como el compromiso y la entrega invaluable del Dr. Oscar Dam, en las contribuciones académicas y el procesamiento de los resultados obtenidos. Se tomó datos meteorológicos de las reconstrucciones basadas en el modelo MERRA-2 para una variedad de importantes series de datos. Estas reconstrucciones: (1) se basan en modelos informáticos que podrían tener errores en el modelo, (2) se muestrean a grandes rasgos en una cuadrícula de 50 km y, por lo tanto, no se pueden reconstruir con las variaciones locales de muchos microclimas y (3) tienen una dificultad particular con el clima en algunas áreas costeras, especialmente islas pequeñas.

REFERENCIAS

- [1]M. Giron, «Mathematical model of the convective behavior of climate variability applied to a cubic Hadley cell,» Editorial AutanaBooks, vol. 14, n° 4, p. for print, 2023.
- [2]M. Guimberteau, D. Zhu, F. Maignan, Y. Huang, C. Yue, S. Dantec-Nédélec y P. & Ciais, «ORCHIDEE-MICT (v8. 4.1), a land surface model for the high latitudes: model description and validation,» *Geoscientific Model Development*, vol. 11, n° 1, pp. 121-163, 2018.
- [3]J. Adem, V. M. Mendoza, A. Ruiz, E. Villanueva y R. Garduño, «Recent numerical experiments on three-months extended and seasonal weather prediction with a thermodynamic model,» *Atmósfera*, vol. 13, n° 2, pp. 53-83., 2000.
- [4]L. Lugo, C. Pacheco, O. Carrero, M. Sánchez y D. & Hernández, «Lugo, L., Pacheco, C., Carrero, O., Diagnóstico del bosque Húmedo Tropical de la República Bolivariana de Venezuela,» Venezuela.
- [5] Y. M. ZAMORA, «Modelación del efecto de la variación climática en el balance hídrico en dos cuencas (México y Cuba) bajo un escenario de cambio climático,» Mexico, 2018.
- [6]OMM, *Guide to Climatological Practices.*, Geneva: World Meteorological Organization, 2011.
- [7]K. McGuffie y A. y Henderson-Sellers, *A Climate Modelling Primer*, John Wiley & Sons, 2005.
- [8]A. Pasini, *From Observations to Simulations: A Conceptual Introduction to Weather and Climate Modelling*, World Scientific, 2005.
- [9]M. Navarra, *Distribución de los climas por zonas latitudinales. Clasificación Climática de Köppen*, 2022.
- [10]Y. Gómez-Villa, L. Álvarez-Escudero, A. D. Centella-Artola, R. Pérez-Suárez y I. & Borrajero-Montejo, «Estudio sobre sistemas meteorológicos que provocan eventos notables de precipitación en Cuba,» *Revista de Climatología*, vol. 15, 2015.
- [11]R. Gelaro, W. McCarty, M. J. Suárez, R. Todling, A. Molod, L. Takacs y B. & Zhao, «Todling, R., Molod, A., Takacs, L., ... & Zhao, B. (2017). The modern-era retrospective analysis for research and applications, version 2 (MERRA-2),» *Journal of climate*, vol. 30, n° 14, pp. 5419-5454, 2017.
- [12]K. Fukushima, H. Kondo y S. Sakata, «Fukushima, K., Kondo, H., & Sakata, S. (1992). Geochemistry of hydroxy acids in sediments—I. Some freshwater and brackish water lakes in Japan,» *Organic Geochemistry*, vol. 18, n° 6, pp. 913-922, 1992.
- [13]A. Osman, D. O. Yawson, S. Mariwah y I. Y. Dadson, «Osman, A., Yawson, D. O., Mariwah, S., & Dadson, I. Y. (2022). Towards a concrete landscape: Assessing the efficiency of land consumption in the Greater Accra Region, Ghana.,» *Plos one*, vol. 17, n° 6, p. e0269120, 2022.
- [14]«Mission, Shuttle Radar Topography. "SRTM." sf,» *Spatial Information*, [En línea]. Available: <https://srtm.csi.cgiar.org/srtmdata>. [Último acceso: 2023].
- [15]J. D. Lencinas y G. M. Díaz, «Corrección geométrica de datos satelitales QuickBird, incidencia de los modelos digitales de elevación SRTM-C/X y ASTER GDEM,» *GeoFocus. International Review of Geographical Information Science and Technology*, vol. 11, pp. 431-454.
- [16]U. F. Mammadova, «ECOTOURISM POTENTIAL/ECOLOGICAL MONITORING of CHUKHURYURD LAKE,» *Aswan University Journal of Environmental Studie*, vol. 4, n° 1, pp. 38-47, 2023.
- [17]G. C. Ferrucho Bayona y D. B. Chamorro Rincón, «Ferrucho Bayona, German Camilo, and Darwin Boned Chamorro Rincón. "Diseño de una granja solar fotovoltaica flotante para mitigar los efectos de cambio climático en una central hidroeléctrica,» 2021.
- [18]J. J. Córdova Carmen, «Diseño de embalse teniendo en consideración los impactos ambientales,» 2016.
- [19]A. Galdames Garces y J. E. Agamez Ruz, «Galdames Garces, Alexander, and Jorge Eduardo Agamez Ruz. "La teoría de las ondas de Elliot como herramienta de análisis técnico para la especulación intradía en el mercado Forex,» 2007.
- [20]J. C. C. ESPINAL y E. . R. Jimenez Mendez, «ESPINAL, Javier Cristóbal Calvo; MENDEZ, Edgar Ri-

cardo Jimenez. Ondas de Elliot: La clave para obtener excelentes beneficios en el mercado de valores. Innovar,» Revista de ciencias administrativas y sociales, n° 18, pp. 9-20, 2001.

[21]D. Montaña, «Evaluation digital of tolos for the management the portafolio educational,» Minerva Journal, vol. 2, n° 4, pp. 55-61, 2021.

DETERMINACIÓN MEDIANTE SIMULACIONES TERMOELÉCTRICAS EL AMPERAJE Y LAS DIMENSIONES DE LOS BLOQUES ANÓDICOS APROPIADOS PARA MEJORAR LA PRODUCCIÓN DE ALUMINIO EN LAS CELDA V-350 DE C.V.G VENALUM

Rodríguez María, Rojas, Francisco, Maita Aymara y Birrot Angel.
mlrodriguez@estudiante.unexpo.edu.ve, fjrojas@unexpo.edu.ve,
Aymara.Maita@venalum.com.ve, Angel.Birrot@venalum.com.ve

Resumen: En este trabajo de investigación se estudió la influencia de las dimensiones de los bloques anódicos para amperajes de operación de 320 kA y 350 kA en la eficiencia eléctrica y producción en las celdas de reducción de aluminio de tecnología venezolana V-350. Se realizaron modelos termoelectricos de la celda con el método de elementos finitos. Los resultados de las simulaciones mostraron que el bloque anódico menos eficiente es el de 1400 mm, siendo el de 1550 mm el que presentó menor caída de voltaje en la celda. Sin embargo, el ánodo 1550 mm mostró que es mucho menos simétrico en ambos amperajes que el ánodo 1500 mm en cuanto a las densidades de corriente horizontales, JZ, en la interface metal-baño, condición que es necesaria para una mayor eficiencia eléctrica y producción de aluminio de la celda.

Palabras Clave: Amperajes, bloques anódicos, celda reducción aluminio, elementos finitos.

DETERMINATION THROUGH THERMOELECTRIC SIMULATIONS OF THE AMPERAGE AND DIMENSIONS OF THE ANODE BLOCKS APPROPRIATE TO IMPROVE THE PRODUCTION OF ALUMINUM IN THE V-350 CELLS OF C.V.G VENALUM

Abstract: In this research work, the influence of the dimensions of the anode blocks for operating amperages of 320 kA and 350 kA on the electrical efficiency and production in the aluminum reduction cells of Venezuelan V-350 technology was studied. Thermoelectric models of the cell were made with the finite element method. The results of the simulations showed that the least efficient anode block is the 1400 mm block, with the 1550 mm block having the lowest voltage drop in the cell. However, the 1550 mm anode showed that it is much less symmetrical in both amperages than the 1500 mm anode in terms of horizontal current densities, JZ, at the metal-bath interface, a condition that is necessary for greater electrical efficiency and production. aluminum cell.

Keywords: Amperages, anode blocks, aluminum reduction cell, finite elements.



I.INTRODUCCIÓN

C.V.G VENALUM es una empresa cuyo propósito es la producción de aluminio primario destinado a satisfacer el mercado nacional e internacional. La empresa en su mejor momento tenía cinco líneas de producción con un total de 905 celdas de reducción de aluminio (CRA) o electrolíticas operativas, 720 de tecnología francesa Reynolds P-19 divididas entre Complejo I y Complejo II, 180 de tecnología noruega Hydro Aluminium Hal-230, más 5 celdas de tipo V-350 que estuvieron operando de manera experimental en el Complejo III o mejor conocido como “Quinta Línea”. Actualmente (septiembre 2023) se encuentran operativas 92 celdas de línea I y 109 en V línea, 12 celda más que octubre 2022. La empresa continúa recuperando poco a poco la mayor parte de sus celdas con el propósito de aumentar su producción de aluminio. Una de los proyectos de la empresa es crear una nueva línea de producción con las celdas venezolanas V-350 en el espacio de complejo II, el cual está en fase de estudio. El diseño de las celdas V-350 fue realizado por ingenieros venezolanos pertenecientes a la empresa y constan de cinco

celdas que se encuentran conectadas en serie a las celdas Hydro Aluminium Hal-230, para ello se le conectan tres elevadores de corriente llamados booster los cuales permiten elevar las corrientes en estas cinco celdas a 320 kA. La empresa realiza investigaciones con la finalidad de analizar si los parámetros operativos usados fueron satisfactorios y a futuro, si es posible introducir cambios en el modelo para mejorar la eficiencia eléctrica y la producción de aluminio en estas celdas.

El objetivo general de esta investigación fue determinar mediante simulaciones termoeléctricas el amperaje (entre 320 kA y 350 kA) y las dimensiones del boque anódico (en los modelos 1400 mm, 1500 mm y 1550 mm) más apropiados para mejorar la producción y la eficiencia eléctrica de las celdas V-350. Concretamente se estudiaron las distribuciones de temperatura, potencial eléctrico y de densidad de corriente en casi todas las partes del modelo.

Las caídas típicas del voltaje en este tipo de celdas se muestran en la Figura 1, [1].

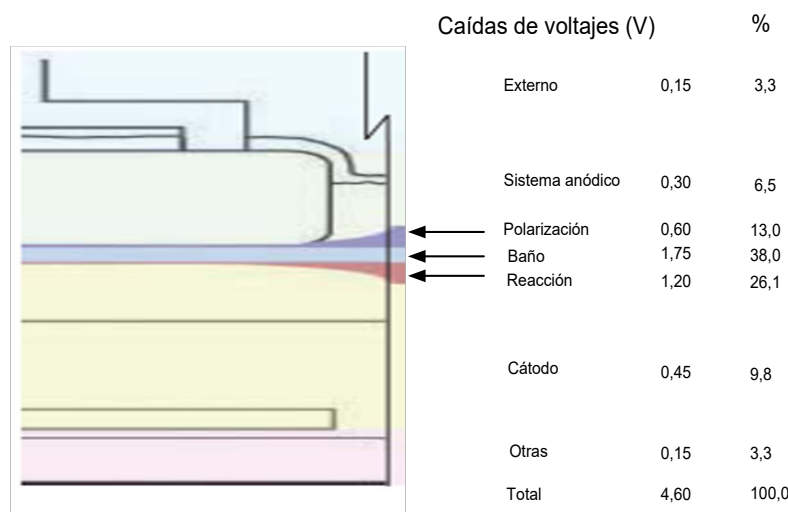


Figura 1. Caídas de potenciales eléctricos en una celda típica.

Se observa en la Figura 1 que hay dos caídas de potenciales que son químicas: voltaje de reacción 1,2 V y el polarización 0,6 V. Todas las otras caídas son tipo óhmicas, incluidos el incremento de resistencias eléctrica entre dos superficies por contacto, conocido por resistencia por contacto. La mayor fuente de caída de

voltaje en la celda se presenta en baño electrolítico, o simplemente baño, el cual tiene un valor aproximado de 1,75 voltios. La distancia ánodo cátodo, DAC, es la distancia desde el área inferior del bloque anódico hasta interface metal baño, ver Figura 2 y [2], la cual es típicamente de 5 cm.

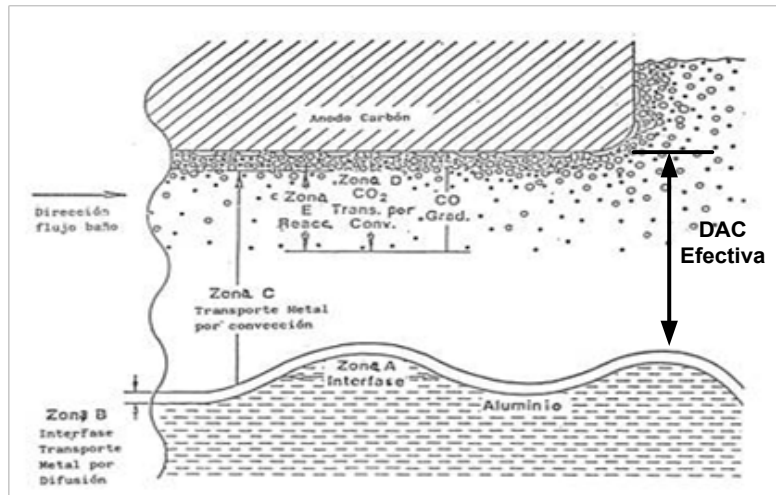
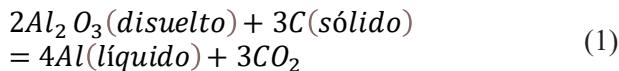


Figura 1. Caídas de potenciales eléctricos en una celda típica.

En la reacción química ocurre el desgaste de la superficie del bloque anódico, compuesto mayormente por Carbono (C), se produce liberación de energía en la presencia del oxígeno (O) de acuerdo a la reacción química [3]:



El oxígeno de la alúmina (Al_2O_3) se combina con el carbono (C) del bloque anódico para producir dióxido de carbono (CO_2) en forma de gas (burbujas) y el aluminio (Al) líquido que se precipita al cátodo, a una temperatura de aproximadamente 960 °C. La energía que se requiere en esta reacción es equivalente a una caída de potencial eléctrico de 1,20 voltios.

Se observa que la interfase metal baño no es plana, es ondulada y con movimiento. Se sabe que en una celda estable, eléctricamente eficiente, esta interfase tiende a ser lo más plana posible. La DAC se ve afectada por la amplitud de la ondulación lo que se conoce como variación de resistencia en la práctica operativa de las celdas. La fuerza magnética vertical en la interfase metal baño es factor importante para determinar que tan eficiente y productiva es la celda. Mientras menor y más simétricas sean las componentes horizontales de las densidades de corrientes en la interfase metal baño menor será la fuerza magnética vertical [4] y [5].

En este estudio se determinó con las simulaciones que modelo de bloque anódico presenta menor caída de potencial eléctrica en la celda y cuál de ellos presenta menores valores de densidades de corriente horizontales en la interface metal baño y su respectiva simetría.

En el capítulo II se expone el modelo con elementos finitos, el método y los materiales del modelo, las ecuaciones termoeléctricas que ejecuta el programa y sus condiciones de fronteras. En el capítulo III se exponen los resultados de las simulaciones termoeléctricas y el capítulo IV están las conclusiones de la investigación.

II. DESAROLLO

2.1 El modelo con elementos finitos, el método y materiales del modelo.

La técnica utilizada para estudiar las distribuciones de potencial eléctrico, temperatura y densidad de corriente en el modelo de celda es el método de elementos finitos (MEF), el cual es muy usado para el modelo termoeléctrico en CRA [6], [7] y [8]. El modelo es muy complejo, ver Figura 3, porque cada una de sus partes o volúmenes fue tomada en cuenta. El modelo consta de 940 volúmenes y tiene 20 materiales distintos, mostrados en la Tabla 1. Las propiedades como conductividad térmica y resistividad eléctrica de todos los materiales son las mismas usadas en [9].

08:00

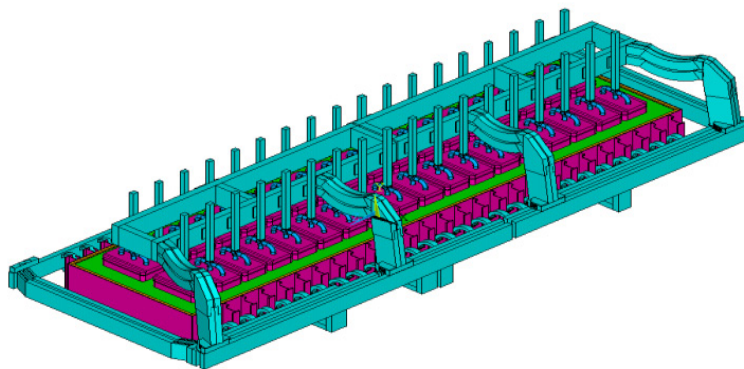


Figura 3. Celda de reducción de aluminio V-350 de C.V.G VENALUM

Se logró realizar el mallado correctamente del modelo computarizado para obtener más de 4,5 millones de elementos y casi 7 millones de nodos, puntos donde

el programa debe dar las respuestas de las variables termoeléctricas.

Tabla 1. Materiales de la celda V-350

Materiales	
1. Aluminio sólido.	11. Pasta catódicafría
1. Bimetálico de Aluminio.	12. capa de alúmina
1. Bimetálico de Acero.	13. LadrilloRefractario AT-21
1. Yugo de Acero.	14. Bloques carburo de Silicio (aislantes)
1. Bloque Anódico de carbón, alquitrán y brea	15. Lana Mineral
1. Baño Electrolítico.	16. Cuba de acero
1. Metal Aluminio (fundido)	17. Pinzasconectoras de cobre
1. Bloques Catódico.	18. MorteroCastable
1. Pasta Catódica caliente.	19. Vermiculita (aislante)
1. Acero barras colectoras	20. Insulita (aislante)

En la Figura 4 se muestra el modelo para el sistema anódico (SA), en el cual solo se modifica la longitud

horizontal del bloque anódico.

