

# Herramientas interactivas para el trazado de las características mecánicas en accionamientos eléctricos

## *Interactive tools for the plotting of mechanical characteristics in electric drives*

Milagros Diez Rodríguez<sup>I,\*</sup>, Imandra Rojas Díaz<sup>I</sup>, Vladímir Rodríguez\_Diez<sup>I</sup>, Laritza Coello Guilarte<sup>II</sup>

<sup>I</sup>Universidad de Camagüey “Ignacio Agramonte Loynaz”. Cuba

<sup>II</sup>Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica. Cholula, Puebla, México

\*Autor de correspondencia: [milagros.diez@reduc.edu.cu](mailto:milagros.diez@reduc.edu.cu)

Recibido: 17 de julio de 2023

Aprobado: 25 de septiembre de 2023

Este documento posee una [licencia Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)



### RESUMEN/ABSTRACT

Las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones se han convertido en uno de los pilares fundamentales en el proceso docente educativo para el logro del aprendizaje significativo donde el estudiante se convierte en protagonista. En el proceso formativo de los ingenieros electricistas, el aprendizaje de algunos saberes resulta sumamente complejo. Un ejemplo constituye el estudio de las características mecánicas de los motores eléctricos y sus cargas mecánicas. Este trabajo tiene como objetivo analizar la aplicación de las herramientas innovadoras desarrolladas Geogebra y Jupyter Notebooks en la enseñanza de los accionamientos eléctricos. Geogebra proporciona una plataforma interactiva para visualizar y analizar conceptos matemáticos, mientras que Jupyter Notebooks ofrece un entorno flexible para el desarrollo de códigos y el análisis de datos. La aplicación de estas herramientas crea una rica experiencia de aprendizaje que promueve la comprensión conceptual, las habilidades para resolver problemas con enfoque científico y el pensamiento crítico.

**Palabras clave:** estrategias de aprendizaje, las tecnologías de la información y las comunicaciones, los accionamientos eléctricos, Geogebra, Jupyter Notebooks.

*Information and Communication Technologies (ICT) have become one of the fundamental pillars in the educational teaching process for achieving meaningful learning, where the student becomes the protagonist. In the educational process of electrical engineers, learning certain knowledge areas can be extremely complex. One example is the study of the torque-load curves of electric motors and their mechanical loads. This work aims to analyze the application of innovative tools such as Geogebra and Jupyter Notebooks in the teaching of electric drives. Geogebra provides an interactive platform for visualizing and analyzing mathematical concepts, while Jupyter Notebooks offers a flexible environment for code development and data analysis. The application of these tools creates a rich learning experience that promotes conceptual understanding, problem-solving skills with a scientific approach, and critical thinking.*

**KeyWords:** learning strategies, information and communication technologies, electric drives, Geogebra, Jupyter Notebooks.

### INTRODUCCIÓN

Las investigaciones relacionadas con las estrategias de aprendizaje en la enseñanza de nivel superior pueden considerarse una de las líneas de investigación más fructíferas en los últimos años. Los estudios desarrollados por Camizán [1], destacan que las estrategias favorecen los procesos educativos por competencias, aspectos que permiten la autonomía, la independencia y la autorregulación para “aprender a aprender”. Maldonado [2], enfatiza el papel regulador y desarrollador de la autonomía en los estudiantes que aportan las estrategias y las relaciona con la toma de decisiones.

Cómo citar este artículo:

Milagros Diez Rodríguez y otros. Herramientas interactivas para el trazado de las características mecánicas en accionamientos eléctricos. Ingeniería Energética. 2023. 44 (3), septiembre/diciembre. ISSN: 1815-5901.

Sitio de la revista: <https://rie.cujae.edu.cu/index.php/RIE/index>

Para los autores, el estudiante elige y activa aquellos conocimientos que necesita para responder a las exigencias de la demanda profesional y personal, en función de las condiciones de la situación educativa. De igual forma, les confiere una gran importancia dada por el hecho de que engloban aquellos recursos cognitivos que utiliza cuando se enfrenta al aprendizaje. La utilización de estrategias debidamente concebidas en el proceso formativo contribuye al aprendizaje significativo. El aprendizaje significativo es un enfoque teórico que se refuerza cada vez más en los últimos tiempos. Establece que el principal protagonista es el estudiante quien construye su conocimiento haciéndolo parte de su esquema cognoscitivo mediante un proceso de aprendizaje dinámico y autocrítico [3].

Para ello es muy importante que se potencie la reflexión individual de cada estudiante, para que a partir de experiencias educativas precedentes sean capaces de encontrar y aportar soluciones creativas a los problemas a los que se enfrentan, lo que les permitirá ser los protagonistas de su propio proceso de construcción del conocimiento, apropiándose de los contenidos de forma independiente. En este sentido, juegan un rol muy importante las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (TIC), concebidas como el conjunto de tecnologías que permiten la adquisición, producción, almacenamiento, tratamiento, comunicación, registro y presentación de la información. Los estudios sobre el uso de las TIC en el proceso de enseñanza aprendizaje son numerosos y variados.

Una sistematización realizada por diversos autores [3-5] permite identificar los siguientes rasgos distintivos:

- Las TIC apoyan el desarrollo de los procesos de enseñanza y aprendizaje poniendo a disposición de los estudiantes diversas alternativas para conseguir de manera sencilla los objetivos de aprendizaje, debido a ello se consideran herramientas versátiles.
- El uso y aplicación de las TIC no es estandarizado. Su empleo depende, en gran medida, de la capacidad y habilidades de todos los actores involucrados en la acción formativa, estudiantes y docentes y de las interacciones que estos tengan con los recursos electrónicos.
- Las TIC en las prácticas pedagógicas ayudan a desarrollar competencias en los estudiantes en base a las exigencias del mundo actual y por ello se necesita en correspondencia con los retos de la educación del siglo XXI.
- El uso de las tecnologías de la información y comunicación se constituyen en un elemento más para lograr que la educación se oriente a formar individuos que dispongan de un panorama personal que los ubique en el contexto global, una habilitación instrumental y la capacidad de aprender ante un entorno cambiante.
- El hecho de que los estudiantes disfruten y se emocionen trabajando con tecnología puede ser una ventaja a largo plazo, ya que puede generar dos beneficios: una mejor comprensión debido al acopio de conocimientos y la habilidad para su uso y aplicación.
- Las TIC contribuyen a la ruptura de las barreras espacio-temporales a las que se ha visto transformado el proceso de enseñanza.

