

## Impacto de las Máquinas Eléctricas en el Marco de la Transición Energética, Gestión de Activos y Reducción de la Huella de Carbono

Vladimir Sousa Santos

Universidad de la Costa, Calle 58 # 55 – 66, Barranquilla, Colombia.

### Resumen

Esta ponencia destaca la relevancia de los motores eléctricos, que representan el 68% del consumo eléctrico industrial, en la transición energética, la gestión eficiente de activos y la reducción de la huella de carbono. Examina barreras como el uso de motores ineficientes, calidad de la potencia eléctrica y falta de monitoreo, proponiendo un análisis técnico-económico de su ciclo de vida. Se evidencian ahorros energéticos del 20-30% y reducción de emisiones con tecnologías eficientes, como motores modernos y variadores de frecuencia, contribuyendo a reducir en un 10% la demanda global de electricidad. Se resalta la antigüedad de motores en países como Colombia, exigiendo renovación y políticas públicas que superen barreras financieras y técnicas. Se explica, además, como la academia, mediante formación e investigación, impulsa soluciones innovadoras como inteligencia artificial, gemelos digitales y colaboración con la industria para lograr sostenibilidad.

### Introducción

La transición energética y la sostenibilidad ambiental constituyen objetivos prioritarios para mitigar el cambio climático y garantizar un desarrollo industrial sostenible. En este contexto, las máquinas eléctricas, particularmente los motores eléctricos, desempeñan un papel crucial. Estos equipos representan el 68% del consumo eléctrico industrial global y son fundamentales para optimizar el uso de la energía, reducir la huella de carbono y facilitar la integración de fuentes renovables [1]. Sin embargo, su contribución efectiva se ve afectada por barreras como el uso de motores ineficientes, problemas de calidad en la potencia eléctrica y la falta de sistemas de monitoreo adecuados [2].

Este trabajo tiene como objetivo proponer estrategias basadas en avances tecnológicos y gestión eficiente de activos para mejorar la eficiencia energética y reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> en motores eléctricos industriales. La implementación de tecnologías como variadores de frecuencia (VFD), motores de alta eficiencia y sistemas de monitoreo inteligente permite alcanzar

ahorros energéticos del 20% al 30% [3], contribuyendo a una reducción significativa de la demanda global de electricidad.

Además, se analiza el impacto de las malas prácticas operativas y la antigüedad de los motores eléctricos en países como Colombia, donde más del 50% de estos equipos superan los 20 años de uso [4]. Finalmente, se resalta la importancia de la academia en la investigación, formación y transferencia de conocimiento para fomentar soluciones innovadoras, como inteligencia artificial y gemelos digitales, que optimizan el desempeño de los motores eléctricos y reducen las emisiones en el marco de la transición energética.

### Importancia de los motores eléctricos en el consumo de energía global e industrial

Los motores eléctricos son pilares fundamentales en la transición energética, la gestión de activos y la reducción de la huella de carbono debido a su papel central en el consumo energético global. Representando el 45% del consumo eléctrico



8º CONGRESO MUNDIAL  
DE MANTENIMIENTO Y  
GESTIÓN DE ACTIVOS



21 · 22 · 23  
MAYO · 2025  
Centro de Convenciones  
Cartagena de Indias - Colombia



22º Congreso Iberoamericano de Mantenimiento  
27º Congreso Internacional de Mantenimiento y Gestión de Activos - CIMGA

mundial, estos equipos destacan por su potencial para adoptar tecnologías sostenibles que mejoren la eficiencia energética y reduzcan las emisiones de CO<sub>2</sub> [5]. Este enfoque resulta esencial para alcanzar metas de sostenibilidad y mitigar el cambio climático.

En el marco de la transición energética, los motores eléctricos facilitan la integración de fuentes renovables como la energía solar y eólica en los sistemas eléctricos. Equipos como turbinas eólicas y bombas solares dependen de estos motores para transformar energía renovable en energía utilizable. Además, los avances en motores de alta eficiencia, como los clasificados IE3 e IE4, permiten reducir el consumo energético industrial hasta en un 30%, contribuyendo a una significativa disminución de emisiones y ahorro de recursos energéticos [3].