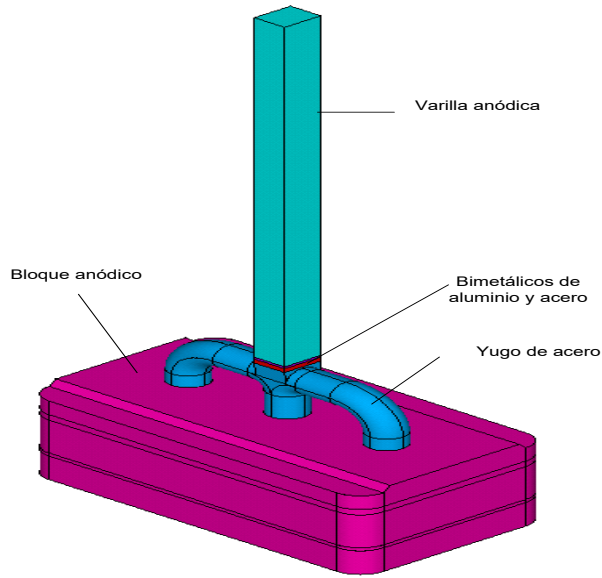


Figura 4. Modelo del sistema anódico (SA)

2.2 El modelo termoelectrónico.

La distribución de potencial eléctrico o voltaje $V(x, y, z, T)$ en todos los nodos de los volúmenes del modelo se obtiene a partir de la ley conservación de la carga para el caso estático [10] y [11]:

$$\nabla^{\circ}\{J\} = 0 \quad (2)$$

Siendo $\{J\}$ el vector densidad de corriente. La ley de Ohm relaciona la densidad de corriente con el vector intensidad de campo eléctrico $\{E\}$.

$$\{J\} = [\sigma(T)]\{E\} \quad (3)$$

En donde $[\sigma(T)]$ es la matriz de la conductividad eléctrica, dada por

$$[\sigma(T)] = \begin{bmatrix} \sigma_{xx}(T) & 0 & 0 \\ 0 & \sigma_{yy}(T) & 0 \\ 0 & 0 & \sigma_{zz}(T) \end{bmatrix} \quad (4)$$

Cuyos elementos diagonales son iguales: $\sigma_{xx} = \sigma_{yy} = \sigma_{zz}$ debido a las condiciones de homogeneidad e isotropía que hemos impuesto. El vector densidad de corriente en todo el modelo está calculado por medio de la ecuación:

$$\{E\} = -\nabla V \quad (5)$$

Combinando (2), (3), (4) y (5) resulta la ecuación que define la distribución de potencial eléctrico en el sistema:

$$\nabla^{\circ}([\sigma(T)]\nabla V) = 0 \quad (6)$$

La distribución de temperatura $T(x, y, z)$ del sistema está definida por medio de la ecuación de transferencia de calor por conducción:

$$\nabla^{\circ}([K]\nabla T) + \vec{q} = 0 \quad (7)$$

donde,

$$[K(T)] = \begin{bmatrix} k_{xx}(T) & 0 & 0 \\ 0 & K_{yy}(T) & 0 \\ 0 & 0 & K_{zz}(T) \end{bmatrix} \quad (8)$$

es la matriz de la conductividad térmica con $k_{yy} = k_{zz}$. \vec{q} es la velocidad de generación de calor por unidad de volumen producida por efecto Joule. Las condiciones de contornos o fronteras utilizadas fue la condición de flujo de calor por convección:

$$K \frac{\partial T}{\partial n} = h(T_s - T_{\infty}) \quad (9)$$

onde h es el coeficiente de transferencia de calor por convección, T_s es la temperatura de la superficie a la cual llega el flujo de calor por convección, T_{∞} es temperatura de la superficie que ejerce convección y n es un vector unitario normal a las dos superficies. Los modelos para cada bloque anódico fueron cargados con 320 kA y 350 kA, asumiendo que la cantidad de corriente que entran a la celda por los 4 elevadores de corriente, conocidos como "riser" es la misma. Como indican las ecuaciones del modelo termoelectrónico cada material del modelo debe tener definida dos propiedades en función de su temperatura, que son la conductividad térmica y su resistividad o conductividad eléctrica. También, se aplicaron condiciones de transferencia de calor por convección en diversas partes del modelo. Para la temperatura del medio ambiente se asumió 40 °C con un coeficiente $h=20$ W/(m²K).

III. RESULTADOS

En las Figuras 5 y 6 se muestran las distribuciones de temperatura, en °C, y potencial eléctrico, en voltios (V), en el Sistema Anódico 1400 mm (SA-1400) for-

mado por la varilla anódica, bimetálico de aluminio, bimetálico de acero, el yugo de acero y el bloque anódico 1400 mm) para 320 kA, respectivamente.

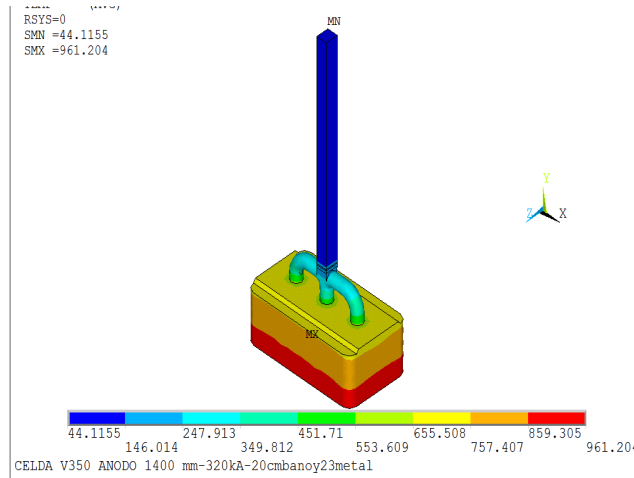


Figura 5. Distribución de temperatura en el SA.

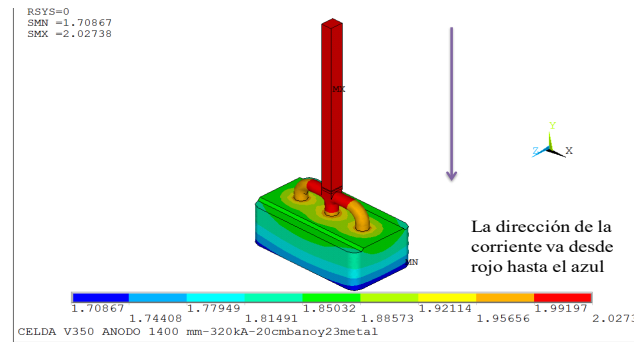


Figura 6. Distribución potencial eléctrico o voltaje en el SA.

Tanto los valores de temperatura como de caída de voltaje en el SA se corresponden con los valores medidos y los reportados por diversas investigaciones sobre simulaciones termoelectricas [12] y [13]. Por ejemplo, la caída de potencial eléctrico en el SA en la simulación

es de 0,32 voltios, lo cual se corresponde con el valor en la Figura 1. En la Figura 7 se observa la distribución de temperatura en el baño electrolítico coincide con la temperatura de operación de la celda

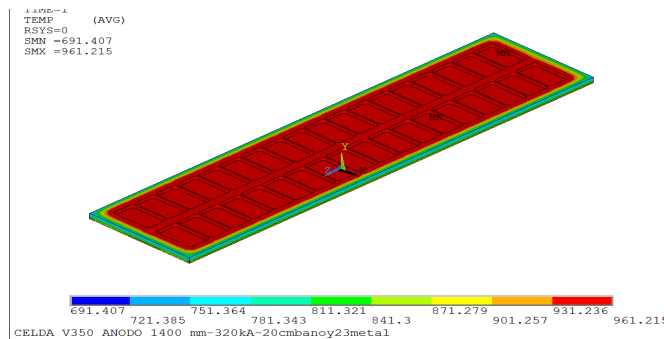


Figura 7. Distribución de temperatura en el baño electrolítico ánodo 1400 mm y 320 kA.

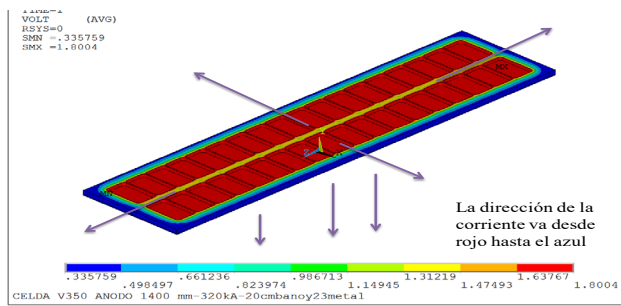


Figura 8. Distribución de potencial eléctrico o voltaje en el baño ánodo 1400 mm y 320 kA.

La caída de voltaje en el baño obtenida 1,464 V no coincide a lo esperado, según la Figura 1. Sin embargo, el modelo no tiene las burbujas de dióxido de carbono CO₂, que aparecen debido a las reacciones químicas que ocurren en el baño. La caída adicional de voltaje por las burbujas está comprendida entre 0,2 V y 0,3 V;

por lo tanto, la caída de voltaje en baño en la simulación coincide con el valor teórico si le sumamos el aumento de resistencia en el baño por efecto de las burbujas.

Similarmente la caída de potencial total en la celda para el modelo 1400 mm a 320 kA se muestra en la Figura 9.

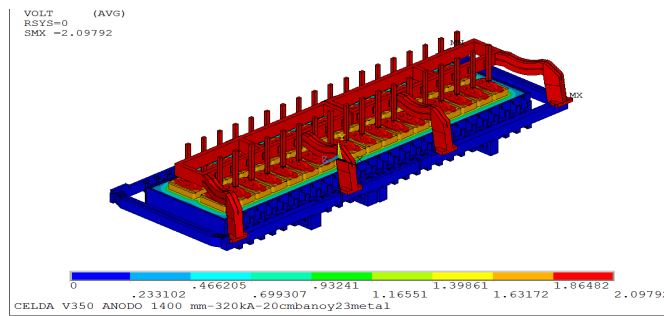


Figura 9. Distribución de potencial eléctrico o voltaje en la celda con ánodo 1400 mm y 320 kA.

Las celdas V-350 operando con ánodos 1400 mm y 312 kA presentaron caídas de voltajes entre 4,5 V y 4,6 V. Si al valor obtenido en la simulación 2,1 V le sumamos el voltaje de las reacciones químicas 1,8 V, ver Figura 1, más 0,3 V de las burbuja y otros 0,3 V por incremento de resistencia por contacto entre las conexiones

eléctricas (en la simulaciones el contacto es ideal, sin resistencia adicional por el contacto, se obtiene 4,5 V. Este resultado válida la parte eléctrica de la simulación, el cual es muy similar a lo obtenido en una investigación previa [9]. En la Tabla 2 se muestran los resultados numéricos de todos los modelos estudiados.

Tabla 2. Comparativa de los diferentes modelos de ánodos

Modelo Ánodo (mm)	Amperaje (kA)	Tempera máxibaño (°C)	Caídavoltajecelda (V)
1400	320	959,6	2,100
1400	350	960,2	2,350
1500	320	960,2	2,068
1500	350	960,6	2,262
1550	320	958,7	2,095
1550	350	959,7	2,220

Como se puede observar el modelo el ánodo 1500 mm a 320 kA es el que presenta menor valor de caída de potencial que los otros dos modelos a ese mismo valor de amperaje. Pero, para 350 kA el mejor modelo resultó el bloque anódico 1550 mm, con un ahorro de 42 mV respecto al 1500 mm y 130 mV respecto al 1400 mm.

Hay muy poca variación en la temperatura máxima del baño.

Los resultados para la densidad de corriente horizontal, J_x, para el ánodo 1400 mm a 320 kA en la interface metal baño se muestra en la Figura 10.

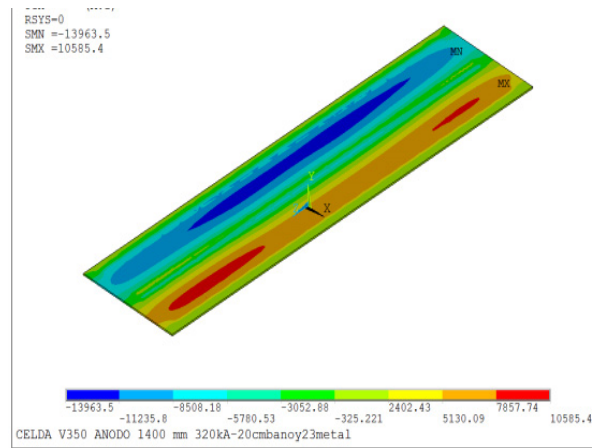


Figura 10. Densidad de corriente JX en la interface para el ánodo 1400 mm a 320 kA.

Para todos los modelos los resultados numéricos para Jx se muestran en la Tabla 3.

Tabla 3. Resultados numéricos para la densidad de corriente transversal JX en la interface metal baño

Modelo Ánodo (mm)	Amperaje (kA)	Valor máximo (A/m ²)	Valor mínimo (A/m ²)
1400	320	10585,4	-13963,5
1400	350	10977,1	-15182,2
1500	320	9474,88	13501,4
1500	350	10384,9	-14862,1
1550	320	9305,29	-13602,3
1550	350	10021,9	-14529,0

Similarmente, el resultado numérico para la densidad de corriente longitudinal, Jz, se muestra en la Tabla 4, en la cual se muestra que el ánodo 1550 es el que presenta mucho menor simetría que el sistema anódico 1500 mm.

Tabla 4. Resultados numéricos para la densidad de corriente longitudinal Jz en la interface metal baño

Modelo Ánodo (mm)	I (kA)	Valor máximo (A/m ²)	Valor mínimo (A/m ²)	Diferencia
1400	320	8497,2	-7680,6	817
1400	350	9401,4	-8921,5	480
1500	320	8438,5	-7958,2	480
1500	350	9278,2	-8816,5	462
1550	320	9584,2	-8133,4	1451
1550	350	9520,6	-8642,4	878

IV. CONCLUSIONES

Se obtuvo que para 320 kA el ánodo 1500 mm tiene la menor caída de potencial eléctrica, con un ahorro de 32 mV respecto al ánodo 1400 mm y 27 mV respecto al ánodo 1550 mm. En el caso de 350 kA el ánodo 1550 mm presentó la menor caída de potencial eléctrico con un ahorro de 42 mV respecto al ánodo 1500 mm y de 130 mV respecto al 1400 mm. Sin embargo, el ánodo 1550 mm posee significativa menor simetría en sus corrientes horizontales presentes en la interface metal-baño y este tipo de ánodo no es fabricado en la empresa. Por tal motivo, se propone el uso del ánodo de

1500 mm, iniciando con 320 kA y aumentar la corriente progresivamente hasta alcanzar su valor máximo, sin menoscabo de su rendimiento y eficiencia eléctrica. Para determinar la corriente máxima de la celda se hace necesario hacer el estudio completo de cómo cambia el perfil del lecho en función del incremento de amperaje

REFERENCIAS

- [1] W.T. Choate and J.A. Green, "U.S. Energy Requirements for Aluminum Production", 2003, pp 31.
- [2] K.Grjotheim and H.Kvande, Introduction to Aluminum Electrolysis. 2da Edition, Edit AluminiumVerlag,

Dusseldorf, Germany, 1993, pp.33.

[3] K.Grjoteim and B. Welch, "Aluminium Smelter Technology" Segunda Edición, Aluminum-Verlag, Dusseldorf, Germany, 1986, pp 90-92.

[4] Y. Feiya, M. Dupuis M, Z. Jianfei and R. Shaoyong, "In Depth Analysis of Energy-Saving and Current Efficiency Improvement of Aluminum Reduction Cells", Light Metals, 2013, p.p. 537-542.

[5] A. Arkhipov, A. Alzarooni A, A. Al jasmi and V. Potonic, "Improving the Understanding of Busbar Design and MHD performance", Light Metals, 2017, p.p. 671-677.

[6] M. Dupois, "Low Energy Consumption Cell Designs Involving Copper Insert and an Innovative Busbar Network Layout", Light Metals, 2017, pp. 693-703.

[7] M. Dupuis, "Computation of Aluminum Reduction Cell Energy Balance Using Ansys Finite Element Models", Light Metals, 1998, pp. 409-417.

[8] M. Dupuis, and I Tabsh, "Thermo-electric Analysis of Aluminum Reduction Cells", Light Metal, (1992), p.p. 55-62

[9] M. Rodriguez, "Estudio del Comportamiento Termoeléctrico en las Celdas V-350 CVG VENALUM por Medio del Método de Elementos Finitos", Estudio de pasantía profesional en CVG Venalum, Departamento

de Ingeniería Eléctrica, UNEXPO. Tutor Académico Francisco Rojas, Tutor Industrial Aymara Maita, noviembre 2022.

[10] F. Rojas; A. Birrot; D. Requena; I. Malave, Propuestas de mejoras en el Sistema Anódico en Celdas Hal-230 de V línea de CVG VENALUM, Universidad, Ciencia y Tecnología, 56 (2010) 189-203.

[11] F. Rojas; A. Birrot; I. Malave, "Simulación de las Caídas de Potenciales en el Sistema Anódico Producidas por las Variaciones de Profundidad del Yugo en el Ánodo de un Celda de Reducción de Aluminio", Universidad, Ciencia y Tecnología, 43(2007) 79-86.

[12] H. Fortin; N. Kandevar and M. Fafard, "FEM Analysis of Voltage Drop in the Anode Connector Induced by Steel Stub Diameter Reduction", Finite Elements in Analysis and Design, 52(2012) 71-82

[13] J. Arcila, "Influencias de los Insertos de Cobre en las Barras Colectoras Catódicas en la Producción y la Eficiencia Eléctrica de las Celdas de Reducción de Aluminio de CVG VENALUM", Tesis de Grado Departamento de Ingeniería Metalúrgica, Tutor Académico Francisco Rojas, Tutor Industrial Edris Lyon, UNEXPO, noviembre 2022.

ESTUDIO DE LA INFLUENCIA DE LAS CORRIENTES DEL BOOSTER EN LAS DISTRIBUCIONES TERMOELÉCTRICAS DE LAS CELDAS V-350 USANDO EL MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS

Baisdem Orlando, Rojas Francisco, Salcedo Luis, Maita Aymara y Birrot Angel.
orbaisdemh@estudiante.unexpo.edu.ve, fjrojas@unexpo.edu.ve, luissalcedo55@gmail.com,
Ange.Birrot@venalum.con.ve, Aimara.Maita@venalum.com.ve

Resumen: C.V.G. VENALUM posee 5 celdas de reducción de aluminio experimentales, llamadas V-350, ubicadas en V línea, la cual fue diseñada para operar con un amperaje de 350 kA, pero en la actualidad no están operativas. Sin embargo, en su fase experimental fueron más estables a 312 kA. Estas celdas reciben la corriente total de dos fuentes: de V línea entre 220-224 kA y de un sistema booster para completar los 312 kA. En esta investigación se estudió cómo influye el aumento de la corriente total en el booster en la distribución termoelectrica de estas celdas. Las simulaciones termoelectricas mostraron que para amperajes de 350 y 400 kA varias barras conductoras de aluminio exceden los valores máximos recomendados para la temperatura y densidad de corriente. La investigación, también, detectó que el sistema de conexión booster con V línea no le entrega la misma cantidad de corriente a los 4 riser de las celdas, la diferencia máxima de corriente es de 17 por ciento entre dos riser, lo cual es factor que influye negativamente en la producción y la eficiencia eléctrica de estas celdas.

Palabras Clave: Amperajes, bloques anódicos, celda reducción aluminio, elementos finitos.

STUDY OF THE INFLUENCE OF BOOSTER CURRENTS ON THE THERMOELECTRIC DISTRIBUTIONS OF V-350 CELLS USING THE FINITE ELEMENT METHOD

Abstract: C.V.G. VENALUM has 5 experimental aluminum reduction cells, called V-350, located in V line, which was designed to operate with an amperage of 350 kA, but currently they are not operational. However, in their experimental phase they were more stable at 312 kA. These cells receive the total current from two sources: from V line between 220-224 kA and from a booster system to complete the 312 kA. In this research, it was studied how the increase in the total current in the booster influences the thermoelectric distribution of these cells. Thermoelectric simulations showed that for amperages of 350 and 400 kA several aluminum conductor bars exceed the maximum recommended values for temperature and current density. The investigation also detected that the booster connection system with V line does not deliver the same amount of current to the 4 risers of the cells, the maximum current difference is 17 percent between two risers, which is a factor that negatively influences the production and electrical efficiency of these cells.

Keywords: Amperages, anode blocks, aluminum reduction cell, finite elements.



I. INTRODUCCIÓN

CVG Venalum es una empresa dedicada a la reducción de aluminio que comprende de 5 líneas de producción para un total de 905 celdas electrolíticas, o celdas de reducción de aluminio, abreviado CRA. 720 celdas son de tecnología Reynolds P-19, divididas entre Complejo I (línea I y Línea II, cada línea con 180 CRA) y Complejo II (línea III y IV, igualmente cada línea posee 180 CRA), otras 180 CRA son tecnología Noruega Hydro Aluminium Hal-230, que se encuentran en Complejo III, mejor conocido como "Quinta Línea". Además, en V línea también se encuentran cinco celdas de tecnología venezolana, desarrollada por ingenieros de la empresa al principio de los años 90, llamadas V-350, las cuales estuvieron operando de manera experimental, pero que hoy en día no están operativas. Del gran total de celdas actualmente, 16 junio 2023, sólo están operativas 91 celdas en línea I y 109 en V línea. Con el propósito de recuperar sus niveles de producción de aluminio primario la empresa realiza varios estudios y analiza proyectos para poner en funcionamiento cada una de sus celdas. Se busca aumentar la producción y la eficiencia eléctrica de cada una de sus tres tipos de celdas. Se plantea aumentar los niveles de corriente en las celdas P-19, que operan con un amperaje de 154 kA y tienen una caída de potencial eléctrico de $(4,6 \pm 0,1)$ voltios (V), y en las celdas Hal-230, que usan regularmente un amperaje de 220 kA y una caída de $(4,6 \pm 0,1)$ V. La V-350 operaron mayormente a 312 kA con una caída de voltaje por celda de $(4,5 \pm 0,1)$ V.

