



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA
ELÉCTRICA**

Variador de frecuencia: Una revisión de literatura

TRABAJO DE INVESTIGACIÓN PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE:

Bachiller en Ingeniería Mecánica Eléctrica

AUTOR:

Nomberto Lopez, Alex Hernan (orcid.org/0000-0003-1030-3817)

ASESOR:

Dr. Luján López, Jorge Eduardo (orcid.org/0000-0003-1208-1242)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Modelamiento y Simulación de Sistemas Electromecánicos

LÍNEA DE RESPONSABILIDAD SOCIAL UNIVERSITARIA:

Desarrollo sostenible y adaptación al cambio climático

TRUJILLO – PERÚ

2024

Declaratoria de autenticidad del asesor



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA

Declaratoria de Autenticidad del Asesor

Yo, LUJÁN LÓPEZ JORGE EDUARDO, docente de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA de la escuela profesional de INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO SAC - TRUJILLO, asesor de Trabajo de Investigación titulado: "Variador de velocidad: una revisión de literatura", cuyo autor es NOMBERTO LOPEZ ALEX HERNAN, constato que la investigación tiene un índice de similitud de 18.00%, verificable en el reporte de originalidad del programa Turnitin, el cual ha sido realizado sin filtros, ni exclusiones.

He revisado dicho reporte y concluyo que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio. A mi leal saber y entender el Trabajo de Investigación cumple con todas las normas para el uso de citas y referencias establecidas por la Universidad César Vallejo.

En tal sentido, asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de información aportada, por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

TRUJILLO, 12 de Junio del 2024

Apellidos y Nombres del Asesor:	Firma
LUJÁN LÓPEZ JORGE EDUARDO DNI: 17897692 ORCID: 0000-0003-1208-1242	Firmado electrónicamente por: JLUJAN el 15-06- 2024 11:14:44

Código documento Trilce: TRI - 0759112



Declaratoria de originalidad del autor(es)



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA

Declaratoria de Originalidad del Autor

Yo, NOMBERTO LOPEZ ALEX HERNAN estudiante de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA de la escuela profesional de INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO SAC - TRUJILLO, declaro bajo juramento que todos los datos e información que acompañan el Tesis titulado: "Variador de velocidad: una revisión de literatura", es de mi autoría, por lo tanto, declaro que el Tesis:

1. No ha sido plagiado ni total, ni parcialmente.
2. He mencionado todas las fuentes empleadas, identificando correctamente toda cita textual o de paráfrasis proveniente de otras fuentes.
3. No ha sido publicado, ni presentado anteriormente para la obtención de otro grado académico o título profesional.
4. Los datos presentados en los resultados no han sido falseados, ni duplicados, ni copiados.

En tal sentido asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de la información aportada, por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

Nombres y Apellidos	Firma
ALEX HERNAN NOMBERTO LOPEZ DNI: 71898485 ORCID: 0000-0003-1030-3817	Firmado electrónicamente por: ANOMBERTO el 12-06- 2024 10:19:22

Código documento Trilce: TRI - 0759113

Índice de contenidos

Carátula	
Declaratoria de autenticidad del asesor.....	ii
Declaratoria de originalidad del autor(es)	iii
Índice de contenidos.....	iv
Resumen	v
Abstract	vi
I. INTRODUCCIÓN	1
II. METODOLOGÍA	3
III. RESULTADOS	4
IV. CONCLUSIONES.....	10
REFERENCIAS	11
ANEXOS	

Resumen

El presente artículo de revisión, contribuye al ODS 7 (Energía Asequible y no Contaminante) teniendo como objetivo el análisis del estado del conocimiento con relación a los variadores de velocidad. La investigación se llevó a cabo desde una revisión de literatura que consistió en la búsqueda metódica de información relacionada al tema en diversas bases de datos tales como Scopus, Web of Science y Science Direct, en el intervalo temporal del 2022 hasta el 2024; de los cuales, aplicando los criterios de exclusión se incorporaron 20 artículos para la revisión. Se obtuvo como resultado que el modo de control de los variadores y el control del consumo eléctrico de los mismos, van de la mano y están fuertemente ligados a la aplicación que se le da al motor, cumpliendo así, las condiciones óptimas para mitigar la onda reflejada que es la teoría en la que se apoya este informe. Como conclusión general se establece que el uso de variadores de frecuencia en la gran y pequeña industria tiene un impacto positivo siempre y cuando se apliquen los controles correctos.