Desde la gestión de activos, los motores eléctricos son esenciales en aplicaciones críticas como bombas, ventiladores y compresores, representando más del 70% del consumo energético en estas áreas [3]. Estrategias como el mantenimiento predictivo y la digitalización de activos optimizan su rendimiento, extienden su vida útil y reducen fallos inesperados, fomentando una economía más eficiente y alineada con principios de sostenibilidad. Asimismo, su modernización con materiales sostenibles, procesos de reciclaje mejorados y enfoques de economía circular refuerzan los compromisos internacionales de descarbonización, destacando la necesidad de políticas regulatorias sólidas y una colaboración efectiva entre sectores público y privado.

### **Factores que afectan la eficiencia energética, la gestión eficiente de activos y la reducción de la huella de carbono**

#### **Factores que afectan la eficiencia energética**

La eficiencia energética en motores eléctricos depende de factores técnicos y operativos. Modelos antiguos, con eficiencia inferior a IE3 o IE4, presentan mayores pérdidas por calor, fricción y propiedades del núcleo. Los motores de alta eficiencia minimizan estas pérdidas y maximizan el rendimiento. Además, operar lejos de la capacidad nominal genera pérdidas que reducen la eficiencia. Seleccionar y dimensionar correctamente los motores según la demanda real es clave para minimizar estas pérdidas.

La potencia eléctrica influye directamente en la eficiencia. Problemas como armónicos, fluctuaciones de tensión y desequilibrios incrementan pérdidas y reducen la vida útil. Soluciones como filtros, compensación reactiva y estabilización de tensión son efectivas. Asimismo, el mantenimiento predictivo, mediante sensores y análisis avanzado, detecta fallas antes de afectar el rendimiento, optimizando el consumo energético y prolongando la vida útil del equipo.

#### **Factores que influyen en la gestión eficiente de activos.**

La digitalización y las tecnologías avanzadas son esenciales para gestionar eficientemente activos eléctricos. Sensores IoT y plataformas de análisis en tiempo real permiten detectar anomalías y programar mantenimientos proactivos, reduciendo costos operativos y tiempos de inactividad. La integración de estrategias preventivas y predictivas, junto con herramientas como análisis de vibraciones y termografía infrarroja, mitiga riesgos de fallos catastróficos.

Optimizar todo el sistema de accionamiento, no solo el motor, es crucial. Componentes auxiliares como bombas, ventiladores y VFD afectan directamente la eficiencia operativa. Un enfoque integral que contemple la mejora de todos los



elementos es indispensable para maximizar el rendimiento y la sostenibilidad.

### Factores relacionados con la reducción de la huella de carbono

La adopción de motores de alta eficiencia y su integración en sistemas de generación renovable, como turbinas eólicas y bombas solares, impulsan la descarbonización al reducir la dependencia de fuentes fósiles. Además, el diseño sostenible, con materiales reciclables y procesos de fabricación responsables, disminuye las emisiones en toda la cadena de valor y facilita el reciclaje al final de la vida útil del motor.

Las políticas regulatorias y los incentivos económicos son vitales para acelerar la adopción de tecnologías sostenibles. Normativas como el Acuerdo de París, incentivos fiscales para motores eficientes y sanciones a tecnologías obsoletas han fomentado la modernización industrial, contribuyendo significativamente a la reducción global de emisiones de CO<sub>2</sub>.

### Problema de la ausencia de monitoreo de la eficiencia energética de los motores eléctricos.

En muchas industrias, el mantenimiento prioriza la continuidad operativa sobre la eficiencia energética, lo que incrementa los costos a largo plazo. Frecuentemente se suelen ignorar el desempeño energético de los motores, mientras que la medición precisa de la potencia mecánica enfrenta desafíos debido a la falta de sensores adecuados y el desconocimiento en el uso de herramientas avanzadas como analizadores de energía. Esto, sumado a la falta de infraestructura de monitoreo en plantas con equipos obsoletos, dificulta una supervisión eficiente y favorece un consumo innecesario de energía [6].