En cuanto a las celdas V-350 aún no se descarta su uso en una nueva línea de producción en CVG Venalum. En ese sentido, se realizan estudios para conocer mejor su funcionamiento y si es posible aumentarle significativamente su amperaje con posibles innovaciones. Sin embargo, estas celdas tienen el problema que no fueron probadas en una línea propia para ellas, sino que fueron energizadas con dos amperajes provenientes de fuentes distintas. El mayor suministro lo entrega V línea con 220 kA, y la otra parte es otorgado por un sistema boosters para completar su amperaje total de 312-320 kA. Para aumentar su amperaje se requiere probarlas nuevamente con un nuevo sistema boosters que le suministre más corriente, hasta 400 kA. Por lo que la empresa se ve en la necesidad de conocer si con las secciones de barras montadas actualmente basta para llevar la puesta en marcha de las celdas V-350 junto con el sistema booster. Este estudio se realizó con el método de elementos finitos. Se realizó el modelo computacional del booster y se le incorporó al modelo ya existente para las celdas V-350, al cual le incrementó su corriente de carga: 320, 350 y 400 kA. El objetivo general de esta investigación

fue determinar cómo influyen el aumento de la corriente total en el booster en las distribuciones termoeléctricas de las barras conductoras de aluminio del sistema booster y el sistema de conexión con V línea, concretamente si las barras de aluminio soportan los niveles de corrientes propuestos sin aumentar su temperatura y densidad de corriente por encima de los valores recomendados de 80 °C [1], lo que implica una densidad de corriente de 500000 A/m² para las barras conductoras de aluminio.

Como un primer avance del proyecto se propuso el estudio termoeléctrico y posteriormente el estudio magnético para hacer más exacto el estudio de la eficiencia eléctrica de la celda, ya que cada barra que transporte una corriente interna o externamente a la celda estudiada influye en su campo magnético o fuerza magnética en el baño y el metal, lo cual es una de las variables más importante para determinar la eficiencia y la producción de aluminio de dicha celda. El modelo utilizado para las celdas V-350 sólo incluye una de ellas en lugar de las cinco, esto debido a que tanto C.V.G VENALUM como la UNEXPO no disponen de un equipo de cálculo o computadora capaz de realizar el estudio para el modelo completo, se cuenta para las simulaciones con una PC con procesador i7 de 10 núcleos y apenas 16 GB de memoria RAM en VENALUM y otra similar en la UNEXPO pero de 12 GB RAM. Se estima que para el estudio termoeléctrico para las cinco celdas V-350 se necesitan al menos 64 GB de RAM y para el estudio magnético el doble.

En la parte II de esta investigación se expone el modelo físico computacional, las ecuaciones termoeléctricas que usa el programa para resolver numéricamente el problema, la discusión de los resultados; y, finalmente en sección III se presentan las conclusiones.

II. METODOLOGÍA

1. El modelo computacional

El modelo computacional es muy complejo porque cada una de sus partes del modelo físico fue considerado. En la Figura 1 se presenta el modelo de las 5 celdas V-350 y en la Figura 2 está el modelo de una sola celda. El modelo utilizado en esta investigación sólo incluye una de ellas en lugar de las cinco, esto debido a que tanto C.V.G VENALUM como la UNEXPO no disponen de un equipo de cálculo o computadora capaz de realizar el estudio para el modelo completo, se cuenta para las simulaciones con una PC con procesador i7 de 10 núcleos y apenas 16 GB de memoria RAM en C.V.G VENALUM y otra similar en la UNEXPO pero de 12 GB RAM. Se estima que para el estudio termoeléctrico para las cinco celdas V-350 se necesitan al menos 64

GB de RAM y para el estudio magnético el doble.

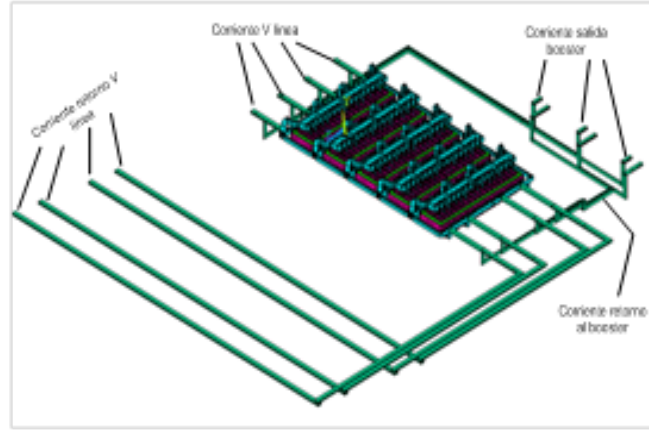


Figura1. Modelo completo (5 celdas) del sistema booster con las celdas V-350

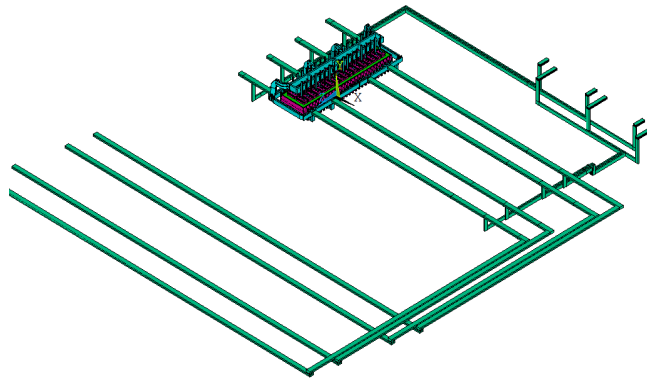


Figura 2. Modelo una celda V-350 con el booster

Para conocer los detalles eléctricos y físicos sobre el booster real se puede consultar [2]. El modelo tiene 20 materiales distintos y 942 volúmenes. El elemento usado fue el solid 226 [3], el cual tiene 20 nodos y hasta cinco grados de libertad, pero sólo se usaron dos grados de libertad: temperatura y potencial eléctrico (voltaje). Las propiedades como conductividad térmica y resistividad eléctrica de todos los materiales son las mismas usadas en [4].

2. Ecuaciones termoelectricas

La distribución de potencial eléctrico o voltaje V (x, y, z,T) en todos los nodos de los volúmenes del modelo se obtiene a partir de la ley conservación de la carga para el caso estático [5,6]:

$$\nabla \cdot \{J\} = 0 \tag{1}$$

Siendo {J} el vector densidad de corriente. La ley de Ohm relaciona la densidad de corriente con el vector

intensidad de campo eléctrico {E}

$$\{J\} = [\sigma(T)]\{E\} \tag{2}$$

en donde [\sigma(T)] es la matriz de la conductividad eléctrica, dada por

$$[\sigma(T)] = \begin{bmatrix} \sigma_{xx}(T) & 0 & 0 \\ 0 & \sigma_{yy}(T) & 0 \\ 0 & 0 & \sigma_{zz}(T) \end{bmatrix} \tag{3}$$

Cuyos elementos diagonales son iguales: $\sigma_{xx} = \sigma_{yy} = \sigma_{zz}$ debido a las condiciones de homogeneidad e isotropía que hemos impuesto. El vector densidad de corriente en todo el modelo está calculado por medio de la ecuación:

$$\{E\} = -\nabla V \tag{4}$$

Combinando (1), (2), (3) y (4) resulta la ecuación que define la distribución de potencial eléctrico en el sistema:

$$\nabla^{\circ}([\sigma(T)]\nabla V) = 0 \quad (5)$$

La distribución de temperatura $T(x, y, z)$ del sistema está definida por medio de la ecuación de transferencia de calor por conducción:

$$\nabla^{\circ}([K]\nabla T) + \vec{q} = 0 \quad (6)$$

donde

$$[K(T)] = \begin{bmatrix} k_{xx}(T) & 0 & 0 \\ 0 & K_{yy}(T) & 0 \\ 0 & 0 & K_{zz}(T) \end{bmatrix} \quad (7)$$

es la matriz de la conductividad térmica con $K_{xx}=K_{yy}=K_{zz}$ y \vec{q} es la velocidad de generación de calor por unidad de volumen producida por efecto Joule. El programa de elementos finitos necesita las condiciones de contorno para resolver este conjunto de ecuaciones diferenciales. También, es exigida la condición de flujo de calor por convección dada por:

$$K \frac{\partial T}{\partial n} = h(T_s - T_{\infty}) \quad (8)$$

donde h es el coeficiente de transferencia de calor por convección, T_s es la temperatura de la superficie a la cual llega el flujo de calor por convección, T_{∞} es temperatura de la superficie que ejerce convección y n es un vector unitario normal a las dos superficies.

3. Resultados y discusión

Los resultados para las distribuciones de temperatura, potencial eléctrico y densidad de corriente en la celda y en su interior son muy similares a los obtenidos en [7]. En este estudio se enfoca en los resultados obtenidos en las barras de aluminio del booster y en la conexión del booster con V línea. El resultado para la distribución de temperatura a 350 kA para las barras de aluminio de retorno al booster se muestra en la Figura 3.

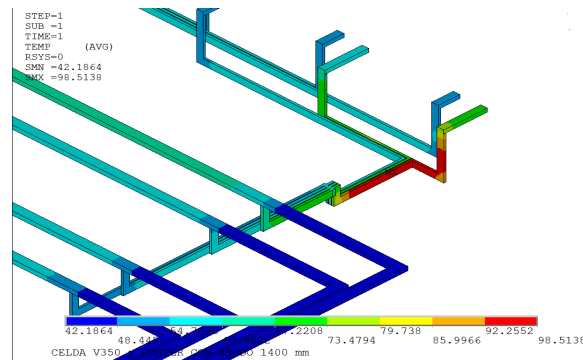


Figura 3. Resultado de la temperatura para 350 kA en las barras de retorno al booster.

Se obtuvo que para 350 kA en el tramo de retorno de corriente hacia booster una de las barras de aluminio alcanzó una temperatura de 98,5 °C, la cual excede bastante la temperatura máxima recomendada de 80 °C, por lo que queda claro que la sección de barra de 170 x 500 mm de aluminio no es la apropiada para estos niveles de corriente, incluso para una corriente de 320 kA, la temperatura de una de las barras de retorno excede los 80 °C, como se observa en la Tabla 1, la cual muestra las temperaturas máximas obtenidas en las barras de retorno para las corrientes de 320, 350 y 400 kA.

Tabla 1: Temperatura máxima en las barras retorno al booster en función del amperaje de la celda

Amperaje celda kA	Temperatura (°C)
320	88,9
350	98,5
400	117,2

Sin embargo, como la simulación es aproximada, sólo una celda en lugar de las cinco, es posible que el sobrecalentamiento sea consecuencia del mismo, y que el efecto del sobrecalentamiento sea atenuado por la conexión con las otras 4 celdas. Lamentablemente no se tiene reporte de temperatura en las barras conductoras de los booster durante la etapa experimental de las celdas V-350.

La causa del sobrecalentamiento fue estudiado analizando los resultados para la densidad de corriente en

las barras de retorno, como se muestra en la Figura 4.

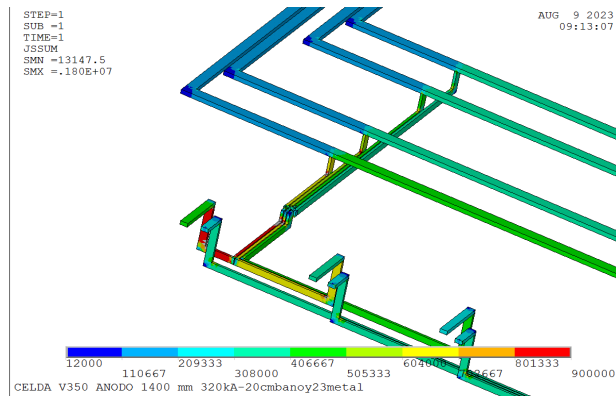


Figura 4. Resultado para la densidad de corriente en las barras de retorno al booster para 320 kA en la celda V-350.

Se observa que la barra que presenta mayor calentamiento se debe a que tiene mayor densidad de corriente (color rojo), aproximadamente 800000 A/m², la cual excede el límite superior recomendado de 0,5 A/mm² equivalente a 500000 A/m²; esto es posible si ella recibe más corriente que las otras tres. Para estudiar mejor esto, se hizo un acotamiento en sus valores límites de la densidad de corriente total las 4 barras que salen de la

celda V-350, lo cual se observa en la Figura 5. A 320kA se observó que la densidad de corriente en la primera barra, vista de izquierda a derecha, con color rojo, tiene valores de densidad de corriente comprendido entre (410000-420000) A/m², la segunda de color verde entre (380000-390000) A/m², la tercera de color azul turquesa entre (340000-350000) A/m², y la cuarta de color azul rey entre (330000-340000) A/m².

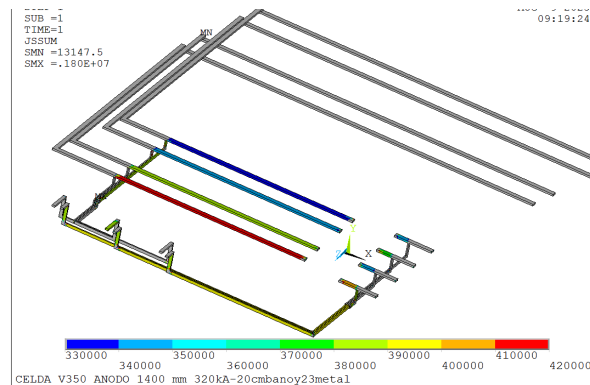


Figura 5. Resultado para la densidad de corriente en las barras que salen de la celda V-350 a 320 kA

Esto indica que la barra que se calienta más se debe a que recibe mayor corriente, proveniente de la barra 1 que sale de la celda. Buscando la causa de estas diferencias en la densidad de corriente, se estudió las den-

sidades de corriente o corrientes a la entrada de la celda proveniente de las 4 barras de V línea y de las tres barras del booster, como se observa en la Figura 6.

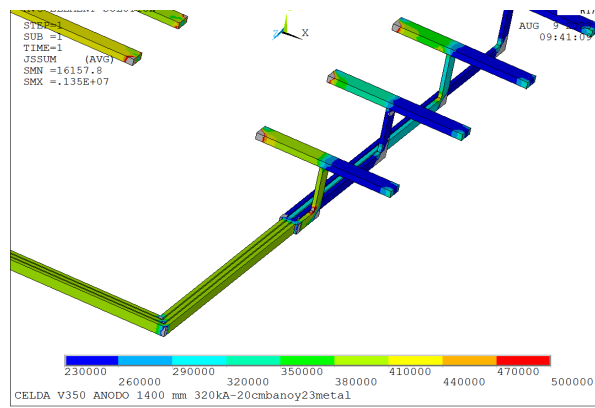


Figura 6. Resultado para la densidad de corriente en las 3 barras que salen del booster para la entrega de corriente a la celda V-350 a 320 kA

El resultado muestra que la corriente que le entregan las 4 barras de V línea a la celda V-350 es la misma, ya que su densidad de corriente es igual en todas las barras, color azul rey, con valores comprendidos entre 230000 y 260000 A/m². El área de estas barras tiene longitudes de 0,33 m de espesor y de ancho 0,655 m, es decir un área de 0,21615 m², lo que implica 55,5 kA por cada una de las 4 barras de V línea. También, se observa que la corriente que salen de las 3 barras conductoras del booster hacia la celda es la misma, porque su densidad de corriente y área de conducción es la misma, en efecto

la densidad está comprendida entre 380000 y 410000 A/m², y las longitudes de sus áreas son 0,5 m de alto y un espesor de 0,17 m.

Esto implica que cada barra del booster transporta una corriente de 32,67 kA, para un total de 98 kA. Pero, el problema se presenta en el empalme o divisor de corriente que se hace para unir estas tres corrientes del booster para transformarlas en las 4 que salen para sumarse con las 4 barras de V línea. Para observar mejor en la Figura 7 se muestra un acercamiento en la zona cercana al empalme booster con V línea.

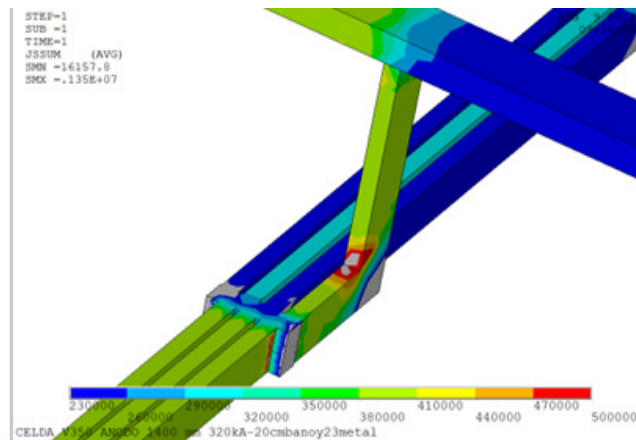


Figura 7. Resultado para la densidad de corriente en la unión eléctrica entre las 3 barras del booster con las 4 barras de V línea para la entrega de corriente a la celda V-350 a 320 kA

Se observa que después del empalme las barras tienen distintas densidades de corriente y al tener la misma área de conducción, 0,085 m², la corriente por las 4 barras será distinta. En consecuencia habrá distribución asimétrica de la corriente que entra por los 4 raiser agregando inestabilidad eléctrica y magnética a las celdas

V-350. La primera barra de color verde tiene corriente 32,64 kA, la segunda y la cuarta de color azul tiene una corriente de 19,975 kA y la tercera 25,5 kA para un total de 98,1 kA. En consecuencia, la corriente que entra a la celda a través de los 4 raiser se muestra en la Tabla 2.

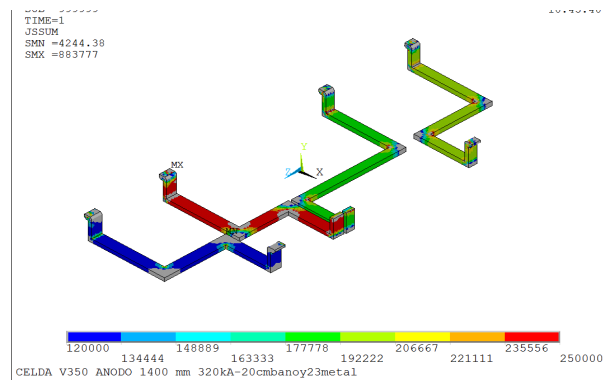
Tabla 2. Corriente a través de los raiser para 320 kA.

	V linea (kA)	boosters (kA)	Totales (kA)	Dif %
RAISER 1	55,5	32,6	88,1	0
RAISER 2	55,5	19,98	75,48	16,7
RAISER 3	55,5	25,5	81	8,8
RAISER 4	55,5	19,98	75,48	16,7
TOTALES	222	98,06	320,06	

La Tabla 2 muestra que la máxima diferencia de corriente está en el raiser 1 respecto al raiser 2 y 3, las cuales difieren en un 16,7 por ciento. Los resultados de las simulaciones para la densidad de corriente en función de los amperajes en la celda de 350 y 400kA mostraron, también, un comportamiento lineal. En consecuencia el sobrecalentamiento en la barra y la asimetría en la entrada de corriente por los 4 raiser aumentarán a medida que se aumente la corriente. Una nueva propuesta o modelo de conexión para distribuir las 3 corrientes que

salen del booster hacia los 4 raiser de la celda V-350 debe ser desarrollado para solucionar el problema de la asimetría en la corriente por los 4 raiser. Igualmente, debe corregirse las dimensiones de las barras de retorno hacia el booster para evitar su sobrecalentamiento.