A pesar de todas las ventajas y oportunidades que ofrecen las TIC, estudios sobre el tema confirman que no han sido suficientemente explotadas estas herramientas como parte de las estrategias para fomentar el aprendizaje significativo. Algunas de las causas que se le atribuyen a esta problemática, según diversos autores [6-9] son: limitaciones e insuficiencias en la aplicación de las políticas educacionales, exigua infraestructura tecnológica en las instituciones docentes, desidia e insuficiente preparación tecnológica o desactualización de los docentes encargados de su explotación en beneficio de la formación de las nuevas generaciones, que necesitan superar las metodologías de enseñanza y aprendizaje tradicionales y para ello requieren de capacitación no solo sobre el uso de las TIC desde un punto de vista puramente instrumental sino también desde una perspectiva metodológica.

En la enseñanza de la Ingeniería Eléctrica en la Universidad de Camagüey se pueden mostrar algunos resultados alentadores con el uso de las TIC en el proceso docente. Hay que destacar que la pandemia de la COVID influyó de forma favorable en la auto-superación de los docentes para enfrentar este reto. La enseñanza de los accionamientos eléctricos, dentro de la carrera, se ha convertido en uno de los líderes de este proceso. Ubicado en el ciclo del perfil de la profesión, el estudio de los accionamientos eléctricos desempeña un papel crucial en numerosas aplicaciones de la ingeniería eléctrica, sirviendo como la columna vertebral de varios procesos industriales y sistemas de transporte. Comprender el comportamiento de los motores eléctricos y su interacción con las cargas mecánicas es fundamental no solo en la ingeniería eléctrica sino también en la mecánica y mecatrónica.

El estudio de las características mecánicas constituye una herramienta fundamental para analizar y comprender el comportamiento de los motores eléctricos. El objetivo del presente trabajo consiste en analizar la aplicación de las herramientas innovadoras Geogebra y Jupyter Notebooks, softwares de código abierto para computación interactiva, en la enseñanza de los accionamientos eléctricos y en especial para el estudio de las características mecánicas y las cargas mecánicas de los motores eléctricos.

## **DESARROLLO**

La característica mecánica representa la relación entre la salida de par del motor y su velocidad de rotación. Esta curva proporciona información valiosa sobre el rendimiento y el régimen de operación de los motores eléctricos, lo que permite a los ingenieros optimizar su diseño, control y selección.

La forma y los parámetros de la curva dependen de la construcción del motor, las variables eléctricas y las cargas mecánicas. Al estudiar las características mecánicas, los ingenieros pueden determinar la eficiencia del motor, la potencia máxima de salida y la idoneidad para aplicaciones específicas [10, 11]. En la experiencia de los autores, extraer conceptos relevantes y comprender los efectos de los parámetros del motor y las variables eléctricas de las características mecánicas puede ser un desafío para los estudiantes. La naturaleza compleja de estas curvas, combinada con los principios matemáticos y de ingeniería subyacentes, a menudo conduce a una mala comprensión de su significado. En consecuencia, los estudiantes pueden tener dificultades para aplicar este conocimiento en escenarios del mundo real, lo que dificulta su capacidad para diseñar y solucionar problemas de sistemas de accionamiento eléctrico de manera efectiva [12, 13].

Para abordar estas dificultades y mejorar el aprendizaje de los estudiantes, se propone la integración de las herramientas computacionales Geogebra y Jupyter Notebooks en la enseñanza de los accionamientos eléctricos. Geogebra, un *software* de matemáticas dinámicas, permite a los estudiantes visualizar y manipular las características mecánicas, fomentando una comprensión más profunda de las relaciones entre los parámetros del motor y sus cargas mecánicas. Además, los portátiles Jupyter proporcionan un entorno versátil para el desarrollo de código y el análisis de datos, lo que facilita la exploración práctica de las características del motor a través de simulaciones y ejercicios interactivos [12].

Al incorporar Geogebra y Jupyter Notebooks en aplicaciones de accionamiento eléctrico, se pretende promover el aprendizaje activo, mejorar la comprensión conceptual y desarrollar las habilidades de resolución de problemas en los estudiantes de Ingeniería Eléctrica. Este artículo presenta la estructura, implementación y evaluación de un módulo de curso que incorpora estas herramientas. Los resultados preliminares sugieren que la integración de Geogebra y Jupyter Notebooks puede mejorar significativamente la comprensión de los estudiantes sobre las características mecánicas y su aplicación en la práctica de la ingeniería.

Geogebra es una herramienta de software potente y versátil que combina geometría dinámica, álgebra y cálculo en una interfaz interactiva e intuitiva. Permite a los usuarios visualizar conceptos matemáticos, explorar relaciones y crear simulaciones interactivas [13]. Geogebra proporciona una variedad de funciones, como gráficos, construcción de geometría, capacidades de hoja de cálculo y funcionalidad del sistema de álgebra computacional (CAS). Este software permite a los educadores crear visualizaciones dinámicas de las características mecánicas y otros modelos matemáticos, fomentando la participación de los estudiantes y facilitando una comprensión más profunda de conceptos complejos [10].

Jupyter Notebooks, por otro lado, proporciona un entorno informático interactivo para el desarrollo de código, el análisis de datos y la documentación. Permiten a los usuarios crear y compartir documentos que combinan código en vivo, visualizaciones y texto explicativo. Jupyter Notebooks admite varios lenguajes de programación, incluido Python, que se usa ampliamente en aplicaciones de ingeniería y computación científica. Al aprovechar Jupyter Notebooks, los educadores pueden proporcionar a los estudiantes experiencias prácticas en el análisis y la manipulación de las características mecánicas a través de la programación, mejorando su pensamiento computacional y sus habilidades de resolución de problemas [12].

La integración de Geogebra y Jupyter Notebooks ofrece una poderosa combinación para la enseñanza de accionamientos eléctricos. La interfaz interactiva y las capacidades de visualización de Geogebra permiten a los estudiantes explorar las características mecánicas y observar los efectos de diferentes parámetros del motor y cargas mecánicas en tiempo real. Los portátiles Jupyter, por otro lado, proporcionan una plataforma flexible para que los estudiantes desarrollen simulaciones basadas en código, realicen análisis de datos y cálculos relacionados con las características mecánicas [12].