El bajo factor de carga en motores eléctricos es un problema crítico que afecta la eficiencia energética

y los costos operativos. Factores como desconocimiento de características mecánicas, tolerancias excesivas en el diseño y desajustes entre potencia nominal y carga real contribuyen a este problema. Motores sobredimensionados suelen operar con factores de carga bajos, especialmente en aplicaciones como ventiladores y bombas, donde las eficiencias caen por debajo del 50%, resultando en un uso energético ineficiente y costos elevados [7].

La eficiencia de los motores eléctricos es óptima entre el 80% y el 100% de carga, pero cae drásticamente por debajo del 40%, incrementando el desperdicio energético y el impacto ambiental. En regiones como la Unión Europea, Estados Unidos y Colombia, los factores de carga bajos reflejan un uso ineficiente de estos equipos [8]. Para resolver esto, es esencial seleccionar y dimensionar correctamente los motores según las necesidades reales de la carga y utilizar herramientas de monitoreo y análisis energético que mejoren la sostenibilidad y reduzcan los costos operativos.

### Problemas de malas prácticas operacionales.

Las malas prácticas operacionales son un obstáculo importante para el uso eficiente de motores eléctricos en la industria, generando ineficiencias energéticas, costos operativos elevados y menor vida útil de los equipos. Entre las principales se encuentran la operación en modo de espera, el uso inadecuado de VFD y las reparaciones de baja calidad, las cuales requieren atención inmediata para mejorar la sostenibilidad y el rendimiento de los sistemas [1].

La operación en modo de espera ocurre cuando los motores permanecen energizados sin cumplir funciones activas, consumiendo energía innecesariamente. Esto sucede en sistemas como transportadores automáticos, donde los motores no se desconectan en períodos inactivos. Implementar



controles automatizados para apagar estos motores podría reducir el consumo pasivo y las pérdidas energéticas. Por otro lado, los VFD, diseñados para ajustar la velocidad del motor según la carga, pierden efectividad si no se configuran correctamente. Operar a plena carga constante o en modo de espera genera sobreconsumo y desgaste prematuro, como ocurre en sistemas de ventilación mal configurados.

Finalmente, las reparaciones de baja calidad afectan la eficiencia y confiabilidad de los motores. Usar materiales de baja calidad o componentes no originales incrementa pérdidas eléctricas y térmicas, además de aumentar la probabilidad de fallos. Bobinados defectuosos o reparaciones que no cumplen estándares técnicos reducen el rendimiento del motor, disminuyendo su vida útil y elevando los costos operativos a largo plazo [9].

### Problemas de redes eléctricas con problemas de calidad de la potencia eléctrica.

Las redes eléctricas modernas enfrentan problemas crecientes de calidad de la potencia debido a transformaciones en la generación, el consumo y las infraestructuras de red. Perturbaciones como armónicos y desequilibrios de tensión afectan directamente la eficiencia energética de los motores eléctricos, que representan cerca del 68% del consumo energético industrial global. Estos problemas ponen en riesgo la sostenibilidad y el rendimiento de los sistemas eléctricos industriales.

La transición hacia energías renovables y sistemas de generación distribuida ha incrementado las fluctuaciones en la calidad de la potencia, influidas por factores climáticos. Además, el creciente uso de cargas no lineales, como vehículos eléctricos y dispositivos electrónicos, genera armónicos que distorsionan las ondas de tensión. Aunque la sustitución de líneas aéreas por cables soterrados y

la implementación de redes inteligentes han mejorado la transmisión y el monitoreo, también han introducido nuevos desafíos en la estabilidad de las redes eléctricas.

Estudios realizados en motores eléctricos muestran el impacto de estas perturbaciones en su eficiencia. Por ejemplo, un motor de inducción de 1.1 kW bajo condiciones ideales alcanzó un 80.1% de eficiencia, pero con la presencia de armónicos y desequilibrios, esta cayó un 6.8%. En factores de carga bajos, como el 17%, la eficiencia se redujo drásticamente a un 34.5% [6]. Estos resultados subrayan la necesidad de implementar soluciones como filtros de armónicos, estabilizadores de tensión y compensadores de potencia reactiva para mitigar los efectos adversos, optimizar la eficiencia energética y garantizar la sostenibilidad operativa de los sistemas industriales.