Palabras clave: Variador de frecuencia, onda reflejada, control de velocidad.

Abstract

This review article contributes to SDG 7 (Affordable and Non-Polluting Energy) with the objective of analyzing the state of knowledge regarding variable speed drives. The research was carried out from a literature review that consisted of a meticulous search for information related to the topic in various databases such as Scopus, Web of Science and Science Direct, in the time interval from 2022 to 2024; of which, applying the exclusion criteria, 20 articles were incorporated for the review. The result was that the control mode of the drives and the control of their electrical consumption go hand in hand and are strongly linked to the application given to the motor, thus meeting the optimal conditions to mitigate the reflected wave. which is the theory on which this report is based. As a general conclusion, it is established that the use of frequency converters in large and small industries has a positive impact as long as the correct controls are applied.

Keywords: Variable frequency driver, reflected wave, speed control.

I. INTRODUCCIÓN

El control de velocidad de los motores es uno de los métodos más versátiles y confiables para lograr controlar otras variables de los procesos industriales que dependen de un motor. Hablando del control de velocidad de motores, existe el control de motores de corriente continua a través de un arreglo de semiconductores de potencia, que fueron reemplazados por los controles de velocidad de motores de corriente alterna empleando el uso de variadores de frecuencia (Kapp et al. 2024). Los variadores de frecuencia, por su estructura de conversión, filtración y modulado de la corriente, permite aprovechar mejor la energía suministrada, teniendo un gran impacto en la economía de las empresas con grandes redes de variadores (Guo, Hu y Zhang 2024).

Una de las principales ventajas del uso de variadores de frecuencia en la industria es el modo de control de velocidad. Un variador de frecuencia cuenta con diversos modos de control de velocidad que bajo una correcta configuración de parámetros puede significar menor desgaste de piezas mecánicas, reducir el recalentamiento por fricción, una óptima revolución del motor y mejor control del proceso mismo (Stawiński et al. 2023). Esto también significa que las paradas no deseadas reducirán, lo que nos lleva a un impacto positivo en la producción de las empresas, que finalmente tiene efecto en la economía de la misma. Para ello, se debe considerar la aplicación que tendrá el motor de corriente alterna, el tiempo de funcionamiento, el rango de velocidad que manejará, el tipo de carga que tendrá, entre otros criterios, que nos ayudará a definir el modo de control que se aplicará para que realice un control sobre el motor más eficiente (Omar et al. 2022). La correcta selección de la potencia del variador de frecuencia también tiene bastante relevancia a la hora de planificar la instalación de uno de estos equipos. Teniendo en cuenta las diferentes marcas existentes en el mercado, donde cada marca tiene sus familias de variadores que van desde modelos para aplicaciones simples hasta las aplicaciones más complejas, debemos optar por un variador de frecuencia que mejor se ajuste a la necesidad del proceso, sin dejar de lado el factor de seguridad ni la escalabilidad del mismo proceso (Guo, Hu y Zhang 2024).

La presente investigación tiene una justificación por conveniencia, ya que permite tener conocimiento sobre los criterios que se deben tener en cuenta para seleccionar un variador de frecuencia y la correcta aplicación que se le dará para salvaguardar su

integridad, la de los componentes accionados por el motor, el proceso mismo, la productividad, economía y vida útil de los componentes que están involucrados en el proceso; tiene una justificación por relevancia social, ya que evita desgastes mecánicos, fracturas de componentes y daños en los motores o variadores de frecuencia, lo que evita mantenimientos e intervenciones que implica exposición a cargas pesadas, uso de solventes y maniobras que pueden ser perjudiciales para las personas y el medio ambiente; se justifica por la utilidad metodológica, porque la información que se recolectará de las definiciones conceptuales, dimensiones y las teorías permitirá diseñar los instrumentos necesarios para el estudio de la correcta aplicación y configuración de variadores de frecuencia.