Al combinar Geogebra y Jupyter Notebooks, los educadores pueden crear un entorno de aprendizaje dinámico e interactivo que promueva la participación de los estudiantes y facilite la exploración de las características mecánicas en los accionamientos eléctricos. Estas herramientas permiten a los estudiantes experimentar con diferentes datos de motores, observar el impacto de las variables y desarrollar una comprensión más profunda de los principios y conceptos subyacentes [12].

Esta investigación pretende contribuir al campo de la educación en ingeniería de varias maneras significativas:

1. **Mejora de la comprensión conceptual:** al aprovechar las capacidades interactivas de Geogebra, los estudiantes pueden visualizar y manipular las características mecánicas, lo que lleva a una comprensión más profunda de las relaciones entre los parámetros del motor y sus cargas mecánicas. A través de Jupyter Notebooks, los estudiantes pueden desarrollar simulaciones basadas en código y realizar análisis de datos.
2. **Promoción del aprendizaje activo:** la integración de Geogebra y Jupyter Notebooks fomenta la participación activa de los estudiantes en el proceso de aprendizaje. Los estudiantes pueden interactuar con visualizaciones dinámicas, realizar simulaciones y explorar escenarios del mundo real, lo que les permite construir conocimientos de forma activa y desarrollar una comprensión más completa de los accionamientos eléctricos.

3. **Fomento de las habilidades de resolución de problemas:** al trabajar con Geogebra y Jupyter Notebooks, los estudiantes pueden abordar problemas de ingeniería complejos relacionados con las características mecánicas. Estas herramientas brindan una plataforma para que los estudiantes desarrollen el pensamiento computacional y las habilidades de resolución de problemas mientras analizan y manipulan las curvas, investigan diferentes escenarios y toman decisiones informadas basadas en sus hallazgos.
4. **Puentes entre teoría y práctica:** Geogebra y Jupyter Notebooks permiten a los estudiantes cerrar la brecha entre los conceptos teóricos y las aplicaciones prácticas. A través de simulaciones y ejercicios interactivos, los estudiantes pueden explorar el impacto de los parámetros del motor y las cargas mecánicas en las características mecánicas, lo que facilita su capacidad para diseñar, solucionar problemas y optimizar los sistemas de accionamiento eléctrico en escenarios del mundo real.

### **Fundamentos teóricos que respaldan el uso de cuadernos Geogebra y Jupyter**

La integración de Geogebra y Jupyter Notebooks en la enseñanza de accionamientos eléctricos está respaldada por varios fundamentos teóricos que destacan sus beneficios pedagógicos y su alineación con las tendencias actuales en la educación en ingeniería. Los siguientes marcos teóricos proporcionan una base para comprender la lógica detrás del uso de estas herramientas:

**Constructivismo:** Geogebra y Jupyter Notebooks se alinean con el enfoque constructivista del aprendizaje, que enfatiza la construcción activa del conocimiento por parte de los alumnos. Geogebra permite a los estudiantes interactuar con visualizaciones dinámicas de las características mecánicas, lo que les permite explorar y descubrir relaciones entre los parámetros del motor y las cargas mecánicas [12,14]. Este compromiso práctico facilita la construcción de la comprensión conceptual a medida que los estudiantes manipulan las curvas y observan los efectos de sus acciones.

**Aprendizaje activo:** Geogebra y Jupyter Notebooks respaldan los principios de aprendizaje activo al brindarles a los estudiantes oportunidades para participar en tareas significativas e interactivas. La naturaleza dinámica de Geogebra permite a los estudiantes participar activamente en la exploración de las características mecánicas, mientras que los portátiles Jupyter permiten a los estudiantes desarrollar simulaciones basadas en código y realizar análisis de datos [12]. Estas actividades fomentan la participación de los estudiantes y promueven el aprendizaje profundo a través de enfoques basados en la resolución activa de problemas y la investigación.

**Pensamiento computacional:** el uso de Jupyter Notebooks facilita el desarrollo de habilidades de pensamiento computacional en la educación en ingeniería. El pensamiento computacional implica la resolución de problemas, el pensamiento algorítmico, el análisis de datos y el razonamiento lógico, que son habilidades esenciales para los ingenieros. Los portátiles Jupyter proporcionan una plataforma para que los estudiantes escriban y ejecuten código, lo que les permite analizar las características mecánicas, realizar cálculos y visualizar datos, mejorando así sus habilidades de pensamiento computacional.

**Visualización y comprensión conceptual:** las capacidades de visualización de Geogebra mejoran la comprensión conceptual de las características mecánicas de los estudiantes. Al manipular las curvas en tiempo real, los estudiantes pueden observar las relaciones entre los parámetros del motor y sus cargas mecánicas, lo que lleva a una comprensión más profunda de los principios subyacentes. La visualización promueve la conexión entre conceptos matemáticos abstractos y sus aplicaciones del mundo real, fomentando una comprensión más holística e intuitiva de los accionamientos eléctricos.

**Aprendizaje colaborativo:** Geogebra y Jupyter Notebooks facilitan las experiencias de aprendizaje colaborativo, lo que permite a los estudiantes trabajar juntos en proyectos, compartir código e intercambiar ideas. El aprendizaje colaborativo promueve la participación activa, la interacción entre pares y la construcción de conocimientos a través de interacciones sociales [12]. Geogebra y Jupyter Notebooks brindan una plataforma para que los estudiantes colaboren, discutan diferentes enfoques y aprendan unos de otros, mejorando sus resultados de aprendizaje y fomentando un sentido de comunidad en el aula.

Al aprovechar estos fundamentos teóricos, la integración de Geogebra y Jupyter Notebooks en la enseñanza de los accionamientos eléctricos ofrece un enfoque pedagógicamente sólido que se alinea con los principios de aprendizaje constructivista, promueve el aprendizaje activo y colaborativo, mejora el pensamiento computacional y facilita la visualización para una mejor comprensión conceptual.

### **Aplicación de la propuesta en la enseñanza de los accionamientos eléctricos**

La introducción de Geogebra como herramienta para el análisis de características mecánicas ha revolucionado el enfoque tradicional de los estudiantes en el desarrollo de las tareas extra clases. En lugar de depender únicamente de datos de catálogo y métodos convencionales, los estudiantes ahora pueden utilizar Geogebra para obtener un cuaderno digital con ecuaciones precisas y un formato adecuado para su presentación. Además, Geogebra ofrece la ventaja adicional de identificar puntos notables en las características mecánicas y trazar líneas auxiliares, lo que facilita el análisis y la comprensión del comportamiento de los motores estudiados.