### Problema de barreras para la sustitución de motores de altos niveles de eficiencia.

La adopción de motores eléctricos de alta eficiencia, como los estándares MEPS, enfrenta barreras técnicas, económicas y normativas, especialmente en países como Colombia, donde solo el 0,78% de los motores cumple con estos estándares y la mayoría tiene más de 20 años de antigüedad. Los altos costos iniciales y la falta de incentivos financieros dificultan la renovación tecnológica, a pesar del considerable potencial de ahorro energético estimado en 25 TWh/año en Europa. Estas barreras limitan la modernización del parque industrial, afectando la competitividad y sostenibilidad de las empresas [10].

En el ámbito técnico, la integración de motores modernos requiere actualizaciones costosas en VFD y sistemas de control, lo que puede interrumpir la producción. Además, estos motores son sensibles a problemas de calidad de la potencia, como armónicos y desequilibrios de tensión, que reducen su eficiencia hasta en un 4%,



requiriendo soluciones adicionales como filtros activos. Estos factores incrementan los costos y complejidad de la inversión, dificultando su adopción en industrias con limitaciones presupuestarias.

Por otra parte, las barreras normativas y la falta de armonización en estándares internacionales complican aún más la implementación de estas tecnologías, particularmente en América Latina. La ausencia de políticas energéticas claras, incentivos económicos y programas de apoyo limita el avance hacia la eficiencia energética. Sin embargo, experiencias en países como Brasil y Suiza han demostrado que regulaciones efectivas y programas de apoyo financiero pueden acelerar la transición hacia motores eficientes, reduciendo costos operativos y emisiones de gases de efecto invernadero [11], [1].

#### Problemas en la evaluación técnico-económica de la eficiencia energética en motores eléctricos.

La evaluación técnico-económica de la eficiencia energética en motores eléctricos enfrenta desafíos importantes debido a supuestos erróneos y a la falta de integración de datos reales en los análisis. Un error común es asumir que los motores operan continuamente a plena carga durante 6000 horas al año, lo cual distorsiona las proyecciones de ahorro energético, incrementándola entre 1.2 y 33.4 veces frente a escenarios realistas. Esto conduce a una percepción inexacta de los beneficios económicos y subestima los riesgos asociados a la implementación de medidas de eficiencia [12].

Otro problema frecuente es omitir la depreciación de los motores existentes en los cálculos económicos. Este factor, crucial para determinar la viabilidad de las inversiones, suele ignorarse, lo que resulta en una sobreestimación del retorno de inversión y una distorsión del período de retorno simple (SPP). Esto es especialmente crítico en sectores industriales con presupuestos ajustados,

donde decisiones basadas en evaluaciones imprecisas pueden generar impactos financieros negativos a mediano y largo plazo.

Además, calcular la potencia mecánica a partir de parámetros eléctricos, como tensión y corriente, sin considerar el factor de carga, introduce errores significativos. En la práctica, muchos motores industriales operan por debajo del 50% de su capacidad nominal, lo que reduce considerablemente su eficiencia y altera los cálculos de ahorro energético. Incorporar datos operativos reales y condiciones auténticas en los análisis técnico-económicos es fundamental para tomar decisiones sostenibles e informadas, maximizando el impacto positivo de las tecnologías de alta eficiencia [13].

#### Problemas de análisis enfocado solo en el motor y no en el sistema de accionamiento completo.

La mejora de la eficiencia energética en sistemas accionados por motores eléctricos (SAME) ha estado tradicionalmente centrada en el motor como componente aislado. Sin embargo, estos sistemas abarcan equipos de potencia, dispositivos de control, mecanismos de transmisión, cargas accionadas y componentes de proceso, que en conjunto representan hasta el 70% del consumo energético industrial. Una optimización integral de todos estos elementos ofrece un alto potencial para reducir pérdidas energéticas y mejorar el rendimiento operativo [14].