Otra parte de esta investigación fue determinar bajo qué condiciones de trabajo se comporta mejor la celda V350. Es decir, cuando es más eficiente la celda: con y sin el booster. El resultado con el booster se observa en la Figura 8

**Figura 8. Resultado para la densidad de corriente en las 4 barras de compensación magnética para 320 kA con el uso del booster. Tomado de [5]**

Los resultados cuantitativos se muestran en la Tabla 3 en donde se tomaron los valores promedios de las densidades de corriente.

Tabla 3. Corriente y densidad de corriente de las 4 BCM cuando se usa el booster.

	J (A/m ²)	AREA (m ²)	I (A)
BCM1	194444,5	0,085	16527,8
BCM 2	265555,5	0,085	22572,2
BCM 3	203333,5	0,08	16266,7
BCM 4	212222,5	0,08	16977,8

Como se puede observar la BCM 2 soporta la mayor corriente, mientras las otras tres tienen una corriente

muy parecida. El resultado sin el booster se muestra en la Figura 9.

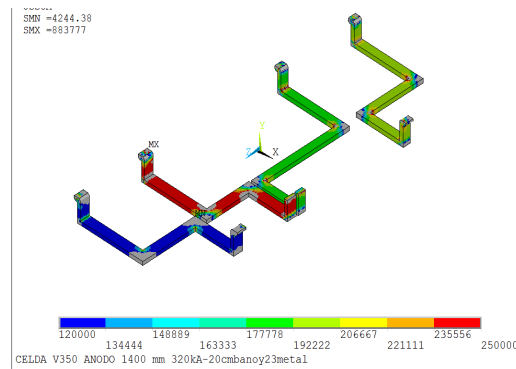


Figura 9. Resultado para la densidad de corriente en las 4 barras de compensación magnética para 320 kA sin el booster.

Se observa que la distribución de densidad de corriente no es la misma a con el booster. Los valores para las densidades y corrientes en las 4 BCM sin el booster se muestran en la Tabla 4.

Tabla 4. Valores numéricos para densidades y corrientes en las 4 BCM sin el uso del booster

	J (A/m ²)	área(m ²)	I (A)
BCM1	127222	0,085	10813,9
BCM 2	242778	0,085	20636,1
BCM3	185000	0,08	14800,0
BCM 4	196115	0,08	15689,2

Se muestra que el sistema booster tiene la facultad de variar la corriente que pasa por las 4 BCM alterando el sistema de compensación magnética

III. CONCLUSIONES

Se determinó que las secciones de barras conductoras DC de 170 x 500 mm del sistema booster no cumplen con los valores recomendados porque excede los valores de temperatura y densidades de corrientes recomendados.

El sistema de conexión booster con V línea que le suministra corriente a las celdas V-350 no le entrega la misma cantidad a cada uno de los 4 riser, lo cual implica una fuente de inestabilidad eléctrica a la celda.

El sistema de compensación magnético sin el booster debe ser distinto a cuando se use el booster.

Se recomienda aumentar las secciones de conducción de las barras que retornan al booster y cambiar la configuración de la conexión booster con V línea a fin de corregir la asimetría en las distribuciones de corrientes en los 4 riser.

REFERENCIAS

[1]A.R Kjar., J. Keniry and D. Severo, "Evolution of busbar desig for aluminum reduction cells". Available:h-

https://www.researchgate.net/publication/357578011_EVOLUTION_OF_BUSBAR_DESIGN_FOR_ALUMINIUM_REDUCTION_CELLS.

[2]O. Baisdem, " Estudio de la Influencia de las Corrientes del Booster en las Distribuciones Termoeléctricas de las Celdas V-350 Usando el Método de Elementos Finitos", Tesis de grado Departamento de Ingeniería Eléctrica, UNEXPO. Tutor Académico Francisco Rojas, Tutor Industrial Luis Salcedo, octubre 2023.

[3]ANSYS, Release 17.2, element Solid 226.

[4]M. Rodríguez, "Estudio del comportamiento termoeléctrico en las celdas V-350 de C.V.G VENALUM por medio del método de elementos finitos", Estudio de Pasantía Profesional en C.V.G VENALUM, Departamento de Ingeniería Eléctrica, UEXPO. Tutor académico Francisco Rojas, Tutor Industrial Aymara Maita, noviembre 2022.

[5]F. Rojas; A. Birrot; D. Requena; I. Malave, Propuestas de mejoras en el Sistema Anódico en Celdas Hal-230 de V línea de CVG VENALUM, Universidad, Ciencia y Tecnología, 56 (2010) 189-203.

[6]F. Rojas; A. Birrot; I. Malave, "Simulación de las Caídas de Potenciales en el Sistema Anódico Producidas por las Variaciones de Profundidad del Yugo en el Ánodo de un Celda de Reducción de Aluminio", Uni-

versidad, Ciencia y Tecnología, 43 (2007) 79-86.
[7]M. Rodríguez, “Determinación mediante simulaciones termoeléctricas del amperaje y las dimensiones de los bloques anódicos apropiados para mejorar la pro-

ducción de aluminio en las celdas V-350 de C.V.G VENALUM”, Tesis de Grado, Departamento de Ingeniería Eléctrica, UEXPO. Tutor académico Francisco Rojas, Tutor Industrial Aymara Maita, octubre 2023.

FORMULACIÓN MATEMÁTICA DEL CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA DESAGREGADA DEL RANGO DEL USO DE LOS DISPOSITIVOS ELÉCTRICOS DICTAMINADO EN LA AIE

Girón Villarroel Thamara.

<https://orcid.org/0000-0002-2193-9215>

thamara.giron@gmail.com

Universidad Nacional Experimental Politecnica "Antonio Jose de Sucre"
UNEXPO

Resumen: En este artículo se describe un modelo matemático que permite discriminar de los consumos energéticos, la conectividad para el uso de internet y desagregar del rango energético definido, aplicado por la Agencia Internacional de la Energía (AIE), a fin de determinar el índice de los consumos de energía asociados al uso de electrodoméstico y servicios, ya que esto incide sobre los proveedores de búsqueda, el ritmo de vida del usuario y la época del año, búsqueda de la climatización de los ambientes para el confort de los usuarios, tal como sucede en los cambios estacionales, y su asociación con el consumo energético que se incrementa, para lo cual se ha diseñado un modelo matemático de consumo energético de los dispositivos conectados a internet basado en la interacción hombre-máquina. Los valores que se obtienen con el modelo matemático desarrollado son suficientemente robustos para el uso de internet con un error 3 %, sin embargo demuestra que la energía relacionada con la conectividad precipita necesita un 50% más de energía incrementando el valor energía precipita para garantizar la conectividad. Significado del valor global para cubrir esta necesidad.

Palabras Clave: Entropía social, consumo energético; Internet, interacción Hombre-Máquina.

MATHEMATICAL FORMULATION OF ELECTRICAL ENERGY CONSUMPTION DISAGGREGATED FROM THE RANGE OF USE OF ELECTRICAL DEVICES DICTATED BY THE IEA

Abstract: This article presents a mathematical model that can differentiate between the energy consumption of various devices used for internet access. It also helps to break down the energy range specified by the International Energy Agency (IEA) so as to determine the energy consumed by household appliances and services. This information is crucial for search providers, as it reveals the energy consumption patterns of users based on their lifestyles, seasonal changes, and use of air conditioning. The model is based on an algorithm that analyzes the energy consumption patterns of devices connected to the internet and their interactions with humans.

Keywords: Social entropy, energy consumption; Internet, Human-Machine interaction.



I. INTRODUCCIÓN

El consumo de energía eléctrica es la energía más relevante en la vida moderna, este es y será un tema de preocupación en los próximos años por el auge de la interconexión de las redes, el impacto ambiental y los costos asociados que se generan. Desde el 2020, este consumo energético ha aumentado significativamente debido a que ha llevado a un mayor uso de la tecnología para el trabajo remoto, la educación en línea y el entretenimiento en el hogar, para informarse, comunicarse, administración y otros. El mayor consumidor de energía de Internet son los centros de datos, refrigeración de los servidores y el uso de dispositivos electrónicos. Un informe de la Agencia Internacional de Energía (AIE), considera que deben ser controladas estas tendencias para evitar un aumento desmedido en el consumo de energía. Según la AIE, los centros de datos consumen alrededor del 1% de la energía mundial y se espera que este número aumente en el futuro. Sin embargo, para esta publicación no se ha encontrado un modelo energético que interrelacione la entropía social con la energía eléctrica precipita para determinar los consumos y la huella de carbono

En este trabajo, se presenta una formulación matemática modelo que permite analizar y desagregar los consumos de los dispositivos utilizados para acceder a Internet, y cuyo objetivo es determinar los consumos de energía asociados al uso de electrodomésticos y servicios relacionados, considerando factores como el ritmo de vida del usuario o entropía social la época del año y la climatización de los ambientes para el confort de los usuarios. Este modelo tiene en cuenta el rango energético definido y aplicado por la Agencia Internacional de la Energía (AIE). Además, se ha diseñado un algoritmo basado en la interacción hombre-máquina para analizar el patrón de consumo energético de los dispositivos conectados a Internet y su transformación en huella de carbono.

Por lo tanto, este modelo se enfoca en la energía de internet y en el comportamiento del usuario asociado a la entropía social utilizada en los domicilios, servicios y por su parte la economía personal, por la interacción al enviar y/o recibir mensajes-correos, descargar videos, imágenes, entre otras acciones. Considerando la huella de carbono, energía, la entropía social y comunicación consumida, se consideran aspectos como Uber, delivery incorporándose en el concepto de GPS, así mismo el modelo considera aspectos como confort, IP compras online. El propósito es estimar los índices de consumo eléctrico de internet desagregados del rango del uso de los dispositivos eléctricos dictaminado en la AIE para el índice de consumo de internet como la huella de carbono

no particular o social.

A continuación, se presenta introducción, desarrollo (Definición del modelo), metodología (metodología experimental del modelo, Demanda De Energía Y Huella De Carbono Del Uso De Internet, Velocidad de conexión a redes, Dispositivos conectados a internet, Variables energéticas consideradas, La actividad del usuario, Ambiente de Confort), resultados con su discusión, las conclusiones, reconocimiento y las referencias bibliográficas.

II. DESARROLLO

En esta sección se describe la formulación matemática del modelo que permite analizar y desagregar los consumos de los dispositivos utilizados para acceder a Internet.

A. Definición del modelo

Este modelo se basa en la identificación de consumos de energía causados por el sistema entrópico del usuario, desde que este interactúa con los diferentes tipos de dispositivos electrónicos para hacer funcionar la maquinaria web, la cual se encuentra sustentada en la 2da. Ley termodinámica [1]. Para el desarrollo del modelo presentado, se utilizó la estructura conceptual de una pirámide de indicadores, que presenta una jerarquía de indicadores energéticos del método de la aproximación de la AIE, ya que no se ha contabilizado en la forma de indicador para deslindarse de la nube, en la categoría del consumo de electrodomésticos o servicio representado en el nivel 3 AIE [2], [3], [4].

En este modelo el consumo de energía eléctrica del internet se produce especialmente durante la interacción Hombre-Máquina o dispositivo. Cuando el usuario interactúa con los dispositivos portátiles tales como: Laptop, Tablet, teléfonos inteligentes o smartphone, videojuego y pantalla TV, que soportan diferentes configuraciones y funcionalidades como las funciones del dispositivo y servicios, para la información/comunicación/administración, tales como: enviar y/o recibir mensajes-correos, descargar: videos, fotos, imágenes, archivos, entre otras acciones; apoyado por un ambiente computacional encargados de gestionar las comunicaciones en una red como módem, router, wifi, cargador, Stand By y las personas que se conectan para utilizarla llamada ambiente del usuario donde considera los datos ingresando de su perfil: actividad, edad y género. Se considera la cantidad de energía térmica que generan los dispositivos fuera de la frontera del sistema y la entropía social Ver figura 1.

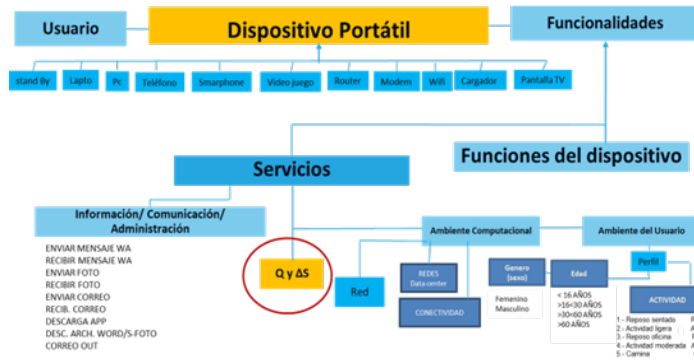


Figura 1. Diagrama del consumo de energía Fuente: Autor

Este modelo contiene las variables que inciden directamente en el consumo de energía eléctrica de Internet, estas son calculadas para luego ser relacionadas a través del análisis de regresión múltiple para explicar la relación de una serie de variables independientes o explicativas, como pueden ser las variables de consumo y de entropía.

$$Y = f(x) \quad (1)$$

En la ecuación (1), la variable de respuesta o dependiente Y, serían los consumos de energía eléctrica en Watt y en Byte y la entropía, para el conjunto de variables independientes X (Montgomery, 2002).

III.METODOLOGÍA

Para el modelo desarrollado se tomó las relaciones termodinámicas y cinéticas de las relaciones incrementales, contemplando la aplicación de: Segunda ley de la termodinámica [1], considerando los datos de las variables de consumo energético promediadas.

B.Metodología experimental del modelo

La metodología se fundamenta en la lógica piramidal para Determinar y Analizar y Métodos (pirámide de DAM) [5], iniciándose desde la base (variables y parámetros asumidos), siguiendo con las leyes y principios termodinámicos y cinético, la formulación de ecuaciones, la relación incremental de los efectos calculados, la validación de los resultados y su aplicación a la realidad (Relación Hombre-Máquina). Para definir la configuración base, fue necesario analizar los patrones de velocidad de redes, dispositivos eléctricos indispensables para el uso de internet, cantidad de personas conectadas, actividad física del usuario, el registro de la temperatura tanto externa o interna para medir el confort, entropía social. También se induce la intensificación de los vientos alisios del volumen de control estudiado.

Para fines de definición del modelo, se visualizan las

siguientes consideraciones dentro de la entropía social [6]:

C.Demanda De Energía Y Huella De Carbono Del Uso De Internet

Alex Wissner-Gross [7], investigador de la universidad de Harvard (USA), ha asegurado que una búsqueda estándar en Google por ejemplo, produce 7 gramos de CO₂. Según este investigador, cada segundo de conexión a internet genera 0,02 gramos de CO₂. Puede que no parezca una gran cantidad y solo toma sentido cuando se consideran la cantidad de conexiones a nivel mundial, y el tiempo de relación hombre- máquina que los usuarios dedican al uso de internet, el cual dependerá de las actividades, habilidades, intereses y edad de los usuarios y de su grado de confort al conectarse. [7], [8], [9]

Por otra parte, también se ha estimado que el consumo de información expresado en bytes tiene una expresión energética de consumo de 4 vatios [10]. Por lo tanto es posible, que visualizando a la internet desde la perspectiva del caos [11] basados en el tiempo de conexión, se pueda determinar con cierto grado de confianza su consumo o gasto energético y se pueda expresar consumo de energía y por ende en huella de carbono, cuando se considera la participación de los usuarios en la huella de carbono con su caótica procura de información de todo tipo, dependiendo de sus características y actividad, tipo y preferencia de equipo, genotipo, edad, grado de instrucción tomando como base y definido por el llamado IPC y por último su orientación de uso.

D.Velocidad de conexión a redes

Se considera en el modelo el tipo de red o velocidad de conexión y el número N.^o total de la red. Figura 2

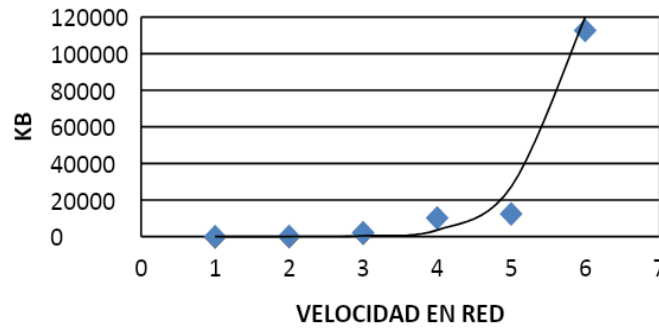


Fig. 2. Velocidad de la red Fuente: Autor

Estos parámetros se consideran para efectos de los cálculos de este modelo matemático

E. Dispositivos conectados a internet

Se refiere a dispositivos eléctricos utilizados para una conectividad de modo lo que conlleva a la comunicación entre el hombre- máquina, considerados para este modelo, tales como: PC, Impresora, Pantalla/TV, Tablet, Laptop, Teléfono, Video juego, Router, Modem, Wifi, Audio, Cargador, Stand By, Smartphone,

conexión.

F. Variables energéticas consideradas

Se presentan todos los parámetros eléctricos considerados como variables en el modelo como son: Número de la cantidad de dispositivos utilizados (N^a), los datos periféricos de los equipos: Voltios, Amperaje, Voltaje, Tiempo de uso: Minutos de Carga y Minutos de Conexión, ver tabla 2.

Tabla 2. Dispositivos portátiles Fuente: Autor

Nº	Vatios (W)	Amperaje (A)	Voltaje (V)	Minutos carga	Minutos conexión
----	------------	--------------	-------------	---------------	------------------

G. Comportamiento del Usuario

En esta sección se relaciona la cantidad de personas conectadas, agrupados en diferentes variables tales como: a. Número de Personas, b. Edad: Se contabiliza la cantidad de personas involucradas en el volumen de control agrupadas por edades comprendidas entre: >16 años, >16<30 años, >30<60 años y >60 años, c. Género, d. Escolaridad.

H. La actividad del usuario

Para este modelo se consideró la clasificación de la actividad física, establecido por el método de estimación de la composición corporal: normas prácticas de utilización, la norma MET [12]. El calor generado por un ser humano promedio, su tipo de actividad genérica (1.- Reposo sentado, 2.- Actividad ligera, 3.- Reposo oficina 4.- Actividad moderada, 5.- Corriendo en plano) y su confort para usar la internet, independientemente del tipo de dispositivo, ver tabla 3.

Tabla 3. Actividad del usuario Fuente: Autor

Actividad	Reposo sentado	Actividad ligera	Actividad ligera	Actividad Moderada	Camina
Número	2	3	4	5	6

I. Ambiente de Confort

El modelo utiliza el registro de la temperatura que rodea al usuario: para sitios cerrados y para los ambientes abiertos. Si la temperatura exterior (Te) es menos de 15 o mayor de 30 °C, la temperatura interior (Ti) es de 24 °C. Utilizando la ecuación 2.

El modelo también puede simular el efecto ambiental sobre la actividad humana, sobre todo en las latitudes con estaciones, las cuales inciden sobre el tipo de actividad y lugar como por ejemplo en el invierno, sería preferible trabajar desde la casa en donde la actividad sería pasiva pero más intensa en uso de los dispositivos, con efecto similar en un verano fuerte. Entonces incluyendo el efecto de la temperatura, esta tendencia se puede expresar matemática con la ecuación

$$\Delta T = T_e - T_i \tag{2}$$

ción mostrada en la parte superior de la figura 3.