Esta integración ha mejorado significativamente la capacidad de los estudiantes para visualizar y comprender las características mecánicas de los motores, lo que a su vez promueve un mayor nivel de aprendizaje y aplicación práctica de los conceptos. La utilización de Geogebra en el análisis de características mecánicas de motores ha demostrado múltiples ventajas en comparación con el enfoque tradicional.

En primer lugar, los estudiantes pueden presentar los resultados de manera más adecuada y profesional gracias a la generación de gráficos de alta calidad y la exportación en diferentes formatos. Además, Geogebra facilita la identificación de puntos notables como el punto de potencia máxima y el punto de torque máximo, lo que permite un análisis más profundo del comportamiento del motor en diferentes condiciones de operación. Así mismo, la posibilidad de trazar líneas auxiliares en los gráficos brinda a los estudiantes una herramienta adicional para evaluar la eficiencia y el rendimiento del motor en diversas situaciones. En conjunto, estas ventajas han mejorado significativamente el proceso de análisis de características mecánicas de motores y han enriquecido el aprendizaje de los estudiantes en este campo de estudio.

Lo expresado anteriormente se ilustra mediante en la figura 1. Se trata de las características mecánicas para el arranque por pasos de resistencia en función de la corriente de un motor de corriente directa con excitación independiente. Se escribieron las ecuaciones para calcular los valores de cuatro pasos de resistencia. Los valores  $k_{min}$  y  $k_{max}$  expresan el par mínimo y máximo respectivamente en por unidad. Estos valores pueden modificarse interactivamente en los controladores que se muestran en la esquina superior derecha del gráfico. En la parte izquierda de la figura 1, pueden verse los datos y algunas de las ecuaciones empleadas. Nótese que el gráfico utiliza las unidades de medida correctas en sus ejes y las líneas discontinuas muestran el punto en que se produce el cambio del valor de la resistencia en serie del circuito. Este recurso permite estudiar distintos motores cambiando muy rápidamente los datos del catálogo. El programa que permite la obtención de la figura 1, se encuentra disponible en: <https://www.geogebra.org/m/jjjj6vw2>.

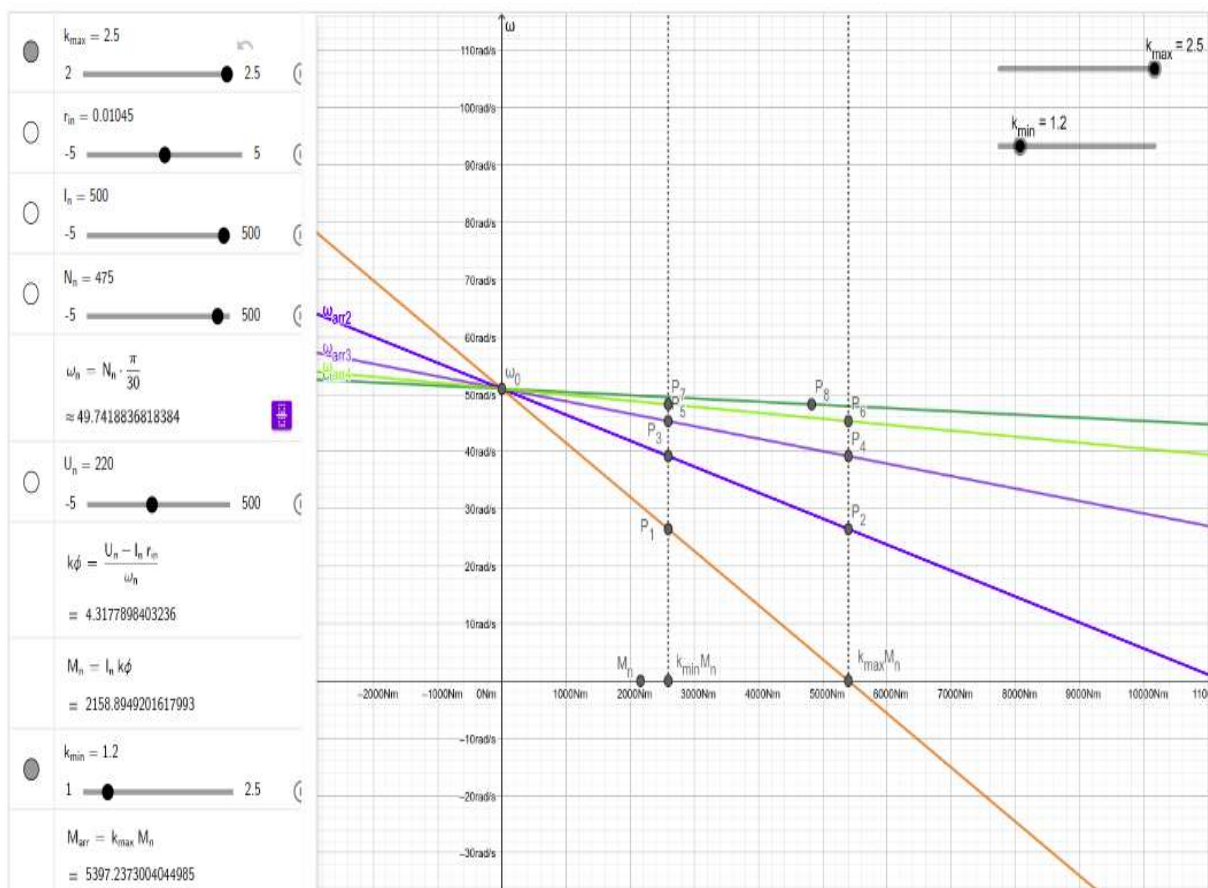


Fig. 1. Arranque por resistencias de un motor de CD en Geogebra. Fuente: Elaboración propia

En la figura 2, se muestran la característica mecánica natural y artificial del motor asincrónico de corriente alterna. Puede verse también la característica de velocidad (Corriente en función de la velocidad) para ambos casos. En la esquina superior derecha del gráfico puede variarse interactivamente el valor de la resistencia adicional del rotor para el caso de la característica artificial. Se muestran los puntos críticos de corriente y momento de arranque, velocidad sincrónica y momento crítico motor. El estudiante encuentra en la parte izquierda del recurso las mismas ecuaciones estudiadas en clases de conjunto con los valores del motor empleado. Los programas que sustentan la figura 2, se encuentran disponible en: <https://www.geogebra.org/m/sdgfbhzh>.