Cada componente del SAME contribuye a las pérdidas de energía de manera significativa. Equipos de potencia, como transformadores y subestaciones, presentan pérdidas durante la transformación y transporte de energía. Los dispositivos de control y mecanismos de transmisión, como arrancadores, VFD, correas y engranajes, afectan la eficiencia global debido a fricciones, desalineaciones o configuraciones inadecuadas. Asimismo, las cargas accionadas,



como bombas y ventiladores, pueden impactar negativamente la eficiencia debido a problemas de dimensionamiento o falta de compatibilidad con el sistema [15].

Adoptar un enfoque integral y holístico es fundamental para maximizar el ahorro energético en los SAME. Esto implica implementar controles avanzados, rediseñar cargas mecánicas y optimizar la calidad de la potencia, factores que pueden reducir el consumo energético entre un 20% y un 30%. Estudios recientes proyectan que esta optimización podría ahorrar hasta 3100 TWh de electricidad para 2040, contribuyendo significativamente a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y apoyando metas globales de sostenibilidad [2].

### Problemas en Colombia con el uso eficiente de motores eléctricos.

En Colombia, el parque industrial opera mayoritariamente con motores eléctricos antiguos, con más de 20 años de uso, lo que genera múltiples problemas relacionados con su bajo factor de carga, ausencia de motores de alta eficiencia y falta de VFD [16]. Estos factores afectan negativamente la eficiencia energética, incrementan los costos operativos y aceleran el desgaste de los equipos. Ejemplos como un compresor industrial de 75 HP que opera fuera de sus parámetros nominales debido a discrepancias de frecuencia y tensión resaltan los desafíos de modernización tecnológica. Estas condiciones aumentan las pérdidas térmicas, reducen la vida útil del equipo y limitan su capacidad operativa, lo que podría mitigarse mediante la implementación de VFD y motores de alta eficiencia.

El análisis de una empresa con 75 motores eléctricos muestra que el 59% de estos operan con arranque directo, lo que genera impactos negativos en la calidad de la potencia eléctrica, como picos de corriente y caídas de tensión. Además, la ausencia de VFD en equipos como compresores,

bombas y ventiladores contribuye a una operación ineficiente, con un consumo mensual de 1.007.435 kWh y un costo de 904.881.005 COP. La instalación de VFD podría reducir el consumo energético en un 10%, representando ahorros de 70.260.749 COP/mes con un período de recuperación de inversión promedio de 12 meses, destacando el potencial de estas tecnologías para optimizar los sistemas industriales.

La dependencia del arranque directo no solo afecta la eficiencia energética, sino también la estabilidad de la red eléctrica, generando fluctuaciones que impactan la calidad de la potencia y el desempeño de otros equipos [17]. Reemplazar este método por arrancadores suaves o VFD permitiría un arranque progresivo y controlado, reduciendo las pérdidas energéticas y mejorando la sostenibilidad operativa.

### **Propuestas de mejora en la gestión eficiente de activos y potencial de ahorro en motores eléctricos para reducir la huella de carbono**

Los motores eléctricos, responsables de una gran proporción del consumo energético industrial, representan una oportunidad crucial para impulsar la eficiencia energética y reducir la huella de carbono. Entre las estrategias más efectivas se encuentra el monitoreo en tiempo real mediante tecnologías IoT, que permiten identificar ineficiencias, optimizar el mantenimiento predictivo y minimizar las pérdidas energéticas [18]. Además, soluciones como filtros de armónicos, estabilizadores de tensión y compensadores de potencia reactiva mejoran la calidad de la potencia, logrando ahorros energéticos del 4% y prolongando la vida útil de los motores [19].

El reemplazo de motores antiguos por modelos de alta eficiencia (IE3, IE4 e IE5) y la optimización

de componentes asociados, como bombas y ventiladores, son medidas clave para maximizar el rendimiento energético. Estas acciones, combinadas con tecnologías avanzadas como variadores regenerativos y sistemas de regulación de velocidad y de tensión, permiten ajustar dinámicamente el funcionamiento del motor a las demandas del sistema, alcanzando ahorros energéticos de entre el 20% y el 50%, dependiendo de la aplicación [20].