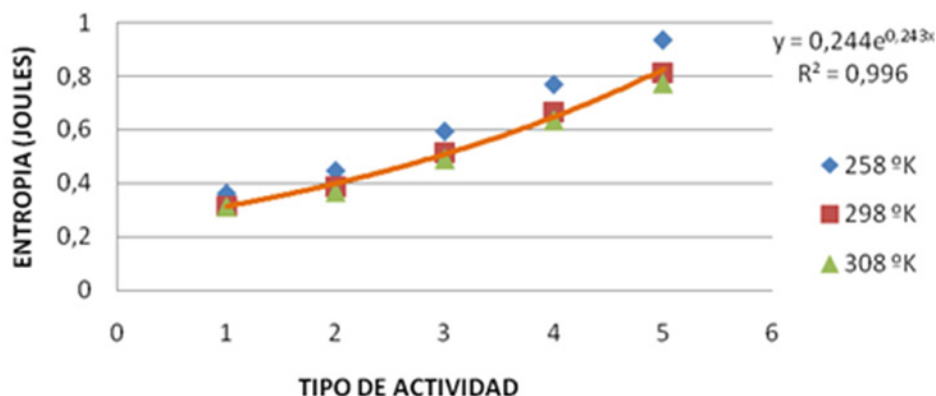


Fig. 3.- Variación de la entropía según el tipo de actividad del usuario. Fuente: Autor

J. Entropía Social

Rama de la física, la termodinámica, la Ley de la Entropía, y las leyes de la mecánica newtoniana. La premisa física “el calor se mueve siempre por sí mismo sólo en una única dirección, desde el cuerpo más caliente hacia el más frío.” [6] de la epistemología mecanicista en la física. El concepto de entropía ha penetrado incluso en campos en los que no hay espacio alguno para el análisis combinatorio y, en consecuencia, para W ; esto se debe al hecho de que la más popular definición del concepto como una «medida» de la cantidad de información viene dada por una transformación especial de (1). La definición es:

$$E = - \sum f \log \quad (3)$$

donde $t > 0$ para cada i , $t = 1$.

Si asumimos la fórmula (3) como definición formal de la entropía, podríamos trasladar este concepto a cualquier situación con la que pudiese asociarse a W de uno u otro modo.

La entropía social NORMA UNE-UN-EN ISO 7730, [13], [14], [15], considerada como el proceso termodinámico que lleva al desorden o caos en una sociedad, se aplica al manejo, suministros y uso de bienes, servicios sociales, disponible en la información organizada cuya interacción depende del tiempo de respuesta en la demanda de información y servicios, “en la actualidad solo podemos ver en la conducta social un fenómeno repetitivo” [16]. En resumen, a menor entropía, mayor organización estandarizada, menor capacidad de adaptación a los cambios.

Con la teoría de Shannon (1948) [14], es posible

encontrar una forma de medir la cantidad de información que es una forma de entropía. Si se tiene la serie aleatoria x con N estados posibles $\{X_1, X_2, X_3, \dots, X_n\}$ cada uno de los cuales tiene una probabilidad $\{p_1, p_2, p_3, \dots, p_n\}$ con la condición expresada en la ecuación 4.

$$\sum_{i=1}^N p_i = 1 \quad p_i \neq 0 \forall i \quad (4)$$

Dónde: P_i = probabilidades, N = número de posibilidades

También se puede calcular las probabilidades en base a las frecuencias de aparición para cada una de las entradas IP destino, tamaño del paquete y puerto destino, ver ecuación 5.

$$p(x_i) = \frac{\text{paquete } xi \text{ con IP destino}}{\text{total de paquetes}} \quad (5)$$

K. Teoría de la información

La expresión general para la cantidad de información y que corresponde a una sucesión de eventos que tienen diferentes valores de probabilidades de realización, fue planteada por Shannon [14]. La cantidad de información y la entropía se fundamentan en la teoría clásica que los sistematiza. Shannon (Shannon, 1948) [14]. Ver ecuación 6:

$$H = \sum_{i=0}^n \frac{p_i \ln(p_i)}{\ln N} \quad (6)$$

L. H: cantidad de información.

La cantidad de información desarrollada en el área de las comunicaciones, para medir el grado de desor-

den o entropía de un sistema. En este caso particular de calcular la entropía de una serie de números supuestos aleatorios, H tendrá un valor cercano a 1, indicando que cada estado es equipo probable.

$$\Delta S_{AB} = S_B - S_A > \int_{Airrev}^B \frac{\delta Q_1}{T} \tag{7}$$

Dónde: Q = calor, A irrev = Gasto de energía humana para manejo de la interacción hombre máquina, B = Gasto diario de bytes, T (°K) = Temperatura ambiental. Si la temperatura exterior es <15 °C o >30 °C, se recomienda utilizar la temperatura interior de 24 °C (298°k). El calor generado por un ser humano promedio, su tipo de actividad genérica y su confort para usar la internet, independientemente del tipo de dispositivo.

Tal que:

$$Q: \Sigma(Qg + Qp + Qconex) \tag{8}$$

$$Q_{portatiles}: \Sigma(N^\circ Apart + N^\circ Carg + N^\circ Ract + N^\circ Sb) N^\circ pers \tag{9}$$

$$Q_{Conex}: f(Aplic) \tag{10}$$

IV.RESULTADOS

Una vez determinada la arquitectura matemática de este modelo, lo desarrollaremos en el siguiente caso de estudio de estudio

A.Caso de Aplicación:

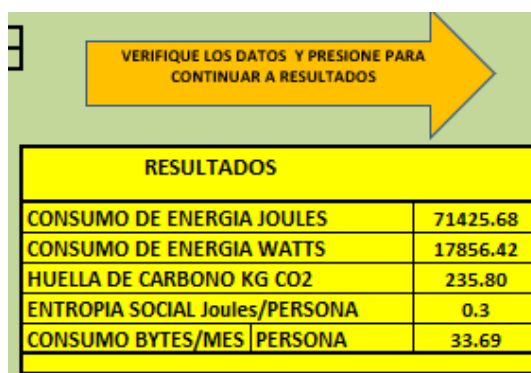
Al haber presentado los parámetros necesarios del estudio para analizar el consumo de Internet, se decidió realizar el estudio en un hogar promedio de España, como fuente de datos, como se muestra en la figura 4.

DATOS															
EDAD	26	36	46	56	TOTAL RED 6										
	2	3	4	5	14										
TIPO	PC	IMPRESORA	PANTALLA/TV	TABLET	LAP TOP	TELEFONO	VIDEO JUEGO	ROUTER	MODEM	WIFI	AUDIO	CARGADOR	STAND BT	SMARTPHONE	
	6	1	1	5	4										
TIPOS	240	220	186	5	0.02	0.02	0.14	24	12	0.02		5.26	0.07		
OPERAJE	24	2.4	0.02	2							0.06				
ALTAJE			0.5												
MOTOS CARGA															
MOTOS CONEXIÓN															
USUARIO	N° PERSONAS	EDAD	MASCULINO	FEMENINO	<16 AÑOS	>16-24 AÑOS	<24-44	>44 AÑOS	ESCOLARIDAD						
	1	45	1												
ACTIVIDAD USUARIO	REPOSO SENTADO	ACTIVIDAD LIGERA	OFICINA/AULA	ACTIVIDAD MODERAD	CAMINA LIGERO	EPOSO SENTAD	ACTIVIDAD LIGEL	OFICINA/AULA	CTIV.MODERAD	CAMINA					
ELECCIÓN 2 AL 4	0	0	4	0	0	2	3	4	5	6					
	INTERIOR	MAXIMA EXTERIOR	MINIMA EXTERIOR	TOTAL ACTIVIDAD	4										
TEMPERATURA °C	24	32													
	ENVIAR MENSAJE WA	RECIBIR MENSAJE WA	ENVIAR FOTO	RECIBIR FOTO	ENVIAR CORREO	RECIB. CORREO	DESCARGA APIC.	ARCH. WORD/5-T	CORREO OUT						
	100	35	22	40	20	1	4	1	1						
	VISITA WEB	PÓCAS IMAG.	DESC. CANCION	REP. VIDEO	GPS/Km										
	1	1	1	100											
RELACIONES	REDES SOC.	INFORMACION GRAL.	TURISMO	WHATSAPP	LLAMADAS WAPP	TELEFONO	COMPRA	CORREO IN	CORREO OUT	BANKIN					
				100	5										
MEZIÓN MIN	BAJA FOTOS	BAJA MUSICA	BAJA VIDEOS												
				SEG											
MEZIÓN MIN				TOTAL SEG. CONEC											

Fig.4.- Página inicial de ingreso de datos al modelo matemático desarrollado Fuente Autor

Este modelo también se complementa con las estadísticas asociadas a la regresión múltiple, tales como el consumo de los dispositivos, consumos y adicionalmente contempla los consumos en huella de carbono de las diferentes aplicaciones que utiliza el usuario,

como utilizando los índices de Google que equivalen a 7 gr CO2 por búsquedas y 0,02 por cada segundo de búsqueda. En la figura 5, se muestra los resultados efectuados por de la aplicación del modelo matemático desarrollado



RESULTADOS	
CONSUMO DE ENERGIA JOULES	71425.68
CONSUMO DE ENERGIA WATTS	17856.42
HUELLA DE CARBONO KG CO2	235.80
ENTROPIA SOCIAL Joules/PERSONA	0.3
CONSUMO BYTES/MES PERSONA	33.69

Fig.5.-. Resultados del modelo matemático, Fuente; Autor

B. Validación de resultados

En esta sección se procede a comparar los datos con los valores matemáticos, se comparan los datos estadísticos de los consumos de internet, velocidad de conexión y de electricidad mundial, y promedio de un hogar

de España, utilizado como fuente de datos registrados en el año 2022. [17]. En la tabla 4, se presentan los datos recopilados de la web del año 2022, es posible establecer el consumo energía per cápita por la interacción hombre máquina

Tabla 4. Consumo básico Mundial de Internet, años 2022 Fuente: Autor

Millones de usuarios	(Zetabytes)	Tiempo de conexión (min)	Gb/ usuario	W/usuario
4950	40	123	3	12

Para estimar el consumo de internet en vatios por grupos sociales, se considera un grupo familiar promedio de un hogar de España (2 adultos, 2 niños), el cual incluye además de los consumos energéticos para el ambiente interno, conjuntamente con los electrodomésticos mayores incluidos que representan el 61,87%, incluye como nevera, refrigerador, secadora, cocinas eléctrica- Por otra parte, se incluyen los electrodomésticos pequeños, asumiendo tales como: standby, computadoras, artefactos pequeños, que es el segmento de energía para establecer el índice del uso de internet en el hogar, el consumo de energía de estos últimos como se muestran en la tabla 6. Asumiendo que, de un consumo global, el objetivo es determinar el consumo de energía

e identificarlo como uso impactante

Para la determinación de este índice IWI se utiliza las siguientes relaciones matemáticas, consumo de electrodomésticos mayores

$$IWM = \frac{(\text{Valor Consumo calculador})}{(\% \text{Valor Consumo})} \quad (7)$$

Para la estimación de la energía relacionada a internet IWI, se utiliza la ecuación (8)

$$IWI = \frac{(Kw \text{ Consumo calculador})}{\text{Electrodomesticos Pequeños (KW)}} \quad (8)$$

Donde: (%Kw) totales= consumo total por hogar

Tabla 6. Consumos Promedio de un hogar de España Año 2022

Total KWh ED	ED pequeños Ec(7)	Conexión (min)	Interfases (KW/h)	W/usuario Ec (8)
179,84	74,1	131	40,49	18,52

Fuente: Autor, tomando referencias de datos Internet, digital, redes sociales y social media mundial 2022 (DATOS) (yiminshum.com) [18]

B. Validación de resultados

El consumo de energía eléctrica de un hogar promedio se mide en vatios-hora (Wh) o kilovatios-hora

(kWh). Un kilovatio equivale a 1000 vatios. Para determinar la energía consumida, multiplicamos la potencia del dispositivo (en vatios) por el tiempo (en horas) du-

rante el cual estuvo funcionando: $E = P * t$. Donde: E es la energía consumida en vatios-hora. P es la potencia en vatios. t es el tiempo en horas 1.

C. Análisis de los resultados

Para el análisis de los consumos de energía obtenidos con la aplicación del modelo desarrollado y el cálculo estadístico corresponden a valores per cápita 17 KW, 18 kW obtenidos en las tablas (5 y 6) respectivamente, presentan una diferencia de un 3%. Esta diferencia se asume como errores de los métodos de cálculos y los métodos estadísticos aplicados, lo cual se considera una diferencia aceptable.

Sin embargo los valores presentan una diferencia de un 30% más en el consumo totales, en el valor de 12 del individuo con su equipo y la diferencia de 6 w se considera a la conexión asociadas: tiempo de uso, tiempo de carga

V. CONCLUSIONES

El modelo matemático discriminado considerando todos los elementos asociados al individuo indican una lógica coherente en la interacción Hombre-Máquina h-m. Un individuo consume tanto con el uso del dispositivo y la conectividad -definida- como con su entorno de confort, uso de aplicaciones.

Se basa en la interacción hombre-máquina y permite determinar un índice de los consumos de energía asociados al uso de electrodomésticos y servicios. Este índice es importante ya que incide sobre los proveedores de búsqueda, el ritmo de vida del usuario y la época del año.

Este modelo permite la búsqueda de la climatización de los ambientes para el confort de los usuarios, tal como sucede en los cambios estacionales, y su asociación con el consumo energético que se incrementa.

RECONOCIMIENTO

Agradecimientos del autor al Dr. Oscar Dam, por su apoyo incondicional, revisión crítica del manuscrito y sus sugerencias para mejorar. A la XX Jornadas de Investigación 2023 y IV Congreso de Investigación, Ciencia y Tecnología por brindar la oportunidad de presentar los hallazgos y recibir comentarios valiosos, además de su organización impecable y su contribución a la difusión de la investigación científica.

REFERENCIAS

- [1]M. R. Jorge, Termodinámica: Diapositivas Sobre la Unidad de Competencia III".
[2]D. O. P. Mayorga, Mayorga, Daniel Olmedes Panto-

ja. "Aproximación conceptual acerca de las dinámicas de consumo y su papel en la construcción de la individualidad. Una breve mirada a la clase media, representada en los estratos tres y cuatro, en la ciudad de Bogotá, 2015.

- [3]P. F. J. Guamán y J. B. Cabrera Mejía, «Sistema de monitoreo remoto del consumo energético para hogares en la ciudad de Cuenca, basado en principios de IoT y servicios en la nube.» Polo del conocimiento: Revista científico-profesional, vol. 5, n° 1, pp. 443-458, 2020.
[4]Sech-Spahousec, «Proyecto. "Análisis del consumo energético del sector residencial en España.» Informe Final, Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía, España, 2011.
[5]O. Dam, «Toma de Decisiones en Ciencias e Ingeniería.» de III Congreso Latinoamericano de Ciencias, Tecnología e Innovación, Quito, Ecuador, 2020.
[6]N. Georgescu-Roegen, J. M. Naredo y J. Grinevald, La ley de la entropía y el proceso económico, Madrid: Fundación Argentaria, 1996.
[7]Z. D. Wissner-Gross, Symmetry breaking in neuronal development, Tesis Doctoral: Harvard University, 2012.
[8]D. Monroe, «Model Suggests Link between Intelligence and Entropy.» Physics, vol. 6, p. 46, 2013.
[9]Techno, «Sun noticias, Techno Sun en español.» Ambientum.com, 2022.
[10]J. J. León Soberón, «Análisis comparativo de sistemas gestores de bases de datos postgresql y mysql en procesos crud.» 2020.
[11]P. Cazau, «La teoría del caos.» 1995. [En línea]. Available: URL: http://galeon.com/pcazau/artfis_caos.htm. [Último acceso: 26 9 2023].
[12]J. R. Alvero-Cruz, I. C. Gómez, M. Ronconi, R. F. Vázquez y J. P. Manzanido, «La bioimpedancia eléctrica como método de estimación de la composición corporal: normas prácticas de utilización.» Revista Andaluza de medicina del deporte, vol. 4, n° 4, pp. 167-174, 2011.
[13]N. LUHMANN, Social systems, Stanford: University Press, 1995.
[14] C. E. SHANNON, A mathematical theory of communication, Bell System Technical Journal, jul./out, 1948.
[15]V. M. Netto, «Cidade e entropia social.» de Qualidade lugar e cultura contemporânea: modos de ser e habitar as cidades, Porto Alegre:, Sulina, 2016, pp. 116-143.
[16]C. Geertz, Conocimiento local, Paidós, 2001.
[17]O. Bover, L. Crespo y S. García-Urbe, «El endeudamiento de los hogares en la Encuesta Financiera de las Familias y en la Central de Información de Riesgos:

un análisis comparativo,» Existe una versión en inglés con el mismo número, 2022.

[18]M. Y. Shum, «Internet, digital, redes sociales y social media mundial 2021,» 2021.

[19]Y. M. ZAMORA, «Modelación del efecto de la variación climática en el balance hídrico en dos cuencas

(México y Cuba) bajo un escenario de cambio climático,» México, 2018.

en el año 2022. [17]. En la tabla 4, se presentan los datos recopilados de la web del año 2022, es posible establecer el consumo energía per cápita por la interacción hombre máquina

INFLUENCIAS DE LOS INSERTOS DE COBRE EN LAS BARRAS COLECTORAS CATÓDICAS EN LA PRODUCCIÓN Y LA EFICIENCIA ELÉCTRICA DE LAS CELDAS DE REDUCCIÓN DE ALUMINIO DE C.V.G VENALUM

Jessica Arcila, Rojas Francisco, Angel Birrot, Edris Lyon y Aymara Maita.
arcila140@gmail.com, fjrojas@unexpo.edu.ve, Ange.Birrot@venalum.com.ve ,
edris.lyon@venalum.com.ve Aymara.Maita@venalum.com.ve
Puerto Ordaz, Venezuela

Resumen: En esta investigación se estudió la influencia de los insertos de cobre en las barras colectoras de acero de las celdas de reducción de aluminio HAL-230 de CVG VENALUM en su eficiencia eléctrica. Se usaron 3 modelos de insertos con la técnica de elementos finitos. Las simulaciones termoeléctricas mostraron una caída potencial eléctrica en la celda por el uso de todos los insertos y una reducción de las corrientes horizontales en la interfaz metalbaño, lo cual implica una mejoría significativa en el rendimiento de las celdas.

Palabras Clave: Celdas reducción aluminio, eficiencia eléctrica, Insertos cobre, Simulaciones termoeléctricas.

MATHEMATICAL FORMULATION OF ELECTRICAL ENERGY CONSUMPTION DISAGGREGATED FROM THE RANGE OF USE OF ELECTRICAL DEVICES DICTATED BY THE IEA

Abstract: This article presents a mathematical model that can differentiate between the energy consumption of various devices used for internet access. It also helps to break down the energy range specified by the International Energy Agency (IEA) so as to determine the energy consumed by household appliances and services. This information is crucial for search providers, as it reveals the energy consumption patterns of users based on their lifestyles, seasonal changes, and use of air conditioning. The model is based on an algorithm that analyzes the energy consumption patterns of devices connected to the internet and their interactions with humans.

Keywords: Social entropy, energy consumption; Internet, Human-Machine interaction.



I. INTRODUCCIÓN

El proceso para producir aluminio mediante celdas de reducción de aluminio (CRA) en complejos industriales demanda el uso de grandes cantidades de energía eléctrica. El costo de la energía es de alrededor del 40% del costo total de producción de aluminio. El consumo de energía eléctrica diario de una celda Hal-230 de V línea de C.V.G VENALUM, que opera actualmente con un amperaje de 220 kA y una caída de potencial eléctrico de 4,6 voltios, es de 24288 kWh. Si todas las 180 celdas de V línea de C.V.G VENALUM estuvieran operativas implicarían un consumo mensual de 131155 MWh, lo que equivale al consumo mensual de más de 218000 hogares a razón de 600 kWh mensual. Un ahorro aparentemente pequeño de 50 mV en cada una de

estas 180 celdas implicaría un ahorro en el consumo mensual de 1426 MWh. La distribución de voltajes típica para la celda de reducción de aluminio, como CVG Venalum, se muestra en la Figura 1, [1].

La energía necesaria para producir el aluminio proviene del flujo de corriente eléctrica directa, CD, que entra a las CRA a través de las varillas anódicas, pasando luego al bloque anódico, baño electrolítico, aluminio primario producido y los bloques catódicos. En el interior de los bloques catódicos se encuentran las barras colectoras de acero, las cuales se encargan de recoger toda la corriente que luego va a ser transportada a la siguiente celda, la cual se encuentra en serie con sus celdas vecinas, por eso se les llama línea.