En este gráfico se ha incluido la etiqueta con los cuadrantes de operación. Una de las limitaciones más importantes de Geogebra para el estudio de las características mecánicas del motor de corriente alterna consiste en que no puede trazarse la gráfica de  $\omega = f(M)$  de forma expedita pues esta relación no constituye propiamente una función. Eso se debe a que la curva  $M = f(\omega)$ , mostrada en la figura 2, no es inyectiva. Esta representación gráfica, aunque es bastante común en la literatura, no es consistente con la que estudiamos en clases (compárese con la figura 1). El hecho de no mostrar los ejes de la forma habitual complejiza el análisis del régimen de operación del motor.

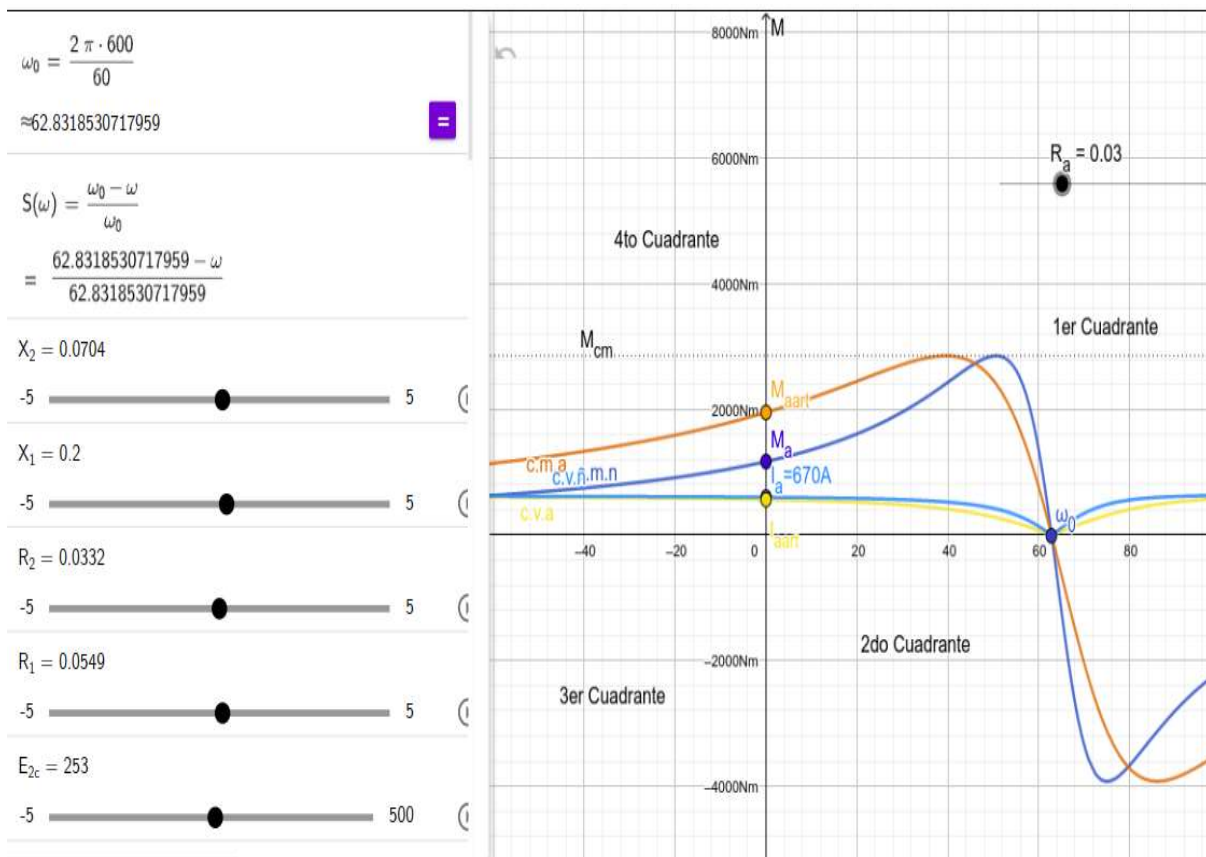


Fig. 2. Características mecánicas del motor de CA. Fuente: Elaboración propia

Otro inconveniente de los recursos de Geogebra es que no permite incorporar texto de una forma conveniente para elaborar la teoría asociada a los gráficos y las ecuaciones. Teniendo en cuenta estas limitaciones, decidimos incorporar Jupyter Notebooks en la asignatura. La utilización de Jupyter Notebooks en el estudio de las características mecánicas en los accionamientos eléctricos presenta diversas ventajas significativas. En primer lugar, el uso de Python para la computación numérica permite a los estudiantes desarrollar habilidades en programación y análisis de datos, lo cual es fundamental en el campo de la ingeniería. Python es un lenguaje de programación ampliamente utilizado en la comunidad científica y ofrece numerosas bibliotecas y herramientas que facilitan el procesamiento de datos y la visualización de resultados.

Además, la capacidad de trazar curvas en Jupyter Notebooks es similar a la aproximación de Matlab, ampliamente utilizado en la enseñanza de la ingeniería [15] y forma parte del currículum de la carrera. Esta familiaridad con la representación gráfica de datos permite a los estudiantes comprender y analizar de manera efectiva las características mecánicas de los accionamientos eléctricos. Al combinar imágenes con circuitos de control y fuerza, texto con ecuaciones en formato LaTeX y el código fuente en el entorno de los gráficos, los cuadernos proporcionan un recurso integral e interactivo para el aprendizaje.

Además, la posibilidad de visualizar directamente los cuadernos en plataformas como GitHub y la opción de editarlos de manera colaborativa utilizando Google Colab promueven el trabajo en equipo y la cooperación entre los estudiantes. Esto facilita el intercambio de conocimientos y la resolución conjunta de problemas, fomentando así un ambiente de aprendizaje más participativo y enriquecedor. En conclusión, Jupyter Notebooks ofrece una herramienta versátil y accesible que permite a los estudiantes explorar y comprender las características mecánicas en los accionamientos eléctricos de manera efectiva, aprovechando las ventajas de Python, la representación gráfica, la integración de imágenes y el entorno colaborativo.