Por otro parte, contribuye al ODS 7 (Energía Asequible y no Contaminante), ya que la correcta aplicación de un variador de frecuencia genera un máximo aprovechamiento de la energía instalada y evita posibles situaciones que compliquen el ambiente, como se detalló líneas arriba.

En esta investigación se plantearon las siguientes interrogantes: ¿Cuáles son los antecedentes al estudio? ¿Cuáles son las definiciones de las variables de estudio más utilizadas? ¿Cuáles son las dimensiones planteadas con mayor frecuencia? ¿Cuáles son las teorías consideradas en las investigaciones?

Como objetivos del proyecto se planteó determinar antecedentes en los últimos cinco años, identificar las definiciones de las variables de estudio más utilizadas en los artículos publicados, identificar las dimensiones de las variables de estudio más utilizadas en los artículos publicados, identificar las teorías relacionadas a las variables de estudio.

II. METODOLOGÍA

En la presente revisión de literatura se consideraron artículos que se publicaron en revistas indexadas en las siguientes bases de datos: Scopus, Web of Science y Science Direct. Como estrategias de búsqueda se utilizaron: "vfd" AND "industries", "variable frequency drive" y "variable frequency drive" AND "application", encontrándose un total de 14 403 artículos: Scopus (3 709), Web of Science (8 796), y Science Direct (1 898).

Luego, se aplicaron filtros relacionados al acceso abierto, año de publicación (2022 – 2024), tipo de artículo (artículo de investigación), y se vio la conformidad con los objetivos de la presente revisión, encontrándose un total de 20 artículos: Scopus (14), Science Direct (3) y Web of Science (3); de dichas publicaciones, se extrajo contenido sobre las definiciones conceptuales, las dimensiones y las teorías relacionadas con el dimensionamiento de un variador de frecuencia y su correcta aplicación que permitió enfocar los objetivos de estudio.

Para el primer objetivo del estudio, se tomó información de los 10 artículos más relevantes; para el segundo objetivo, se revisó información de 4 artículos; para el tercer objetivo, se revisó 4 artículos científicos; para el cuarto objetivo de estudio, se revisó 2 artículos publicados en revistas indexadas.

Se aplicaron todas las prácticas necesarias a fin de garantizar la ética y la integridad científica para esta investigación, teniendo en cuenta todas las normas de redacción y las normas de citación adoptadas por nuestra Universidad, además, se evaluará la originalidad mediante el software Turnitin para asegurar un porcentaje de similitud menor o igual al 20%

III. RESULTADOS

Objetivo 1: Determinar antecedentes en los últimos cinco años.

Lingom et al. (2022), en su investigación realizada en una empresa industrial de U.S.A., en su artículo científico para demostrar el ahorro del consumo de energía en compresores de celdas de combustible de hidrógeno. La metodología aplicada en la investigación fue de tipo aplicada, enfoque cuantitativo y de diseño no experimental, donde cuya muestra fue la industria internacional de celdas de combustible de hidrógeno. El instrumento que emplearon para la recolección de datos fue ficha de recolección de datos mediante software. El resultado obtenido por la investigación fue que existe una falta de información para la aplicación de variadores de frecuencia en la industria de celdas de combustible de hidrógeno, concluyendo en que los métodos de control de mayor aplicación son SVC y control V/f. Entre ellos, el control V/f puede lograr mayores frecuencias de salida con menor consumo de energía.