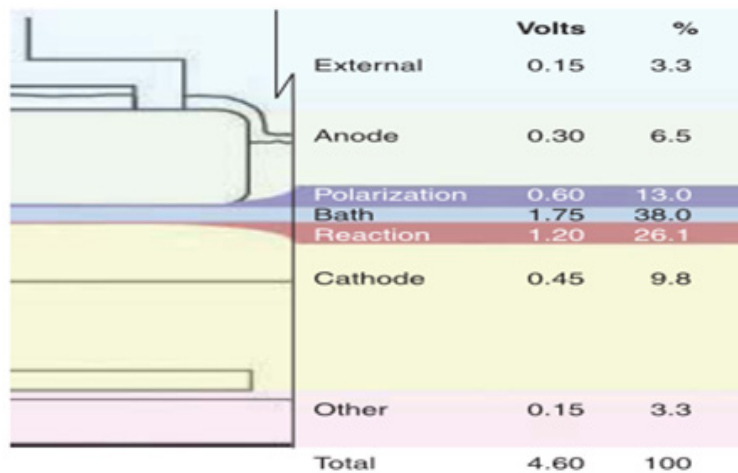


Figura 1. Caídas de potenciales eléctricos en una celda típica

Del total de la caída de voltaje de una celda 1,80 V aproximadamente se debe a las reacciones químicas y al fenómeno de polarización de las cargas eléctricas; y los 2,8 V restante se debe a caídas de voltaje por efectos resistivos o óhmicos, incluidos el incremento de las resistencias por contacto eléctrico entre los distintos ma-

teriales. La mayor fuente de caída de voltaje en la celda se presenta en baño electrolítico, o simplemente baño, en la distancia ánodo cátodo, DAC, la cual es la longitud vertical que va desde el área inferior del bloque anódico hasta interface metal baño, ver Figura 2, la cual es típicamente de 5 cm.

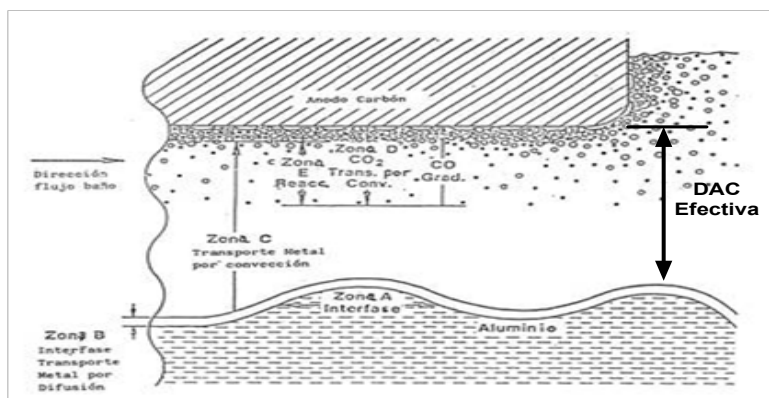
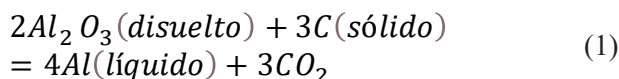


Figura 2. Zona de reacción química entre baño y la interfase. Tomado de [2].

En la reacción química del bloque del ánodo con el baño ocurre el desgaste de la superficie del bloque anódico, compuesto mayormente por Carbono, C, sólido, se produce liberación de energía en la presencia del oxígeno, O, de acuerdo a la reacción química [3]:



El oxígeno de la alúmina (Al_2O_3) se combina con el carbón (C) del bloque anódico para producir burbujas de dióxido de carbono, CO_2 , y el aluminio líquido, Al, que se produce, el cual se precipita al cátodo, a una temperatura de aproximadamente $960^\circ C$. La energía que se requiere en esta reacción es equivalente a una caída de potencial eléctrico de 1,20 voltios, ver Figura 1.

Se observa que la interfase metal baño no es plana es ondulada y con movimiento, fenómenos que están regidos por la fuerza magnética volumétrica en la zona, de acuerdo a la ecuación:

$$\vec{F} = \vec{J} \times \vec{B} \quad (2)$$

La corriente genera intensos campos magnéticos vectoriales, B, que interactúan con el vector densidad de corriente, J, que fluyen en el aluminio producido. Esta fuerza es en gran medida responsable del rendimiento productivo de la celda y su estabilidad eléctrica [4] y [5], que se identifica en términos operativos de la celda como variación de resistencia. Mientras más alta sea la amplitud del pico de la interfase metal baño menor será la longitud efectiva, DAC, y más inestable será la celda, lo que también afectará a su vida útil. El diseño de la celda debe buscar que el campo magnético

vertical, B_y , sea lo más pequeño posible para evitar las fuerzas magnéticas verticales en el metal. Para un campo magnético vertical dado, la reducción de las corrientes horizontales en el metal, J_x , J_z , hace posible reducir la altura del metal, reduciendo la pérdida de calor en la celda, y produce una oportunidad para bajar el voltaje de la celda [6] al disminuir la DAC, porque la interfase metal baño es más plana.

En esta investigación, por medio de la técnica de elementos finitos, estudiaremos el impacto de los insertos de cobre en las barras colectoras de acero para disminuir las corrientes en la superficie superior del metal líquido o interfase metal baño.

En la parte II de esta investigación se expone el modelo físico computacional de la celda y sus insertos de cobre, las ecuaciones termoeléctricas que usa el programa para resolver numéricamente el problema, la discusión de los resultados; y, finalmente en sección III se presentan las conclusiones.

II. METODOLOGÍA

1. El modelo computacional

La Figura 1 muestra el modelo computacional de la celda electrolítica HAL 230 de CVG VENALUM realizado con el programa de elementos finitos Ansys, ver Figura 3. El modelo tiene 18 materiales distintos y 1303 volúmenes. El elemento usado tiene dos grados de libertad: temperatura y potencial eléctrico (voltaje). Las propiedades como conductividad térmica y resistividad eléctrica de todos los materiales son las mismas usadas en [7].

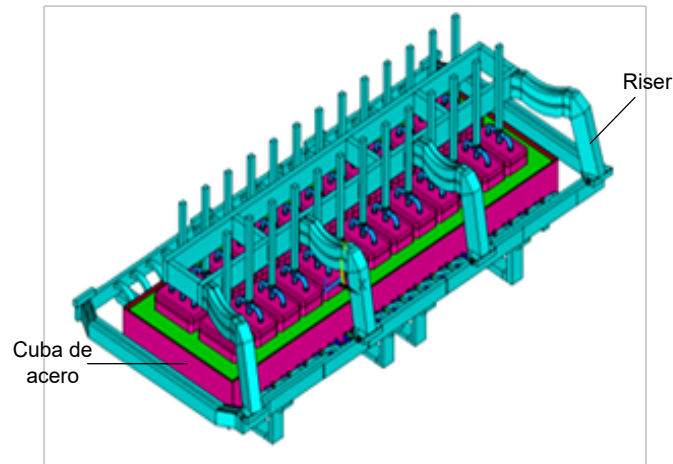


Figura 3. Modelo celda HAL 230

Un corte transversal de la celda del interior de la celda es mostrado en la Figura 4. El sistema bloque catódico de las celdas está formado por el bloque del cátodo en cuyo interior se encuentran las barras colectoras de

acero, ver Figura 5. En cada bloque del cátodo en sus 4 ranuras hay colocados 4 barras colectoras de acero, que son las responsables de recoger toda la corriente para transportarla a la celdas vecinas

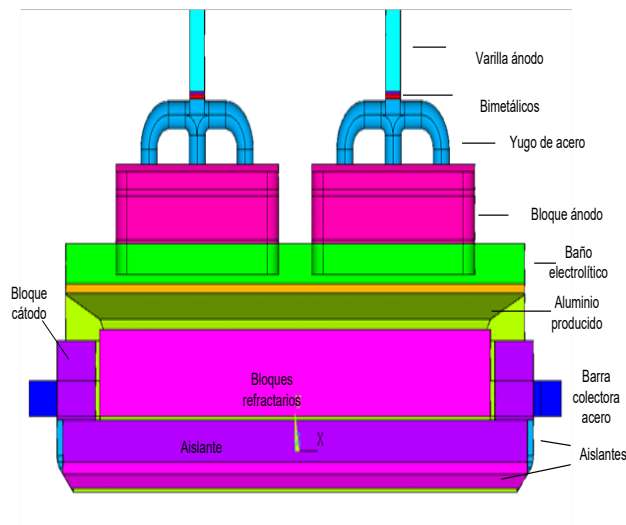


Figura 4. Corte transversal de la celda.

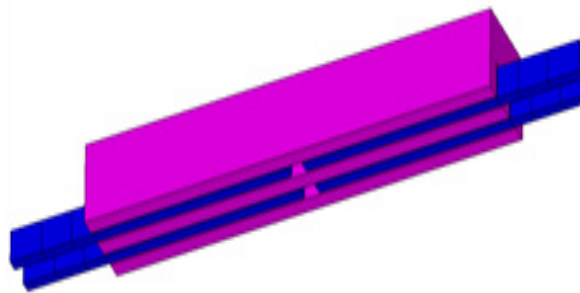


Figura 5. Modelo de un bloque del cátodo con sus 4 barras colectoras de acero.

El contacto entre el bloque y las barras colectoras se logra por medio de la pasta de contacto, la cual recubre el espacio vacío entre los dos materiales. Para esta investigación las barras colectoras de acero fueron insertadas con cobre. Desde las Figuras 6 hasta la 9 se muestran los cuatro diseños de barras colectoras. El modelo 1 corresponde a la barra colectoras rectangular de acero normalmente usada y el modelo 2, Figura 6, es igual modelo 1 pero es completamente de cobre. Todas las barras tienen una longitud de 2.2 m, 17,5 cm de alto

y su espesor 7,7 cm. El primer inserto se corresponde con el modelo 3, Figura 6, es un trozo rectangular de cobre de un metro de longitud unido (soldado) a ambos extremos de la barra de acero. El modelo 4, Figura 7, es un inserto de cobre con la mitad del área del caso 2, colocado en el mismo sitio del inserto 1, pero en la parte superior. El modelo 5, Figura 8, es un inserto de cobre ubicado en una sección interna de la barra colectoras de acero en la misma posición de los insertos anteriores.

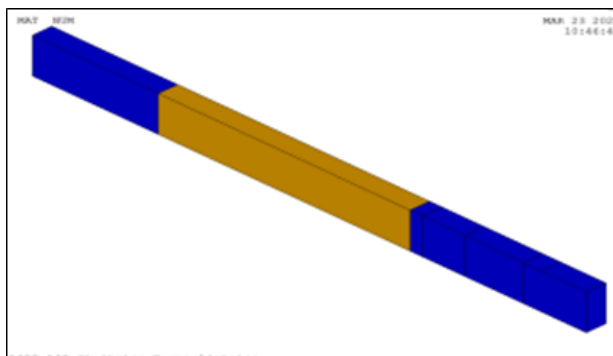


Figura 6. Modelo 3, sección de cobre entre ambos extremos de la barra de acero.

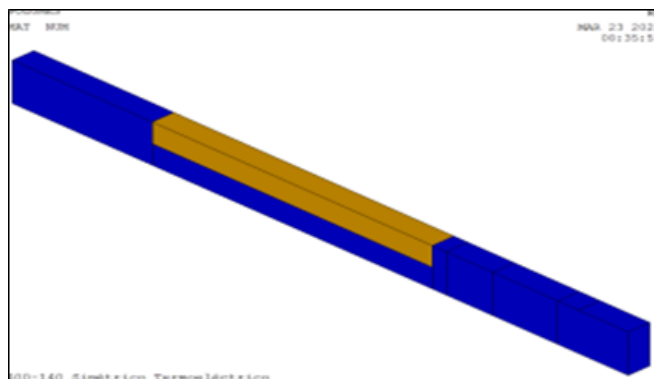


Figura 7. Modelo 4, inserto de cobre superior entre ambos extremos de la barra de acero.

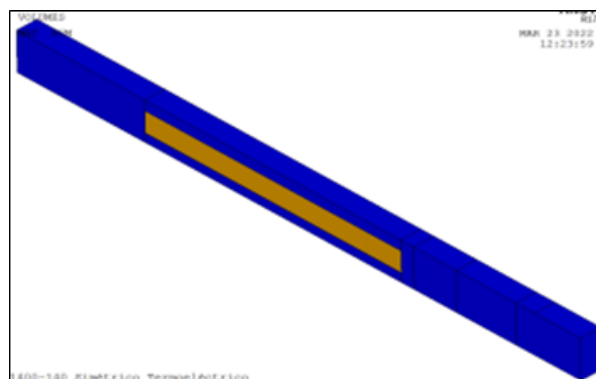


Figura 8. Modelo 5, inserto de cobre superior entre ambos extremos de la barra de acero.

2. Ecuaciones termoeléctricas

El simulador calcula numéricamente la distribución de potencial eléctrico o voltaje $V(x, y, z, T)$ en todos los nodos de los elementos de los volúmenes del modelo usando de la ley conservación de la carga para el caso estático [8], [9] y [10],:

$$\nabla^{\circ}\{J\} = 0 \quad (1)$$

donde $\{J\}$ el vector densidad de corriente. Conocida la conductividad del material, La ley de Ohm relaciona la densidad de corriente con el vector intensidad de campo eléctrico $\{E\}$.

$$\{J\} = [\sigma(T)]\{E\} \quad (2)$$

en donde $[\sigma(T)]$ es la matriz de la conductividad eléctrica, cuyos elementos diagonales son iguales: $\sigma_{xx} = \sigma_{yy} = \sigma_{zz}$ y los otros son nulos debido a las condiciones de homogeneidad e isotropía que hemos impuesto. El vector intensidad de campo eléctrico está calculado por medio de la ecuación:

$$\{E\} = -\nabla V \quad (3)$$

donde V es el potencial eléctrico. Combinando (1), (2) y (3) resulta la ecuación que define la distribución de potencial eléctrico en el sistema:

$$\nabla^{\circ}([\sigma(T)]\nabla V) = 0 \quad (4)$$

La distribución de temperatura $T(x, y, z)$ del sistema está definida por medio de la ecuación de transferencia de calor por conducción:

$$\nabla^{\circ}([K]\nabla T) + \vec{q} = 0 \quad (5)$$

donde $[K(T)]$ es la matriz de la conductividad térmica con $K_{xx} = K_{yy} = K_{zz}$ y \vec{q} es la velocidad de generación de calor por unidad de volumen producida por efecto Joule. El programa de elementos finitos necesita las siguientes condiciones de contorno para resolver este conjunto de ecuaciones diferenciales. La parte eléctrica está dada por:

$$V_A = V_0 \quad (6)$$

especificando el valor del potencial eléctrico en determinadas áreas donde termina el modelo, que este caso es el potencial nulo, 0 V. Las áreas de máximo voltaje del modelo se corresponden con aquellas por donde entra la corriente, es decir con las áreas inferiores de sus 4 riser, distribuidas en igual cantidad: 55,5 kA. También, es exigida la condición de flujo de calor por convección dada por:

$$K \frac{\partial T}{\partial n} = h(T_S - T_{\infty}) \quad (7)$$

donde h es el coeficiente de transferencia de calor por convección, T_S es la temperatura de la superficie a la cual llega el flujo de calor por convección, T_{∞} es temperatura de la superficie que ejerce convección y n es un vector unitario normal a las dos superficies.

3. Resultados y discusión

En esta parte se muestran y se analizan algunos de los resultados obtenidos por las simulaciones termoeléctricas. En la Figura 9 se muestra la caída de voltaje por efecto óhmico en la celda cuando se usan las barras colectoras de acero.

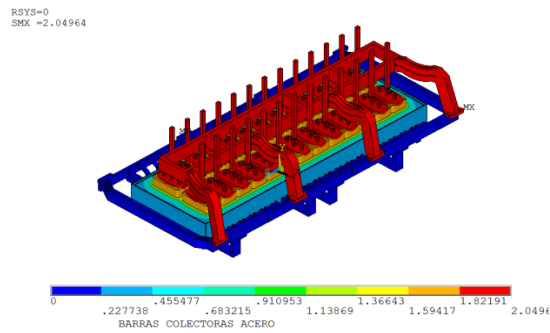


Figura 9. Caída de potencial eléctrico o voltaje en la celda Hal-230 con barras colectoras de acero.

El resultado muestra que la caída de voltaje total óhmico en la celda cuando se usan barras colectoras de acero es de 2,05 voltios. El modelo no incluye las voltajes debido a las reacciones químicas (1,2 V), el polarización (0,6 V), el voltaje óhmico presencia de burbujas de CO₂ (0,3 V) en el baño electrolítico, el voltaje externo (0,15 V); tampoco la caída de voltaje por incremento de resistencia por contacto entre los mate-

riales del modelo (en el orden de 300 mV), esto se debe a que en modelo computarizado el contacto entre sus volúmenes es ideal. Sumando todas estas componentes, la caída de voltaje total de la celda es de 4,6 voltios, dentro un margen de incerteza inferior al 5%, lo cual valida el modelo eléctrico. Otro resultado que valida la simulación es el obtenido para la caída de voltaje en el baño, mostrado en la Figura 10.

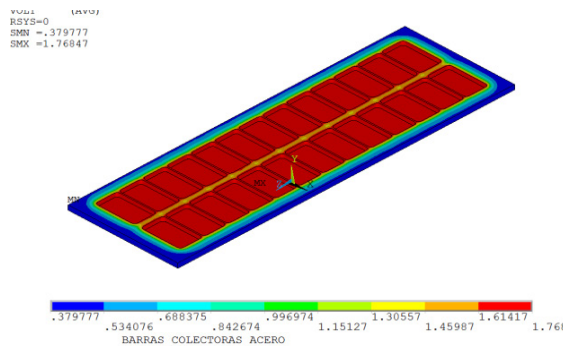


Figura 10. Caída de potencial eléctrico en el baño electrolítico con barras colectoras de acero.

La caída de voltaje en el baño es 1,39 V que si le sumamos los 0,3 V del voltaje de las burbujas resulta 1,69 V, cercano al valor de la caída de potencial en el baño presentado en la Figura 1. Este valor de caída de voltaje en el baño depende mucho de la composición química

de cada baño en particular, así se debe esperar mayores variaciones. La caída de voltaje para el bloque anódico se muestra en la Figura 11.

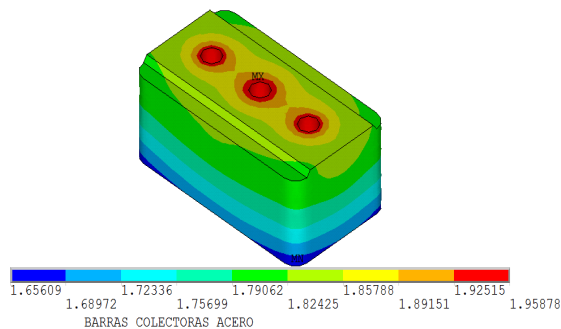


Figura 11. Caída de potencial eléctrico en el bloque del ánodo con barras colectoras de acero.

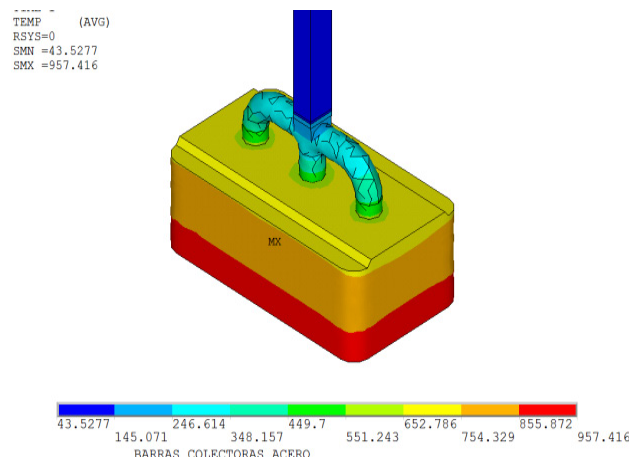


Figura 12. Distribución de temperatura en el sistema anódico con barras colectoras de acero.