En la figura 3, puede verse parte de un cuaderno para el estudio del control del motor de corriente alterna por variación de frecuencia para cargas de momento constante. Las gráficas muestran la ley de mando y las características mecánicas del motor y la carga. Puede verse el punto de operación nominal, así como el momento y la velocidad crítica resaltados en la gráfica. Justo debajo de las gráficas se incluyen los indicadores estacionarios de regulación. En la parte derecha de la figura 3, mostramos parte de la deducción de las ecuaciones utilizadas y los valores calculados a partir de los datos del motor. En la parte inferior derecha de la figura puede verse parte del código empleado. Los resultados que se muestran en la figura 3, se obtuvieron a partir de un programa disponible en <https://github.com/vladimir1284/AccNotebooks/blob/master/Frecuencia.ipynb>.

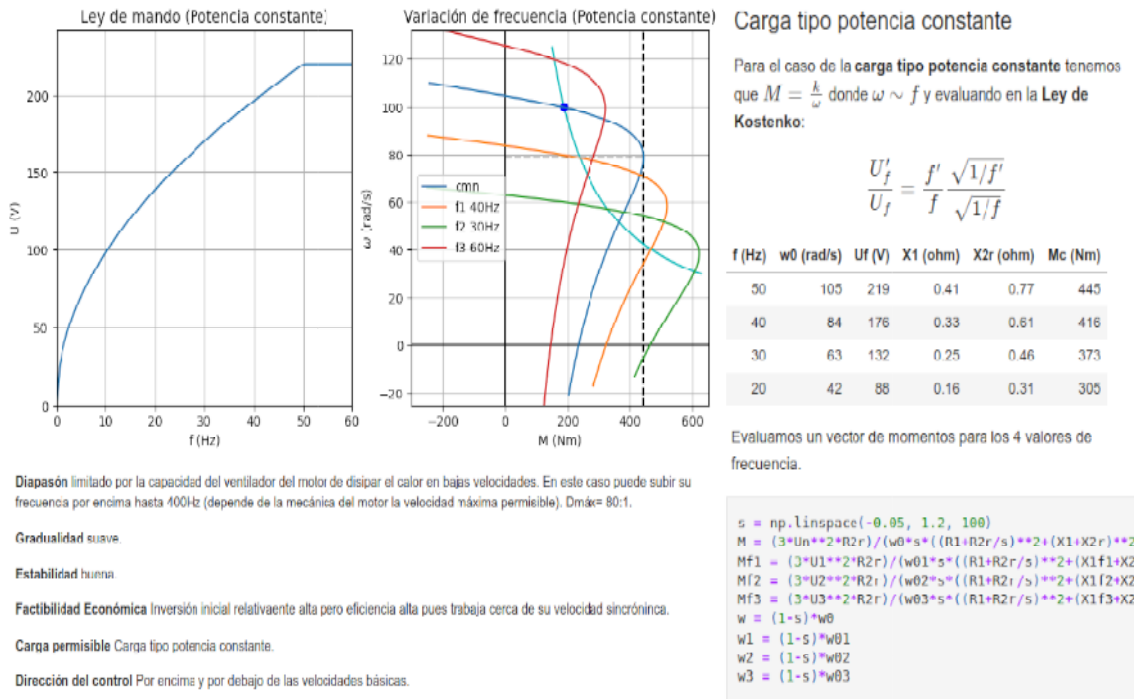


Fig. 3. Características mecánicas del control por variación de frecuencia del motor de CA. Fuente: Elaboración propia

El diseño de los cuadernos presentados se encuentra basado en los resúmenes elaborados por los estudiantes como preparación para los exámenes de la asignatura, tal como se muestra en la figura 4. Estos resúmenes buscan abarcar los tres elementos fundamentales de cada técnica de control en un mismo espacio, es decir, los circuitos, las características mecánicas y los indicadores estacionarios de regulación. Sin embargo, es importante tener en cuenta que el uso exclusivo de estos resúmenes para el estudio conlleva la introducción frecuente de errores que se asimilan de manera permanente.

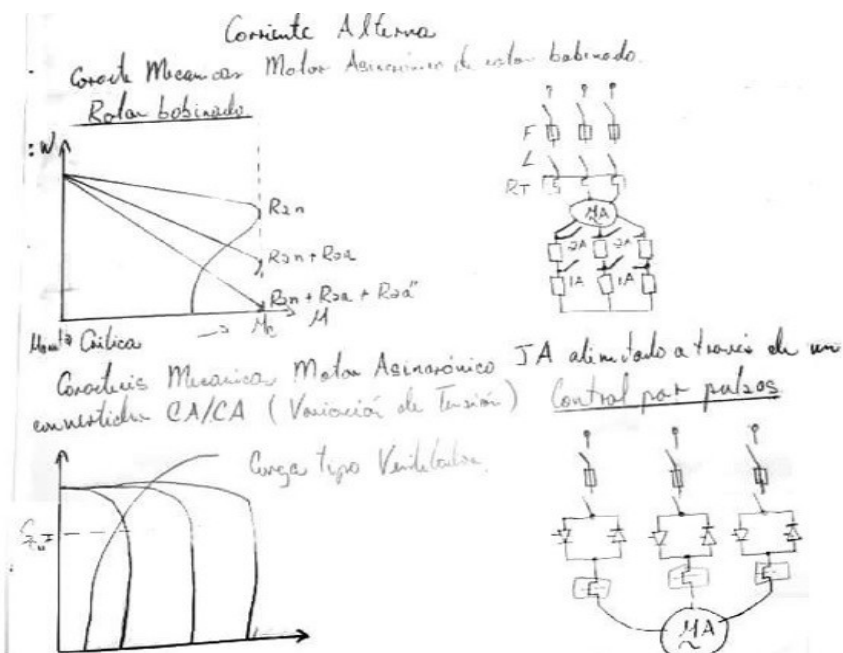


Fig. 4. Resumen de los métodos de control del motor de CA elaborado por un estudiante del curso

La introducción de Geogebra como herramienta para el análisis de características mecánicas ha revolucionado la forma en que los estudiantes abordan el estudio de motores y accionamientos eléctricos. Geogebra proporciona un cuaderno digital interactivo con ecuaciones precisas y gráficos de alta calidad, lo que permite a los estudiantes presentar sus resultados de manera profesional. Además, Geogebra facilita la identificación de puntos notables y trazado de líneas auxiliares, lo que mejora el análisis y la comprensión del comportamiento de los motores. Sin embargo, Geogebra tiene algunas limitaciones, como la representación gráfica de las características mecánicas de motores de corriente alterna.