Por último, la corrección de malas prácticas operativas y la capacitación en buenas prácticas pueden generar un ahorro adicional del 4%, mejorando la sostenibilidad del sistema.

### **Aportes de la academia a la optimización de la eficiencia, gestión eficiente de activos y reducción de la huella de carbono de los motores eléctricos**

La academia juega un rol crucial en la mejora de la eficiencia energética, la gestión de activos y la reducción de la huella de carbono en motores eléctricos. Sus contribuciones en investigación, innovación tecnológica y formación de profesionales han impulsado avances significativos, optimizando motores de alta eficiencia (IE3, IE4, IE5), minimizando pérdidas energéticas y promoviendo el uso de materiales sostenibles. Además, lidera el desarrollo de tecnologías avanzadas como VFD y sistemas de regulación de tensión, que ajustan dinámicamente el consumo energético para maximizar la eficiencia.

El uso de sistemas de monitoreo en tiempo real, basados en IoT e inteligencia artificial, ha sido promovido por la academia para anticipar fallos y planificar mantenimientos predictivos. Herramientas como los Digital Twins han optimizado la gestión de activos eléctricos, reduciendo tiempos de inactividad y desperdicios

energéticos. Asimismo, se han desarrollado estrategias para regenerar energía en sistemas con ciclos de frenado, como elevadores, maximizando la eficiencia en aplicaciones industriales clave.

La academia ha fomentado la integración de motores eléctricos en sistemas de generación renovable, como turbinas eólicas y paneles solares, contribuyendo a la descarbonización industrial. Además, impulsa el diseño sostenible de motores mediante el uso de materiales reciclables y procesos de fabricación orientados a la economía circular, reforzando el compromiso con la sostenibilidad ambiental y económica.

A través de la formación de profesionales, publicaciones científicas y colaboración con gobiernos e industrias, la academia facilita la transferencia de conocimiento y el diseño de políticas públicas. Iniciativas como los estándares mínimos de desempeño energético (MEPS) y programas de incentivos han promovido la adopción de tecnologías limpias y eficientes, contribuyendo de manera decisiva a la sostenibilidad global y los objetivos de la transición energética.

### **Conclusiones**

Los motores eléctricos son responsables del 68% del consumo energético industrial, por lo que desempeñan un rol fundamental en la transición energética. Sin embargo, su eficiencia está limitada por barreras como el uso de equipos obsoletos, bajo factor de carga, problemas de calidad de potencia y falta de monitoreo, lo que incrementa el consumo energético y las emisiones de CO<sub>2</sub>, dificultando los objetivos de sostenibilidad.

La modernización de activos con motores de alta eficiencia (IE3, IE4, IE5), VFD y monitoreo en tiempo real puede disminuir el consumo energético hasta en un 30% y la demanda eléctrica global en un 10%. Además, estrategias como



mantenimiento predictivo, digitalización y análisis del ciclo de vida optimizan el rendimiento, extienden la vida útil y reducen costos operativos, contribuyendo a la sostenibilidad económica y ambiental.

La academia es clave al desarrollar tecnologías como inteligencia artificial y gemelos digitales, además de formar especialistas en gestión de activos y sostenibilidad. Junto con políticas públicas efectivas e incentivos financieros, estas acciones impulsan la modernización industrial, maximizan el impacto de las tecnologías y promueven prácticas sostenibles esenciales para reducir la huella de carbono.