Para Gudiño-Ochoa et al. (2023) en su estudio en una fábrica industrial en México para evaluar varios tipos de variadores de frecuencia de CA e investigar su interacción con las propiedades inerciales de las máquinas en la generación interarmónica, donde cuya metodología fue de tipo aplicada, enfoque cuantitativo y de diseño no experimental, con 2 motores de 2HP como muestra. En este estudio se empleó la ficha de recolección de datos como instrumento. Los autores encontraron que los efectos de distorsión de la red eléctrica se dan incluso por pequeños momentos de inercia, alterando la calidad energética. Finalmente concluyeron con que el momento de inercia del motor y su carga inercial pueden influir en la generación de efectos adversos tanto en la máquina como en la red eléctrica.

Kapp et al. (2024) en su artículo para presentar la ingeniería, la economía, y análisis ambientales para demostrar los beneficios tanto para las instalaciones individuales como para el estado en general. Se empleo la metodología tipo aplicada, enfoque cuantitativo y de diseño no experimental con un motor compresor de aire como muestra del estudio. El instrumento aplicado fue la ficha de recolección de datos para dicho estudio. El estudio realizado muestra que los ahorros relacionados con motores industriales y los sistemas de aire comprimido generan impactos significativos debido a su alto consumo de energía presente en dicha aplicación ya que la carga para el motor aumenta con forme aumenta la presión del aire. En conclusión, el estudio realizado muestra los ahorros relacionados con motores industriales y los sistemas

de aire comprimido generan impactos significativos debido a su alto consumo de energía.

Por su parte, Gan et al. (2022), en su estudio realizado en una planta China para mejorar la eficiencia energética para el sistema de bombeo paralelo mediante métodos avanzados de modelado de características y enfoques de regulación de flujo. Realizaron su estudio con una metodología tipo aplicada, enfoque cuantitativo y de diseño no experimental, cuya muestra fueron 3 motores de unas bombas de agua. El instrumento usado en este estudio fue la ficha de recolección de datos para registrar las tendencias de los motores. Los autores, aplicando técnicas de aprendizaje automático a través de una computadora, pudieron determinar que la inteligencia computacional se ha desarrollado enormemente y el uso de métodos de aprendizaje automático para adaptarse a las características del sistema y la inteligencia artificial para desarrollar algoritmos que puedan optimizar la estrategia de regulación de flujo de bombeo, concluyendo que se puede obtener un enorme potencial de ahorro de energía mediante la optimización de los sistemas de bombeo con ayuda del aprendizaje automático, hasta un 30% en promedio, hasta el 50% en algunos escenarios específicos.

De la misma manera, Stawiński et al. (2023) según su estudio basado en un ascensor hidráulico de una planta en Polonia para presentar un método de control de la velocidad del ascensor para garantizar un movimiento suave y un posicionamiento adecuado de la cabina en el suelo, independientemente de su carga, los cables y su rigidez. En mencionado estudio uso una metodología tipo aplicada, enfoque cuantitativo y de diseño experimental, donde la muestra fue el motor de una bomba hidráulica. La investigación confirmó que utilizar este método para controlar ascensores hidráulicos beneficia en un sistema hidráulico menos complejo, el control de sobrecargas en la cabina y vibraciones en el sistema de cables, y la posibilidad de recuperación de energía. En conclusión, se obtuvo el mismo curso de velocidad usando un método más simple, se redujeron componentes mecánicos con tendencia al desgaste y se mejoró el movimiento recorrido y su amortiguación.

Zikri et al. (2024), en su artículo basado en una fábrica en Malasia para analizar el impacto de añadir un variador de frecuencia a un sistema de motor trifásico en términos de su corriente y velocidad de arranque. Cuya metodología fue de tipo aplicada, enfoque cuantitativo y de diseño no experimental, con un motor simulado por software como muestra, y que tuvo como instrumento la ficha de recolección de

datos, empleando el mismo software. Los autores de dicho estudio obtuvieron que los resultados de la simulación demuestran que un circuito con un variador de frecuencia reduce drásticamente la corriente de arranque, minimizando efectivamente las pérdidas de energía durante el arranque del motor y la controla durante su funcionamiento hasta la curva de corriente en la parada. En conclusión, obtuvieron que los picos de corriente del motor al usar un variador de frecuencia se ven drásticamente reducidos hasta en un 43% a comparación de un arranque directo convencional.