Para superar estas limitaciones, se ha incorporado el uso de Jupyter Notebooks, que ofrece ventajas significativas como el desarrollo de habilidades de programación y análisis de datos utilizando Python, la familiaridad con la representación gráfica de datos y la capacidad de compartir y colaborar en el trabajo en equipo. En conclusión, tanto Geogebra como Jupyter Notebooks brindan recursos integrales e interactivos para el estudio y comprensión de las características mecánicas de los motores y accionamientos eléctricos, enriqueciendo el aprendizaje de los estudiantes en este campo de estudio.

## DISCUSIÓN Y RESULTADOS

Para evaluar la efectividad de la integración de Geogebra y Jupyter Notebooks en la enseñanza de los accionamientos eléctricos, se realizó una evaluación con tres grupos de estudiantes correspondientes a los años 2021, 2022 y 2023. El primer grupo (2021) estuvo conformado por 25 estudiantes que se estudiaron utilizando el enfoque tradicional, sin el uso de Geogebra o Jupyter Notebooks. El segundo grupo (2022) estuvo compuesto por 23 estudiantes que recibieron instrucción con la inclusión de los recursos de Geogebra. El último grupo (2023) estaba formado por 13 estudiantes que utilizaron tanto Geogebra como Jupyter Notebooks.

La evaluación pretende medir el impacto de estas herramientas en los resultados de aprendizaje de los estudiantes y su capacidad para comprender y analizar las características mecánicas. Los resultados se evaluaron mediante una escala de calificación, con puntajes que van desde 2 (suspendido) a 5 (excelente). La tabla 1, presenta un resumen de los resultados cuantitativos.

**Tabla 1.** Resultados del experimento. Fuente: Elaboración propia

Grupo	Estudiantes	Recursos	Resultados
2021	25	Método Tradicional	10 (Bien), 8 (Regular), 7 (Suspenso)
2022	23	Geogebra	12 (Excelente), 9 (Bien), 2 (Regular)
2023	13	Geogebra + Jupyter Notebooks	8 (Excelente), 4 (Bien), 1 (Regular)

Los resultados de la evaluación demuestran la efectividad potencial de integrar Geogebra y Jupyter Notebooks para mejorar la comprensión de los estudiantes de las características mecánicas en los accionamientos eléctricos. En el grupo que utilizó Geogebra (2022), 12 estudiantes lograron un nivel excelente, 9 estudiantes se desempeñaron en un nivel bueno y 2 estudiantes alcanzaron un nivel regular. Estos hallazgos se alinean con estudios previos que han resaltado el impacto positivo de Geogebra en la comprensión conceptual y el compromiso de los estudiantes.

Además, en el grupo que utilizó Geogebra y Jupyter Notebooks (2023), 8 estudiantes lograron un nivel excelente, 4 estudiantes se desempeñaron en un nivel bueno y 1 estudiante alcanzó un nivel regular. La incorporación de Jupyter Notebooks complementa las funciones interactivas y visuales de Geogebra, lo que permitió a los estudiantes profundizar su comprensión de las características mecánicas a través de simulaciones basadas en código, análisis de datos y pensamiento computacional [14].

Es importante señalar que la evaluación se basó en una escala de calificaciones y criterios específicos establecidos para cada nivel. Los aspectos cualitativos de las experiencias de aprendizaje de los estudiantes, como su compromiso, habilidades para resolver problemas y pensamiento computacional, no se evaluaron directamente en esta evaluación cuantitativa. Se requieren más investigaciones y evaluaciones para proporcionar una comprensión integral del impacto holístico de Geogebra y Jupyter Notebooks en la educación en ingeniería.

En general, los resultados de la evaluación sugieren que la integración de Geogebra y Jupyter Notebooks en la enseñanza de los accionamientos eléctricos puede influir positivamente en los resultados de aprendizaje de los estudiantes, como lo demuestra la mejora de los niveles de rendimiento y la comprensión de las características mecánicas. Estos hallazgos contribuyen al creciente cuerpo de investigación que respalda el uso de herramientas mejoradas con tecnología en la educación en ingeniería y resaltan el potencial de Geogebra y Jupyter Notebooks como recursos educativos efectivos.



## CONCLUSIONES

La integración de las herramientas computacionales Geogebra y Jupyter Notebooks en la enseñanza de accionamientos eléctricos en Ingeniería Eléctrica constituye una alternativa para abordar los desafíos que enfrentan los estudiantes ante la comprensión de las características mecánicas y los efectos de los parámetros del motor y las variables eléctricas. Los hallazgos del experimento realizado mostraron el potencial de Geogebra y Jupyter Notebooks para mejorar los resultados de aprendizaje de los estudiantes. El grupo que utilizó Geogebra demostró un mejor desempeño, con un número significativo de estudiantes logrando niveles de comprensión excelentes y buenos. La posterior integración de Jupyter Notebooks mejoró aún más las habilidades de pensamiento computacional de los estudiantes y su capacidad para analizar e interpretar las características mecánicas.

Las contribuciones clave de este estudio radican en los beneficios pedagógicos que ofrecen Geogebra y Jupyter Notebooks. Estas herramientas se alinean con los principios de aprendizaje constructivista, promoviendo el compromiso activo, la colaboración y la visualización. Al interactuar con curvas dinámicas de las características mecánicas y realizar simulaciones basadas en código, los estudiantes pudieron construir su comprensión de los accionamientos eléctricos, mejorando su comprensión conceptual del tema. La implementación exitosa de Geogebra y Jupyter Notebooks destaca el potencial de integrar herramientas interactivas para mejorar los resultados de aprendizaje y la participación de los estudiantes. La naturaleza interactiva y práctica de estas herramientas se puede aplicar a otras disciplinas de ingeniería, lo que permite a los estudiantes explorar conceptos complejos y desarrollar habilidades esenciales en un entorno de aprendizaje de apoyo.