## Referencias

- [1] M. J. S. Zuberi, A. Tjindik, and M. K. Patel, "Techno-economic analysis of energy efficiency improvement in electric motor driven systems in Swiss industry," *Appl Energy*, vol. 205, no. January, pp. 85–104, Nov. 2017, doi: 10.1016/j.apenergy.2017.07.121.
- [2] A. De Almeida, J. Fong, C. U. Brunner, R. Werle, and M. Van Werkhoven, "New technology trends and policy needs in energy efficient motor systems - A major opportunity for energy and carbon savings," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 115, no. September, p. 109384, Nov. 2019, doi: 10.1016/j.rser.2019.109384.
- [3] P. Waide and C. U. Brunner, "Energy-Efficiency Policy Opportunities for Electric Motor-Driven Systems," *Cedex, France: Int. Energy Agency*, p. 132, 2011, doi: 10.1787/5kgg52gb9gjd-en.
- [4] UPME, "Determinación del potencial de reducción del consumo energético en los subsectores manufactureros códigos CIIU 10 a 18 en Colombia. Informe final," 2014. [Online]. Available: [http://www.upme.gov.co/Estudios/2014/INFORME\\_III\\_Caracterizacion\\_energetica\\_VerPub.pdf](http://www.upme.gov.co/Estudios/2014/INFORME_III_Caracterizacion_energetica_VerPub.pdf)
- [5] Ç. Acar, O. C. Soygenç, and L. T. Ergene, "Increasing the Efficiency to IE4 Class for 5.5 kW Induction Motor Used in Industrial Applications," *International Review of Electrical Engineering (IREE)*, vol. 14, no. 1, p. 67, Feb. 2019, doi: 10.15866/iree.v14i1.16307.
- [6] V. Sousa Santos, J. J. Cabello Eras, A. Sagastume Gutierrez, and M. J. Cabello Ulloa, "Assessment of the energy efficiency estimation methods on induction motors considering real-time monitoring," *Measurement*, vol. 136, pp. 237–247, Mar. 2019, doi: 10.1016/j.measurement.2018.12.080.
- [7] S. Paramonova, T. Nehler, and P. Thollander, "Technological change or process innovation – An empirical study of implemented energy efficiency measures from a Swedish industrial voluntary agreements program," *Energy Policy*, vol. 156, p. 112433, 2021, doi: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2021.112433>.
- [8] F. J. T. E. Ferreira and A. T. de Almeida, "Induction motor downsizing as a low-cost strategy to save energy," *J Clean Prod.*, vol. 24, pp. 117–131, Mar. 2012, doi: 10.1016/j.jclepro.2011.11.014.
- [9] I. L. Sauer, H. Tatizawa, F. A. M. Salotti, and S. S. Mercedes, "A comparative assessment of Brazilian electric motors performance with minimum efficiency standards," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 41, pp. 308–318, 2015, doi: 10.1016/j.rser.2014.08.053.
- [10] A. T. de Almeida, F. J. T. E. Ferreira, and J. Fong, "Perspectives on Electric Motor Market Transformation for a Net Zero Carbon Economy," *Energies (Basel)*, vol. 16, no. 3, p. 1248, Jan. 2023, doi: 10.3390/en16031248.
- [11] D. F. de Souza, F. A. M. Salotti, I. L. Sauer, H. Tatizawa, A. T. de Almeida, and A. G. Kanashiro, "An assessment of the impact of Brazilian energy efficiency policies for electric motors," *Energy Nexus*, vol. 5, no. August 2021, p. 100033, Mar. 2022, doi: 10.1016/j.nexus.2021.100033.
- [12] J. R. Gómez *et al.*, "Assessment criteria of the feasibility of replacement standard efficiency electric motors with high-efficiency motors," *Energy*, vol. 239, p. 121877, Jan. 2022, doi: 10.1016/j.energy.2021.121877.
- [13] M. A. Habib, M. Hasanuzzaman, M. Hosenuzzaman, A. Salman, and M. R. Mehadi, "Energy consumption, energy saving and emission reduction of a garment industrial building in Bangladesh," *Energy*, vol. 112, pp. 91–100, Oct. 2016, doi: 10.1016/j.energy.2016.06.062.
- [14] Prince and A. S. Hati, "A comprehensive review of energy-efficiency of ventilation system using Artificial Intelligence," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 146, p. 111153, Aug. 2021, doi: 10.1016/j.rser.2021.111153.
- [15] Z. Bin, M. Lili, and D. Hao, "Principle of Optimal Voltage Regulation and Energy-Saving for Induction Motor With Unknown Constant-Torque Working Condition," *IEEE Access*, vol. 8, pp. 187307–187316, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.3030936.
- [16] UPME and CORPOEMA, "Determinación y priorización de alternativas de eficiencia energética para los subsectores manufactureros códigos CIIU 19 a 31 en Colombia a partir de la caracterización del consumo energético para sus diferentes procesos, usos y equipos de uso final. Inf," vol. 2, p. 191, 2014, [Online]. Available: [http://www1.upme.gov.co/DemandaEnergetica/DeterminacionEficiencia/Informe\\_Final\\_Volumen\\_2.pdf](http://www1.upme.gov.co/DemandaEnergetica/DeterminacionEficiencia/Informe_Final_Volumen_2.pdf)
- [17] E. N. Angarita, V. S. Santos, P. D. Donolo, and E. C. Quispe, "Assessing power quality in individual circuits of industrial electrical system," *International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE)*, vol. 14, no. 5, pp. 4888–4896, Oct. 2024, doi: 10.11591/ijece.v14i5.pp4888-4896.
- [18] R. Raja *et al.*, "IoT embedded cloud-based intelligent power quality monitoring system for industrial drive application.," 2020.
- [19] J. M. Tabora *et al.*, "Assessing Energy Efficiency and Power Quality Impacts Due to High-Efficiency Motors Operating Under Nonideal Energy Supply," *IEEE Access*, vol. 9, pp. 121871–121882, 2021, doi: 10.1109/ACCESS.2021.3109622.
- [20] V. Sousa Santos, J. J. Cabello Eras, and M. J. Cabello Ulloa, "Evaluation of the energy saving potential in electric motors applying a load-based voltage control method.," *Energy*, vol. 303, p. 132012, 2024, doi: 10.1016/j.energy.2024.132012.