El resultado para la distribución de temperatura para muestra a continuación, un corte en el sistema anódico, sin incluir la varilla, se

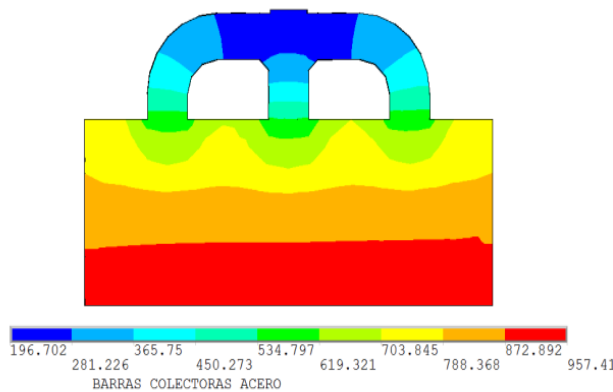


Figura 13. Distribución de temperatura en el sistema anódico con barras colectoras de acero, no se incluye la varilla.

Los resultados para las distribuciones de temperatura en el SA y otras partes para esta celda están en buena concordancia simulaciones termoelectricas realizadas por [11], los coeficientes de transferencia de calor usados en el bloque anódico en esta investigación son si-

milares a los usados por esos autores. Es de resaltar que la parte inferior del bloque anódico está sumergido en el baño electrolítico, por eso su temperatura en esa zona debe ser igual a la temperatura del baño. La distribución de temperatura en el baño se muestra en la Figura 14.

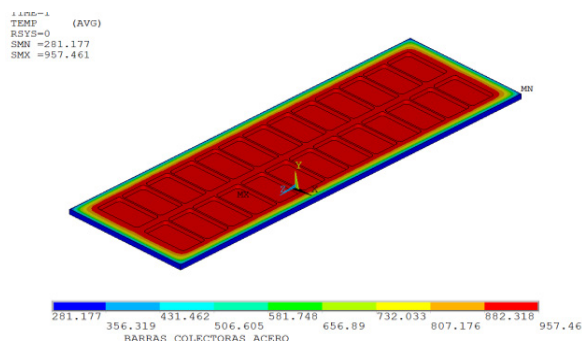


Figura 14. Distribución de temperatura en el baño con barras colectoras de acero.

La temperatura máxima del baño obtenida 957,46 °C la cual es igual a la temperatura promedio de operación de esta celda, 960 °C, si se toma en cuenta su margen típico de operación con variación o incerteza que es aproximadamente de 5,0 °C. De esta manera se ha validado los resultados térmicos del modelo.

Validado ya el modelo termoelectrico para la celda con las barras colectoras de acero, queda ahora exponer los resultados de las simulaciones cuando se usa los

modelos de barras colectoras totalmente de cobre y los tres modelos de insertos de cobre en las barras colectoras de acero. La mayor parte de estas simulaciones serán omitidas y serán expuestos sus resultados en tablas. En la Figura 15 se expone el resultado para la caída de voltaje total en la celda cuando se usa el modelo de barras colectoras de cobre, con las mismas dimensiones de las barras de acero.

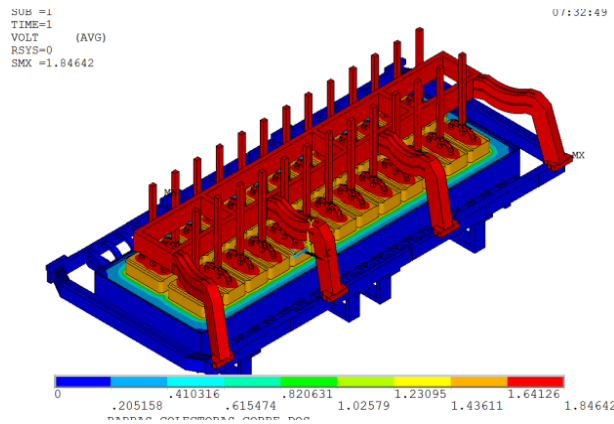


Figura 15. Caída de potencial eléctrico o voltaje en la celda Hal-230 con barras colectoras de cobre.

Se observa que el voltaje en la celda se reduce en 203 mV, lo cual representa un ahorro muy significativo de energía eléctrica por celda. El resultado de la caída de potencial eléctrico o voltaje en la celda para todos los casos se muestran en la Tabla 1.

Tabla I. Caída del voltaje celda en los 5 modelos y su ahorro respecto al modelo 1

Modelo barras	Caída voltaje (V)	Ahorro (mV)
1 acero	2,04964	0
2 (cobre)	1,84642	203
3 (inserto 1)	1,97015	79
4 (inserto 2)	1,97361	76
5 (inserto 3)	1,97231	77

Se obtuvo que los insertos de cobre reducen la caída de voltaje en la celda en el orden de los 80 mV, lo cual sigue siendo un ahorro en el consumo de energía eléctrica significativo. Los resultados de las simulaciones mostraron que los insertos de cobre no producen variaciones significativas en las distribuciones de temperatura y de potencial eléctrico en el baño y las otras partes de modelo, excepto en los distintos modelo de barras colectoras con sus insertos de cobre.

Las densidades de corrientes horizontales, J_z y J_x en el metal es una variable fundamental para determinar la magnitud y la dirección de la fuerza magnética en el metal, y por lo tanto de su movimiento y amplitud de oscilación, especialmente en la interface metal baño. En la Figura 16 se muestra la densidad de corriente J_z en la superficie superior de metal para el modelo 2

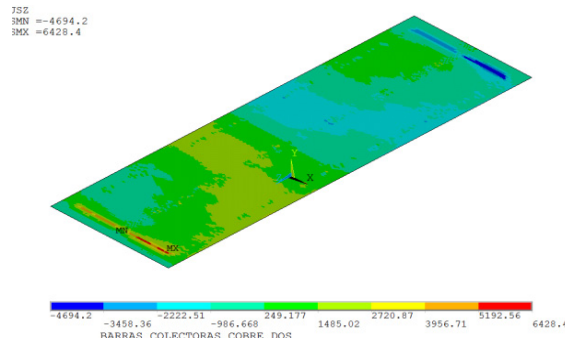


Figura 16. Distribución de densidad de corriente longitudinal en el metal para el modelo 2.

Todos los modelos presentan asimetrías en la densidad de corriente longitudinal o J_z y sus valores numéricos máximos en ambos sentidos se muestran en la Tabla 2

Tabla II. Resultados de la densidad de corriente longitudinal en el metal para los modelos

Modelos	Densidad de corriente (A/m^2)	
	Negativa Máxima	Positiva Máxima
1	-7358,91	8314,44
2	-4694,2	6428,4
3	-4706,8	6143,74
4	-4839,41	6083,06
5	-4808,38	6104,04

Se observa claramente que las barras colectoras de cobre y los insertos disminuyen grandemente las corrientes longitudinales en ambos sentidos, respecto a las barras colectoras de acero (modelo 1). La menor disminución en la corriente positiva z está en el modelo 4, con un porcentaje de disminución del 27 %. En la corriente en sentido negativo z la mayor disminución está en el modelo 2 con una disminución del 36 %. Tomando en cuenta la mejor simetría en los valores máximos en ambos sentidos los modelos más apropiados son el 4 y el 5.

Para la densidad de corriente transversal, J_x , el resultado se muestra en la Figura 17.

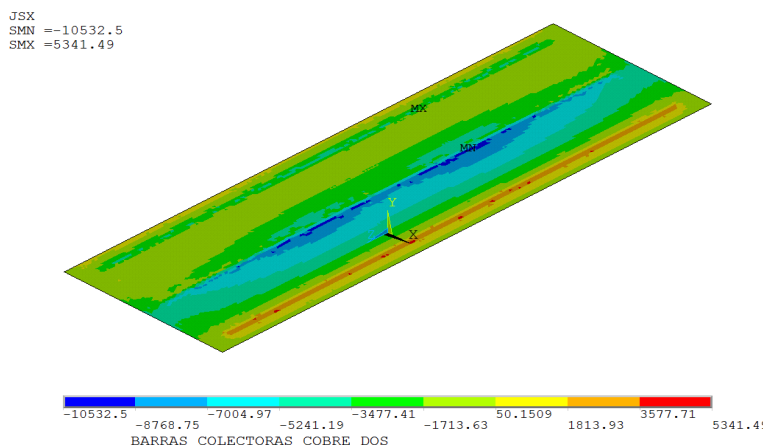


Figura 17. Distribución de densidad de corriente transversal, dirección x, en el metal para el modelo 2.

El resultado numérico para todos modelos se muestra en la Tabla 3.

Tabla III. Resultados de la densidad de corriente transversal en el metal para los modelos.

Modelo	Densidad de corriente (A/m ²)	
	Negativa Máxima	Positiva Máxima
1	-13034,4	7447,52
2	-10532,5	5341,49
3	-8368,2	5377,78
4	-8310,72	5507,06
5	-8321,08	5723,96

Nuevamente se observa que la barra colectora de cobre y los insertos de cobre reducen grandemente las corrientes horizontales transversales, pero los insertos de cobre resultan ser más eficientes que la barra de cobre.

III. CONCLUSIONES

Los resultados demostraron que las barras colectoras completamente cobre e inserto de cobre reducen la energía en la celda Hall 230 de CVG Venalum. El cobre al igual que los insertos de cobre proporciona ahorro de energía en la celda experimentada, manteniendo su equilibrio térmico. El ahorro de caída voltaje en la celda pronosticado por las simulaciones por el uso de los insertos de cobre están en el orden de los 80 mV, y barras completamente de cobre es del orden de 200 mV. Sin embargo, los insertos de cobre presentan mejores simetrías en las distribuciones de las componentes densidad de corriente, y menor corriente horizontal transversal por lo que su aplicación resulta más conveniente porque implican mayor estabilidad eléctrica de la celda.

REFERENCIAS

- [1] W.T. Choate and J.A. Green, "U.S. Energy Requirements for Aluminum Production", 2003, pp 31.
- [2] Kai Grjotheim and Halvor Kvande, Introduction to Aluminum Electrolysis. 2da Edition, Edit Aluminium Verlag, Dusseldorf, Germany, 1993, pp.33.
- [3] Kai Grjoteim and Barry Welch, "Aluminium Smelter Technology " Segunda Edición, Aluminum-Verlag, Dusseldorf, Germany, 1986, pp 90-92.
- [4] A.R Kjar., J. Keniry and D. Severo, "Evolution of busbar desig for aluminum reduction cells". Available: https://www.researchgate.net/publication/357578011_

EVOLUTION_OF_BUSBAR_DESIGN_FOR_ALUMINIUM_REDUCTION_CELLS

[5] Arkhipov A, et all, "Improving the Undertanding of Busbar Desig and MHD perfomance", Light Metals, 2017, p.p. 671-677.

[6] Feiya Y, et all, "In Depth Analysis of Energy-Saving and Current Efficiency Improvement of Aluminum Reduction Cells", Light Metals, 2013, p.p. 537-542.

[7] J. Arcila, " Influencias de los Insertos de Cobre en las Barras Colectoras Catódicas en la Producción y la Eficiencia Eléctrica de las Celdas de Reducción de Aluminio de CVG VENALUM", Tesis de Grado Departamento de Ingeniería Metalúrgica, Tutor Académico Francisco Rojas, Tutor Industrial Edris Lyon, UNEXPO, noviembre 2022.

[8] Rojas, F., Birrot, A. y Malave, I. "Simulación de las caídas de potenciales en el sistema anódico producidas por las variaciones de la profundidad del yugo en el ánodo de una celda de reducción de aluminio", Universidad, Ciencia y Tecnología, vol. 11, N° 43, junio 2007, pp 79-86.

[9] F. Rojas; A. Birrot; D. Requena; I. Malave, Propuestas de mejoras en el Sistema Anódico en Celdas Hal-230 de V línea de CVG VENALUM, Universidad, Ciencia y Tecnología, 56 (2010) 189-203.

[10] F. Rojas; A. Birrot; I. Malave, "Simulación de las Caídas de Potenciales en el Sistema Anódico Producidas por las Variaciones de Profundidad del Yugo en el Ánodo de un Celda de Reducción de Aluminio", Universidad, Ciencia y Tecnología, 43 (2007) 79-86.

[11] H. Fortin; N. KandeV and M. Fafard, "FEM Analysis of Voltage Drop in the Anode Connector Induced by Steel Stub Diameter Reduction", Finite Elements in Analysis and Design, 52 (2012) 71-82

USO DE MICROSCOPIO DIGITAL USB EN LA CARACTERIZACIÓN LITOLÓGICA DEL MINERAL DE HIERRO

Núñez Ernesto

<https://orcid.org/0000-0002-1212-4719>

enunez@orinoco-iron.com

Orinoco Iron SCS

Ciudad Guayana - Venezuela

Puerto Ordaz, Venezuela

Ramirez Luis

<https://orcid.org/0009-0000-4032-6564>

ramirezl@orinoco-iron.com

Orinoco Iron SCS

Ciudad Guayana - Venezuela

Resumen: En el presente trabajo se evalúa la posibilidad de usar un microscopio digital USB en la caracterización litológica del mineral de hierro, considerando el aumento, la calidad y resolución de las imágenes obtenidas, que permitan la identificación y cuantificación de las especies litológicas presentes en la muestra evaluada. Se aplicó un conteo de partículas en la imagen obtenida, medición de volumen aparente de una fracción granulométrica y conocida la densidad de las especies litológicas presentes se calcularon los porcentajes en peso de estas. Los resultados obtenidos demuestran que es posible la utilización de este equipo para el objetivo propuesto y ofreciendo una gran ventaja por su bajo costo y versatilidad.

Palabras Clave: Mineral de hierro, litología, microscopio digital.

USE OF USB DIGITAL MICROSCOPE IN THE LITHOLOGICAL CHARACTERIZATION OF IRON ORE

Abstract: In the present work, the possibility of using a USB digital microscope in the lithological characterization of iron ore is evaluated, considering the magnification, quality and resolution of the images obtained, which allow the identification and quantification of the lithological species present in the sample evaluated. A particle counting was applied to the image obtained, measurement of the apparent volume of a granulometric fraction and, knowing the density of the lithological species present, their weight percentages were calculated. The results obtained demonstrate that it is possible to use this equipment for the proposed objective and offering a great advantage due to its low cost and versatility.

Keywords: Iron ore, lithology, digital microscope.



I. INTRODUCCIÓN

Las características texturales del mineral de hierro, son aspectos relevantes en los procesos siderúrgicos. Por lo que la identificación de las distintas especies litológicas del mineral que componen la materia prima para estos procesos, favorece el entendimiento de su desempeño durante las distintas etapas de este.

Partiendo de que, durante la génesis del mineral de hierro, ocurren procesos geológicos por cambios de presión y temperatura, acompañados de fenómenos de hidratación (el agua se añade a la estructura cristalina) y lixiviación (se remueve de manera natural la ganga y se concentran los óxidos), se da lugar a diversas especies litológicas con diferentes características físicas, químicas, mineralógicas y texturales con desempeños distintos en los procesos siderúrgicos [1].

Por ello, la caracterización de las distintas especies litológicas de mineral ha sido de gran interés, en sobremanera, para procesos que implican trituración, molienda, aglomeración y reducción. Incluso, se han desarrollado analizadores de imagen que, considerando la coloración, forma y porosidad de las partículas, predicen las fases mineralógicas y composición química de la muestra [2]. Teniendo siempre como objetivo principal asociar el comportamiento del mineral (como material) con sus características de origen.

En este sentido, la trazabilidad del mineral durante su procesamiento y el desarrollo de analizadores de imagen, requieren de una extensa data de caracterizaciones litológicas de los lotes de mineral, que se facilitan con el uso de un microscopio digital USB que permite la visualización de aspectos texturales como porosidad y rugosidad para la clasificación y cuantificación más adecuada de las especies litológicas.

El uso de un microscopio digital USB permite realizar una caracterización litológica con un equipo de muy bajo costo y mucha versatilidad.

En definitiva, para enlazar características físicas y texturales de los minerales con los procesos siderúrgicos se requiere de la implementación adecuada de una caracterización litológica que puede ser hecha a nivel macroscópico con ayuda de una lupa, un amplificador de imagen y un microscopio digital USB, acompañada con una caracterización mineralógica hecha con un microscopio óptico con luz polarizada, y que conjuntamente con el criterio geometalúrgico, puede determinar los tipos de minerales o especies litológicas más adecuados para un proceso, o bien, adecuar o diseñar el proceso a los minerales disponibles.

Para el desarrollo de la investigación se evaluó una muestra de mineral homogenizado proveniente de la mina los barrancos de Ferrominera Orinoco, ubicada

en el estado Bolívar, Venezuela. El trabajo incluye un desarrollo donde se exponen aspectos teóricos, la metodología aplicada, los resultados obtenidos y por último las conclusiones.

II. DESARROLLO

A. Identificación y cuantificación de especies litológicas del mineral de hierro

La identificación y cuantificación mineralógica y de especies litológicas del mineral hierro son pasos fundamentales para su máximo aprovechamiento. Son una rama especializada de la geología aplicada a su procesamiento y que estudia aspectos específicos de la litología y mineralología de este. La información obtenida se utiliza para el desarrollo y optimización de procesos tales como la peletización y la reducción directa [3].

Los minerales de hierro pueden ser clasificados de acuerdo con su composición química y estructura cristalina, los principales minerales que contienen hierro son la magnetita (Fe_3O_4), hematita (Fe_2O_3), goethita vítrea ($\text{FeO}(\text{OH})$) y goethita ocre ($\text{FeO}(\text{OH})_n(\text{H}_2\text{O})$). Otra forma de clasificar es a nivel macroscópico por especies litológicas, que pueden estar constituidas por uno o más minerales que definen su composición química y propiedades físicas como su textura y color.

Basado en las diferentes propiedades físicas que pueden poseer las especies litológicas se aplican técnicas de identificación y cuantificación que van desde la observación directa al uso de amplificadores de imagen y microscopio estereoscópico. Estas técnicas son aplicadas de acuerdo a la granulometría del mineral a ser evaluados y puede limitar la identificación de especies friables o finas.

La utilización de la microscopía óptica para la caracterización de rocas y minerales comenzó hace más de 150 años. Uno de los primeros investigadores en caracterización óptica de minerales fue Henry Clifton Sorby, quien desarrolló las técnicas básicas de la petrografía, utilizando el microscopio con luz polarizada para estudiar la estructura de secciones delgadas de roca. En el análisis óptico de minerales moderno, la información requerida va mucho más allá de la identificación básica de minerales y descripción cualitativa. El objetivo principal en microscopía óptica para la caracterización del hierro y otros minerales es obtener información que permita ayudar en la determinación de la ruta de procesamiento posterior de dichos minerales [4].

B. Microscopio USB

El microscopio USB es el tipo más sencillo de microscopio digital. Las partes básicas del microscopio

USB incluyen una lente de gran aumento y un sensor digital. La imagen captada por el sensor digital es a continuación transmitida a un computador mediante conexión USB. Este tipo de microscopio no tiene ocular, la muestra solo puede ser observada a través del computador. El microscopio USB se ha hecho muy popular

gracias a su bajo precio, del orden de solo 25 USD, en comparación con los microscopios digitales convencionales o amplificadores de imágenes. Es un instrumento muy versátil y apto para muchas observaciones de objetos cotidianos. El aumento total de un microscopio USB puede llegarse hasta los 1000X [5].



Fig. 1. Microscopio digital USB [5].

Los microscopios USB pueden controlarse con dos elementos. Uno es una pequeña rueda para ajustar el enfoque. Girando la rueda se cambia la distancia entre la lente del microscopio y la muestra. El otro elemento importante es un botón para tomar la fotografía. Algunos microscopios USB vienen equipados con un pie donde se pueden mantener fijos para ganar estabilidad.

En general los microscopios USB vienen equipados con luces LED para iluminar la muestra. Es por esto que se trata de microscopios de luz reflejada, cosa que permite observar la muestra con claridad y sin necesidad de una preparación previa. En los microscopios ópticos tradicionales la luz se transmite a través de la muestra. Este otro tipo de microscopios son de luz transmitida [5].