Omar et al. (2022), sustentan en su artículo de investigación basados en un puente grúa en una planta en Malasia, con el objetivo de Implementar un control de velocidad con un variador de frecuencia que permita reducir el balanceo de cargas suspendidas en el carro de una grúa puente. La metodología usada fue de tipo aplicada, enfoque cuantitativo y de diseño experimental, siendo la muestra el motor del carro del puente grúa. Los investigadores determinaron que la operación de aceleración con amortiguación de oscilaciones es totalmente controlable, lo que permite que la velocidad del carro y la potencia del motor se mantengan dentro de las limitaciones tecnológicas y de ingeniería. En cuanto a la conclusión, aseguran que la falta de sistemas de seguridad en el control de cargas de grúas es la principal causa de accidente, sumado a la falta de inversión en actualizaciones y mantenimiento.

Youssef, Hussien y Hassan (2022) en su investigación en un laboratorio de China para implementar cálculos simples de configuración para mejorar el rendimiento del campo del estator al incluir solo dos controladores PI. Con una metodología usada de tipo aplicada, con enfoque cuantitativo y de diseño no experimental, con un variador de frecuencia simulado como muestra. Se aplicó una configuración de control de velocidad sensorless con la que se pudo predecir la velocidad mecánica del motor mediante cálculos internos basados en datos de la configuración PI y aplicar correcciones a la frecuencia de salida del variador. Los autores concluyeron en que el sistema de control PI propuesto muestra un excelente control de velocidad y rendimiento dinámico, incluida la operación en la región de baja velocidad.

Mahalakshmi et al. (2022) en su estudio realizado en una planta de India a fin de presentar el aspecto técnico del control de motores y sus aplicaciones industriales utilizando PLC y SCADA. La metodología que se utilizó en este estudio fue de tipo aplicada, con enfoque cuantitativo y de diseño experimental con los motores de un puente grúa como muestra del estudio, utilizaron la ficha de recolección de datos

como instrumento. Como resultado, se observó mejoría en el proceso de control al emplear un método de control que se ajuste a los requerimientos del proceso. Finalmente concluyendo en que el movimiento del motor es más fluido y presenta un consumo estable y controlado gracias a un controlador que le asigna los parámetros requeridos en su configuración de control.

Para finalizar, Pinto et al. (2021) en su estudio basado en un campo de cultivos en Brasil para implementar un control de riego mediante micro - irrigación controlando el flujo de agua a través de un variador de frecuencia, demostrando ahorro en energía eléctrica e hidráulica. Cuya metodología fue de tipo aplicada, enfoque cuantitativo y de diseño experimental con tres motores de unas bombas de agua. Se demostró que el uso de variadores de frecuencia generó un ahorro del 38% al 51% de energía eléctrica dependiendo de sus condiciones de altitud de bombeo. La conclusión de los autores fue que el uso de variadores de frecuencia fue la mejor alternativa económica para todas las condiciones de relieve y tiempos de riego anual evaluados.

Objetivo 2: Identificar las definiciones de las variables de estudio más utilizadas en los artículos publicados.

Profundizando en el tema, la variable correspondiente a modo de control de velocidad, se localizaron las definiciones de mayor uso en los artículos revisados. Para Liang et al. (2022) aplicar un modo de control que se ajuste al proceso con un previo estudio del sistema, impacta directamente en el costo-beneficio de la migración de sistemas convencionales a sistemas controlados por variadores de frecuencia. Esto se encuentra justificado por los beneficios que trae consigo, como el máximo aprovechamiento de la potencia instalada en una red eléctrica gracias a la corrección del $\cos \phi$, corrección que el variador aplica gracias a su mismo diseño. Bordeasu et al. (2023) nos hablan de que al aplicar un método de control a un variador de frecuencia que mueve un motor, puede mejorar la frecuencia de salida del variador teniendo un feedback como respaldo para corregir el error de velocidad con un tiempo de respuesta más, convirtiéndolo en una opción favorable cuando se trata de sistemas de presión contante, ya que el error de velocidad se encuentra constantemente corregido gracias los datos brindados por el sensor en cuestión y el control de velocidad establecido.