## REFERENCIAS

- [1]. Camizán García H, *et al.* “Estrategias de aprendizaje”. Revista Tecnología y Humanismo, 2021; vol. 1, n. 8, p. 1 – 20. ISSN 2710-2394. Disponible en: <https://tecnohumanismo.online/index.php/tecnohumanismo/article/view/40>
- [2]. Maldonado M. “Estrategias de aprendizaje para el desarrollo de la autonomía de los estudiantes de secundaria”. Revista Propósitos y Representaciones, 2019; vol. 7, n. 2, p. 415-439. ISSN 2307-7999. Disponible en: <http://www.scielo.org.pe/pdf/pyr/v7n2/a16v7n2.pdf>
- [3]. Moreira Sánchez P. “Las TIC en el aprendizaje significativo y su rol en el desarrollo cognitivo de los estudiantes”. Revista ReHuSo, 2019; vol. 4, n. 2, p. 1 – 20. E-ISSN 2550-6587. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=673171022012>
- [4]. Téllez Ramírez M. “Pensamiento computacional: una competencia del siglo XXI”. Revista Educación Superior, 2019; vol. 6, n. 1, p. 24-32. ISSN 2518 – 8283. Disponible en: [http://www.scielo.org.bo/pdf/escepics/v6n1/v6n1\\_a07.pdf](http://www.scielo.org.bo/pdf/escepics/v6n1/v6n1_a07.pdf)
- [5]. García, M. M.; Diaz, d. I. C. J.; Coloma, R. O. “Estrategia para la integración de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones en la formación inicial de docentes”. Revista EduSol, 2021, vol. 21, n. 75. ISSN: 1729-8091. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=475768571008>
- [6]. Espinoza Freire E. E., Jaramillo Martínez M., Cun Jaramillo J. “La implementación de las TIC en el proceso de enseñanza aprendizaje”. Revista Metropolitana de Ciencias Aplicadas, 2018; vol. 1, n. 3, p. 10-17. Disponible en: <https://remca.umet.edu.ec/index.php/REMCA/article/view/46>
- [7]. Camboza Alcívar Y. R., Yáñez Rodríguez M., Carolina Rivas Y. “El uso de las TIC en el proceso de enseñanza – aprendizaje”. Revista Atlante: Cuadernos de Educación y Desarrollo, 2021. ISSN: 1988 7833. Disponible en: <https://www.eumed.net/es/revistas/atlante/2021-enero/uso-tic-ensenanza>
- [8]. Granda Asencio L. Y., Espinoza Freire E. E., Mayon Espinoza S. E. “Las TIC como herramientas didácticas del proceso de enseñanza-aprendizaje”. Revista Conrado, 2019; vol. 15, n. 66, p. 104-110. ISSN 1990-8644. Disponible en: [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1990-86442019000100104](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1990-86442019000100104)
- [9]. Gavilanes Sagñay M. A., Yanza Chávez W. G., Inca Falconi I. F. “Las TICs en los procesos de enseñanza y aprendizaje”. Revista Ciencia Digital, 2019; vol. 3, n. 2, p. 422 – 439. ISSN 2602-8085. Disponible en: <https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKewjsirDdk9qBAxVVtoQIHd9IDVoQFnoECAoQAQ&url=https%3A%2F%2Fcienciadigital.org%2Frevistacienciadigital%2Findex.php%2FCienciaDigital%2Farticle%2Fdownload%2F575%2F1382%2F&usq=AOvVaw2irFjzDdyt-XxUQovAO-mR&opi=89978449>
- [10]. Escobar-Sandoval, J. E., *et al.* “Uso del programa MATLAB / SIMULINK en la descripción de motores eléctricos de corriente alterna. Análisis documental”. Dominio De Las Ciencias, 2020, vol. 6, n. 5, p. 348–360. ISSN 2477-8818. Disponible en: <https://dominiodelasciencias.com/ojs/index.php/es/article/view/1605>
- [11]. Camacho Ríos A., Sánchez Luján B. I. y Caldera-Franco M. “Fidelidad y praxeologías en aplicaciones didácticas desarrolladas para la resolución de expresiones matemáticas”. Revista Texto Livre Linguagem e Tecnologia, 2021; vol. 14, n. 3, p. 1-11, DOI:10.35699/1983-3652.2021.35052. Disponible en <https://www.scielo.br/j/tl/a/95hrVmRYTqwHc8RcC9qHn4M/?format=pdf&lang=es>

- [12]. Alomá Bello M., *et al.* “Fundamentos cognitivos y pedagógicos del aprendizaje activo”. Revista de Educación Mendeive, 2022; vol. 20, n. 4, p. 1353 – 1368. ISSN 1815-7696. Disponible en: <https://mendive.upr.edu.cu/index.php/MendiveUPR/article/view/3128>
- [13]. Zaid SK, Rahim NA, Radzi MA. “Enhancing Students' Understanding on Electrical Machines Principles Using MATLAB GUI: Torque-Speed Characteristic Analysis”, in Proc. of 2019 IEEE 9th Symposium on Computer Applications & Industrial Electronics (ISCAIE), 2019. Disponible en: <https://ieeexplore.ieee.org/xpl/conhome/8740332/proceeding>
- [14]. Kluyver T., Ragan-Kelley B., Pérez F. “Jupyter Notebooks-a publishing format for reproducible computational workflows”. En ELPUB, 2016, p. 87 - 90. Disponible en: <https://eprints.soton.ac.uk/403913/1/STAL9781614996491-0087.pdf>
- [15]. Le Roux P. F., and Mgwenyama. “Static and Dynamic Simulation of an Induction Motor Using Matlab/Simulink”. Energies, 2022, vol. 15, n. 10, e3564. Disponible en: <https://www.mdpi.com/1996-1073/15/10/3564>

## CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran que no hay conflictos de intereses.

## CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

**Milagros Diez Rodríguez:** <https://orcid.org/0009-0005-3511-1805>

Revisión del estado del arte, diseño de la investigación, recolección de datos y procesamiento, simulación, análisis de los resultados ,redacción del artículo y revisión crítica del contenido hasta su aprobación final.

**Imandra Rojas Díaz:** <https://orcid.org/0000-0002-3355-2819>

Revisión del estado del arte, diseño de la investigación, recolección de datos y procesamiento, simulación, análisis de los resultados ,redacción del artículo y revisión crítica del contenido hasta su aprobación final.

**Vladimir Rodríguez Diez:** <https://orcid.org/0000-0003-0645-3716>

Revisión del estado del arte, análisis de los resultados y la revisión crítica de su contenido y la aprobación final.

**Laritz Coello Guilarte:** <https://orcid.org/0000000343491623>

Revisión del estado del arte, recolección de datos y procesamiento, programación y corrida del software, simulación, análisis de los resultados , redacción del borrador del artículo y la aprobación final.