Fig. 2. Microscopio digital USB conectado a un computador [5].

Otro factor importante que define la calidad de un microscopio USB es el software con el que se controla. El software es el encargado de tratar digitalmente la imagen obtenida por la cámara digital. Un buen software puede corregir parcialmente los errores inherentes del sistema óptico pero no mejorar el aumento obtenido por el microscopio USB.

Uno de los pasos clave al utilizar un microscopio USB es ajustar bien la distancia entre la lente y la muestra además de seleccionar el zoom adecuado para enfocar la imagen. Jugando con estos parámetros pueden observarse muestras a lo largo de un rango de aumentos variable.

Tomando en cuenta algunas de las ventajas del microscopio digital USB se puede evaluar su aplicación en la identificación y cuantificación de especies litológicas del mineral de hierro.

C. Especies litológicas del mineral de hierro

La clasificación de las especies litológicas del mineral de hierro está basada en dos grupos principales: minerales duros o costras y minerales blandos o friables, conocidos como finos; estas son divididas en diferentes subtipos, de acuerdo a sus características químicas y físicas y textura. Las especies blandas son llamados finos y su aspecto es como arena suelta, ellas son moderadamente hidratadas con alta porosidad. Debido a su forma ellos son llamados finos laminados o en microplacas. Las especies duras son llamadas costras y se ubican en las áreas superficiales del depósito, cubriendo los bolsos de finos. Se originan de los procesos de disolución e hidratación [6].

En la superficie de un depósito de mineral de hierro afloran casi exclusivamente minerales de costras, y a mayor profundidad se encuentran diferentes tipos de minerales friables (finos), intercalados por costras; Estos finos eventualmente se convierten en cuarcitas ferruginosas friables y cuarcitas ferruginosas duras hasta llegar a áreas de lateritas.

El proceso de generación de las especies litológicas consiste en la eliminación por meteorización de la sílice y los silicatos de las cuarcitas ferruginosas, y la consiguiente concentración residual de óxidos e hidróxidos de hierro. A este proceso se le denomina enriquecimiento supergénico donde las cuarcitas ferruginosas originan diferentes tipos de minerales según la intensidad y naturaleza del proceso. Los principales cambios son: la magnetita se oxida a hematita y martita, los minerales de ganga como piroxenos y anfíboles son reemplazados por goethita dando como resultado esencialmente especies litológicas contentivas de hematita - goethita - martita, que en base a su proporción definen el color,

textura y composición química de la especie [6].

Como referencia se puede mencionar algunas de las clasificaciones aplicadas por Ferrominera Orinoco, [6]:

Especies litológicas friables:

Finos negros (Blue dust): Partículas de hematita laminadas en microplacas. Son de color gris y algunas veces son de azul metálico.

Finos marrones (Brown fines): Partículas de hematita laminadas en microplacas con incrustaciones de goethita ocre. Son de color marrón a simple vista y de color gris/azul metálico con incrustaciones amarillas.

Ghoethita Ocre (Ochreous yellow goethite): Está constituida mayoritariamente por ghoethita ocre amarilla y una baja proporción de minerales arcillosos. Presenta un color amarillo a pardo rojizo (naranja).

Especies litológicas duras:

Costra hematítica (Hemathitic crust): Está compuesta principalmente por hematita y su composición química es similar a los finos negros, pero esta contienen mayor proporción de sílice y alúmina. Se pueden encontrar desde homogénea con cristales desarrollados, que pudieran ser agregados de hematita primaria, hasta finamente laminadas y bandeadas. De Color gris metálico. Pueden contener pequeñas franjas o puntos de goethita (amarillo ocre) y alúmina (color rojizo), en bajas proporciones.

Costra ghoethítica ocre (Ochreous yellow goethite crust): Está constituida mayoritariamente por ghoethita ocre amarilla y una baja proporción de hematita. Presenta un color amarillo a pardo rojizo (naranja) con algo de gris o azul metálico.

Costra ghoethítica vitriosa (Vitreous goethite crust): Está constituida mayoritariamente por ghoethita vitriosa y una baja proporción de hematita. Tiene distintas coloraciones entre pardo rojizo, amarillo ocre, tonalidades negras u oscuras con aspecto vítreo o pulido.

III. METODOLOGÍA

Para evaluar la aplicación de un microscopio digital USB en la caracterización litológica del mineral de hierro se procedió de la siguiente forma:

A. Preparación de la muestra

Se recibe e identifica la muestra de finos de mineral de hierro y se somete a un proceso de secado en una mufla, para posteriormente homogenizarla y cuartearla para tomar una porción representativa de 400 g que será

sometida a una separación granulométrica, tomándose las fracciones menores de 16 malla hasta 200 malla para la observación en el microscopio. Las fracciones mayores pueden reducirse de tamaño menores a 16 malla.

B.Lavado de la muestra

Las muestras separadas por fracción granulométricas son lavadas con agua, inicialmente, en una bandeja receptora (pan) y, posteriormente, en un recipiente hermético, que se agita suavemente hasta observar el agua clarificada y la diferencia de colores de las especies litológicas. Las muestras nuevamente son sometidas a un proceso de secado y de separación granulométrica.

C.Medición del volumen aparente de la muestra

Se determina el volumen aparente de cada fracción granulométrica, utilizando un cilindro graduado.

D.Caracterización litológica de la muestra

Se esparce una porción representativa de la muestra,

con el uso de una espátula, en un porta muestra, de superficie brillante. Se utiliza el microscopio digital USB, ajustando la distancia de enfoque, para tener una mejor visión de la muestra en el monitor del computador, una vez visualizado el contenido de la muestra con una buena resolución, se procede a la captura de la imagen y se guarda en el computador.

Se realiza un conteo de las partículas por especie litológica, en la imagen capturada, utilizando un contador.

Considerando la cantidad de especies litológicas presentes y el volumen aparente de una fracción granulométrica dada, se determina el porcentaje en volumen de cada especie. Posteriormente, se toman en cuenta los valores de las densidades aparentes de las especies, para obtener, a partir de los porcentajes en volumen, los porcentajes en peso por fracción granulométrica. Para el resultado total del porcentaje en peso de toda la muestra se ponderan los valores con los datos obtenidos por fracción granulométrica.



Fig. 3. Conteo de partículas en imagen tomada con el microscopio digital USB.

IV.RESULTADOS

Los resultados obtenidos con la caracterización litológica del mineral de hierro aplicando un microscopio

digital USB se presentan a continuación:
fracción granulométrica.

A. Imágenes de especies litológicas tomadas con el microscopio digital USB



Fig. 4. Imagen de especie litológica finos negros en muestra de la fracción de 10 malla con un aumento de 50X.ç

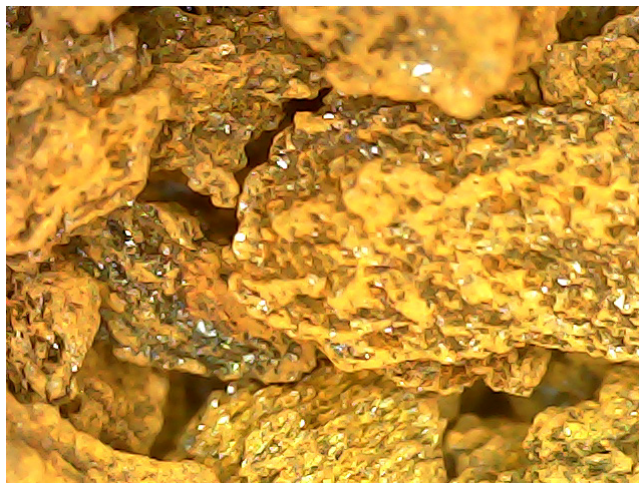


Fig. 5. Imagen de especie litológica costra goethítica ocre en muestra de la fracción de 10 malla con un aumento 50X.



Fig. 6. Imagen de especie litológica costra goethítica vitriosa en muestra de la fracción de 10 malla con un aumento 25X.

En las imágenes de las figuras 4, 5 y 6 se puede observar los colores y texturas características de algunas de las especies litológicas evaluadas, demostrando que la resolución de las imágenes obtenidas con el micros-

copio digital USB, permite diferenciar estas especies y facilita el conteo de partículas para la caracterización litológica de una muestra de mineral de hierro.

B. Caracterización litológica de la muestra



Fig. 7. Imagen de la muestra de mineral de hierro de la fracción de 100 malla para el conteo de partículas con un aumento de 150X.

En la figura 7 se muestra la imagen de una porción de la muestra de mineral evaluada, obtenidas con el microscopio digital USB, y tal como se mencionó anteriormente es posible distinguir las diferentes especies litológicas presentes en la muestra, lo que permite realizar el conteo de partículas por especie, determinar las proporciones de las especies por número de partículas

y conocido el volumen aparente de la fracción granulométrica evaluada y las densidades aparentes de las especies, calcular el porcentaje en peso por especie litológica presente en la muestra y de esta manera caracterizar litológicamente al mineral de hierro, tal como se muestra en la figura 8.

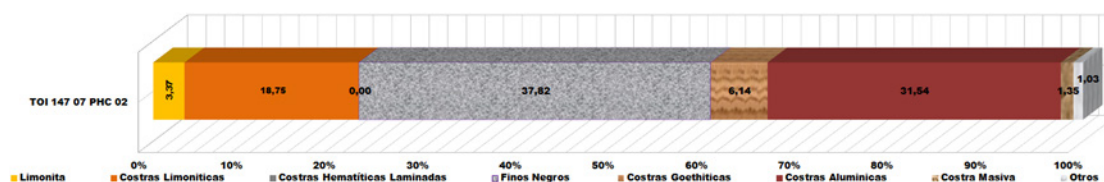


Fig. 8. Caracterización litológica de muestra de mineral de hierro.

V. CONCLUSIONES

Al evaluar el uso de un microscopio digital USB para la caracterización litológica del mineral de hierro se puede concluir lo siguiente:

1. Es posible la utilización del microscopio digital USB para la caracterización litológica del mineral de hierro debido al aumento, calidad y resolución de las imágenes que se obtienen.

2. La implementación del uso del microscopio digital

USB en la caracterización litológica del mineral de hierro representa una muy baja inversión debido a su costo y la facilidad de la preparación de la muestra.

RECONOCIMIENTO

Agradecimiento de los autores a la empresa Orinoco Iron S.C.S por permitir el desarrollo de esta investigación en sus instalaciones.

REFERENCIAS

- [1]J. Clout, «Upgrading processes in BIF-derived iron ore deposits: Implications for ore genesis and downstream mineral processing,» *Applied Earth Science (Trans. Inst. Min. Metall. B)* Vol. 112, pp. 89-95, abr. 2003, doi: 10.1179/037174503225011153.
- [2]E. Donskoi, S. Suthers, S. Fradd, J. Young, J. Campbell, T. Raynlyn, J. Clout «Utilization of optical image analysis and automatic texture classification for iron ore particle characterisation,» *Miner. Eng.*, Elsevier Ltd, 2007, doi:10.1016/j.mineng.2006.12.005.
- [3]M. Gomes, C. Pereira y A. Clark, «Caracterização tecnológica de rejeito de minério de ferro,» *R. Esc. Minas, Ouro Preto*, 64(2), pp. 233-236, abr. jun. 2011.
- [4]L. Lu, «Iron Ore. Mineralogy, processing and environmental sustainability, » Elsevier Ltd, 2015, ISBN 978-1-78242-159-7.
- [5]Mundo Microscopio «Microscopio-USB,» 04 octubre 2023. [En línea]. Disponible en: https://www.mundomicroscopio.com/microscopio-usb/#google_vignette.
- [6]C.V.G. Ferrominera Orinoco C.A. «The mining of iron ore in Venezuela,» Technical presentation, FMO, 1992.

INSTALACIÓN, CALIBRACIÓN Y USO DE EQUIPO DE ESPECTROMETRÍA DE EMISIÓN ÓPTICA

Gustavo Rodríguez Malaver
grodriguez@unexpo.edu.ve
Profesor Asistente UNEXPO, Puerto Ordaz
Ciudad Guayana - Venezuela
Puerto Ordaz, Venezuela

Resumen: La espectrometría de emisión óptica es una técnica analítica que permite determinar la composición química de elementos metálicos. Cuantifica con precisión los elementos residuales presentes en muestras de estos metales. Está destinada a determinar y certificar la calidad de metales producidos en acerías, plantas productoras de aluminio, cobre. Los equipos de emisión reciben la denominación de Quantómetro, y cuentan con un espectroscopio que funciona al vacío, para garantizar con precisión la concentración de elementos con longitud de onda de determinación, en la región ultravioleta del espectro. En el Laboratorio de Difractometría de la Sección de Física del edificio de Apoyo Docente, hay un equipo de emisión óptica que requiere ser conectado y calibrado para el uso correspondiente, y poder ofrecer el servicio de análisis a empresa de la Zona Industrial de Guayana. Con la ayuda de la Inteligencia Artificial se espera desarrollar los software necesarios para la determinación de la composición de metales usando este equipo.

Palabras Clave: Quantómetro, Espectroscopia, Longitud de onda.

INTALLATION, CALIBRATION AND USED OF SPECTROMETRY EMITION OPTICAL EQUIPMENT.

Abstract: Optical emition spectrometry is an analytical technique that allows determining the chemical composition of metallic elements. Precisely quantifies the residuales elementos present un samples of these metals. They are intended to determine and certify the quality of metals produces un steel mills, aluminum and copper production plant. These equipment are calles quantumeters, they have a spectroscopie that work in a vacuum, to accurately guarantee the concentration of elements with determination in the ultraviolet region of the spectrum. In the Diffractometry Laboratory, Physics Sección of the Teaching Support building, there is an optical emition equipment that required connection and calibration for the corresponding use and to be able to offered the analisis service to companies in the Industrial Zone of Guayana. With the help Artificial Intelligence, it is expected to develop the necessary software form the determination of the composition of metales using this equipment.

Keywords: Quantumeter, Spectrometry, Wavelength.



I. INTRODUCCIÓN

La espectrometría de emisión óptica es una técnica analítica basada en la difracción de radiaciones en la región visible de espectro, que incluye parte de las regiones ultravioleta e infrarroja. Aplica a metales dada su conductividad eléctrica, donde actúan como contraelectrodos y permite determinar la concentración de elementos y sustancias que acompañan el metal, durante el proceso de su producción, y certificar la calidad del producto final, pero también puede aplicar a materiales no conductores, si son mezclados con sustancias conductoras como el grafito espectral. Cada elemento presenta un espectro de emisión con características dife-

rentes, de ellas se escoge la línea o radiación con mayor intensidad y/o que se encuentre separadas de líneas de otros elementos. El espectro de absorción corresponde el proceso contrario, el Arcoíris es el espectro de absorción de la luz solar, que está compuesta por radiaciones de átomos de hidrógeno y helio en proporciones 75:25 y se observa debido a la distancia, como un espectro continuo. Los equipos de EEO marca ARL modelo 3460 [1], vienen calibrados para determinar la composición química de elementos metálicos, como hierro en el caso de SIDOR y aluminio para las empresas ALCASA, VENALUM, WESTALCA, etc.



Quantómetro ARL 3460

Para el Laboratorio de Materias Primas de la Gerencia de Control de Calidad, se adquirió un quantómetro

marca Spectrolab modelo M 5.



Quantómetro Spectrolab M 5

El equipo Spectrolab M 5, además de analizar acero, puede determinar la composición de acero de baja aleación, aceros inoxidables y arrabio. Con este equipo se realizaron los análisis necesarios para determinar la composición química de muestras que fueron preparadas en el Centro de Investigaciones de SIDOR, para ser utilizados estándares secundarios [2]. Los resultados se muestran a continuación:

ACI-NI	ACI-NIR	
Elemento	Conc. (%)	Conc. (%)
C.	0,459	0,466
Mn.	0,644.	0,638
P	0,023	0,025
S	0,021	0,021
Si	0,227	0,231
Cr	0,156	0,155
Ni	0,120	0,124
Cu	0,136	0,133
Mo	0,0178	0,0176
W	0,0068	0,0071
As	0,0330	0,0076
Sn	0,0157	0,0156
Co.	0,0065	0,0072

ACI - NI: Muestra original.

ACI - NI R: Muestra después de tratamiento térmico de Recocido.

Adicionalmente se hicieron los ajustes necesarios para agregar un programa para la determinación de la calidad de pellas a usar en los procesos de producción de hierro de reducción directa (HRD).

La UNEXPO Puerto Ordaz cuenta con un equipo de emisión ARL 3460 AES que debe ser conectado, ajustado y calibrado para ser usado en la determinación de la calidad de elementos metálicos.

II.DESARROLLO

Los equipos de espectrometría de emisión óptica, son equipos robustos de alto peso, destinados para determinar composición química y certificar la calidad final de metales, por diferencia. Cuentan con un sistema óptico que separa las radiaciones emitidas por un metal en la región visible del espectro, que incluyen parte de las regiones ultravioleta e infrarroja. Un espectro de emisión consta de una serie de rayas o líneas de diferentes colores e intensidades, de la cual se encoje una que generalmente es la de mayor intensidad o que esté separada de líneas de otros elementos, para evitar interferencia. Los espectros de absorción muestran el efecto contrario. A continuación se muestran los espectros de

absorción y emisión del cobre, aluminio y hierro:



La empresa CVG SIDOR en sus laboratorios de las Acerías de Planchones y Palanquillas, usan estos equipos para hacer seguimiento a las coladas y certificar los productos (Planchones, Palanquillas, Barras y Alambón).

Para realizar estos análisis en el Laboratorio de Materias Primas de SIDOR se adquirió un equipo de emisión óptica marca Spectrolab modelo M5, este podía analizar aceros de baja aleación, aceros inoxidables y

arrabio, pero también fue adaptado para analizar escorias de acerías, la ganga de mineral, y pellas de mineral de hierro. Para estos materiales, se mezclaba el material con grafito electrolítico. Se mezclaban 0,5 gramos del material con 4,0 gramos de grafito, se homogeneizaba y prensaba hasta obtener una muestra sólida con propiedades conductoras, para generar la "chispa" que produciría el espectro de emisión [3].

La UNEXPO Puerto Ordaz cuenta con un equipo de

emisión óptica marca ARL modelo 3460 AES que fue donado por una empresa de la Zona Industrial de Guayana. Este equipo requiere ser conectado y calibrado para ser utilizado en la determinación de la calidad de muestras de aluminio, pero dependiendo de los detectores o foto tubos que este equipo disponga, podría ser calibrado para la determinación de la composición química de otros metales o sustancias no conductoras de electricidad, como mineral, pellas de mineral de hierro, escorias de acería, y cualquier sustancia que se mezclaría con grafito espectral para hacerla conductora de electricidad. Este es un reto que las secciones de Física y Química están dispuestos a enfrentar.

III.CONCLUSIONES

1.- Las secciones de Física y Química de la UNEX-PO Puerto Ordaz cuenta con un equipo de espectroscopia de emisión óptica que puede ser conectado, calibrado y puesto funcionar, usando la Inteligencia Artificial para la certificación de la calidad de elementos metálicos y sustancias conductoras de la electricidad.

2.- Los elementos y/o compuestos químicos a determinar y analizar, dependerán de los fototubos disponibles en el equipo.

3.- La calibración del equipo y su uso regular, permitirá conocer los procesos de emisión e incorporar esta técnica con fines académicos, así como también prestar este servicio a empresas de la zona industrial, y a quien requiera este servicio.

REFERENCIAS

- [1]User Manual ARL 3460 AA 83716.
- [2]R. Castillo y G. Rodríguez. "Preparación de Estándares para Espectrometría de Emisión Óptica". Laboratorios de Hierro y Acero. CVG SIDOR, Edo. Bolívar, Venezuela 1992.
- [3] R. Castillo, M. Marval y G. Rodríguez. "Programa para Análisis de Pellas de Mineral de Hierro. Técnica de Espectrometría de Emisión" CVG SIDOR, Edo. Bolívar, Venezuela 1994.