## Hoja de Vida

El Dr. Vladimir Sousa Santos, ingeniero electricista con 19 años de experiencia, se especializa en docencia, investigación y consultoría en ingeniería eléctrica. Es colombiano por adopción, cuenta con un doctorado en Ciencias Técnicas, una maestría en Eficiencia Energética y está categorizado como investigador senior por Minciencias.

En investigación, se ha destacado en líneas como máquinas eléctricas, gestión de la energía y calidad de potencia eléctrica. Ha liderado más de 20 proyectos sobre eficiencia de motores eléctricos, microrredes y mejora energética, logrando 48 publicaciones científicas indexadas y participaciones como conferencista en eventos internacionales.

En el ámbito técnico, ha contribuido al desarrollo de 28 normas nacionales para ICONTEC y patentado dos dispositivos innovadores relacionados con eficiencia energética en motores eléctricos, fortaleciendo la transferencia de conocimiento al sector industrial.

En consultoría, ha ejecutado proyectos con empresas como Energía Óptima S.A. y Mexichem, enfocados en evaluaciones de consumo energético y estrategias de optimización, formalizando más de 20 informes técnicos que respaldan decisiones empresariales. Como profesor titular de la Universidad de la Costa (CUC), ha impartido cursos en pregrado y posgrado, coordinado la Maestría en Eficiencia Energética y dirigido 8 tesis de maestría en Eficiencia Energética y Energía Renovable y 2 tesis de doctorado en Ingeniería Energética. Estas investigaciones abordan temas como microrredes, eficiencia energética en motores eléctricos y compensación de energía reactiva.

Su destacada labor docente e investigativa ha sido reconocida en múltiples ocasiones, consolidándolo

como un referente en su campo, con aportes en investigación aplicada, desarrollo normativo y soluciones energéticas prácticas.

## Datos del autor

1. Nombre del autor: Vladimir Sousa Santos
2. Teléfono
  - a. Residencia: 605 4030011
  - b. Oficina: 605 3198929
  - c. Celular: 310 470 3138
3. Dirección del autor(es)
  - a. Residencia: Carrera 46, # 82-09, Apto. 803
  - b. Oficina: Calle 58 # 55 – 66,
  - c. E. mail: vsousa1@cuc.edu.co.
  - d. Ciudad: Barranquilla,
  - e. País: Colombia.