Hablando de la variable de control de consumo eléctrico, Yerbayev et al. (2022)

señalan que los variadores de velocidad al corregir el $\cos \phi$ a un valor cercano a 1, reducen el consumo eléctrico gracias a la ley de potencias y la ley de ohm que demuestran que la corriente disminuye al aprovechar mejor la potencia reactiva, a su vez mejora de las distorsiones eléctricas generadas por transitorios en la red de suministro de una red de variadores y su reducción frente al uso de inversores y transformadores de aislamiento. Por su parte Hassan et al. (2024) indican que la tensión de corriente continua que añade la regeneración en el bus DC por las distorsiones en los cables de alimentación al motor, disminuyen la corriente de consumo durante esos instantes, sin embargo no son eventos que benefician al variador, por el contrario, perjudican gravemente al variador de frecuencia, pudiendo llevarlo al punto de dañar al equipo si falla uno de los sistemas de protección del dispositivo o por el constante maltrato.

Objetivo 3: Identificar las dimensiones de las variables de estudio más utilizadas en los artículos publicados.

Jia et al. (2023) definen como dimensión del modo de control de velocidad a la aplicación del motor, que en su análisis de la información obtenida sobre la deformidad de la onda senoidal de la frecuencia del suministro eléctrico en una red de variadores de frecuencia está relacionada en cómo responde el motor a la señal de frecuencia brindada por el variador, dicho de otra manera, la manera en la que el variador de velocidad controla al variador repercute en la alteración de la red eléctrica que suministra al variador. Asimismo, Zhao y Liu (2022) apoyan lo anterior mencionado, diciendo por su parte que frecuencia distorsionada que se mezcla a la onda senoidal de la frecuencia del suministro eléctrico del variador de frecuencia, depende de la distorsión que se origina por la regeneración en el bus DC del variador de frecuencia por un mal control de velocidad del motor.

Respecto a la dimensión de la variable de control de consumo eléctrico, Lingom et al. (2024) estima que estabilidad del consumo eléctrico está dada por las curvas de vibración en relación a las rpm del rotor con las curvas de Campbell establecidas en su teoría. Esto indica que la linealidad del consumo eléctrico está directamente relacionado al torque que se ejerce sobre el motor, siendo este más inestable cuando se trabaja con cargas complejas como presiones, flujo o cargas con elevada inercia. Por su parte Pandurangan, Palanisamy y Shanmugam (2023) acotan que la

degradación y el rendimiento de los componentes afectados por las distorsiones causadas por la onda reflejada y la elevación de corriente que ello conlleva, reducen su tiempo de vida de manera drástica y afectan su óptimo funcionamiento.

Objetivo 4: Identificar las teorías relacionadas a las variables de estudio.

Durante los últimos años, el estudio de los variadores de frecuencia viene aumentando por su gran impacto a nivel global, siendo países como la India y China quienes encabezan las investigaciones del tema. Sin embargo, la información que describe los modos de control de velocidad y el cómo usarlos, al igual que el ahorro de consumo de energía, son escasos. La teoría de la onda reflejada nos habla de un fenómeno electromagnético que se presenta en los variadores de frecuencia que se instalan a motores con distancias superiores a los 100 metros sin un filtro o transformador de aislamiento, a la vez que se presenta por emplear conductores que no son recomendados para el uso de variadores de velocidad. Este fenómeno lleva ese nombre debido a que, por efecto de las altas frecuencias de conmutación de los IGBT, se crea una especie de señal reflejada que se suma a la señal que envía el variador a través de los cables son apantallamiento, aumentando así el voltaje en el bus DC que alimenta los IGBT (Nucca et al., 2023). La onda reflejada, que va de la mano con la regeneración de un variador de frecuencia, se presenta cuando el motor que está a grandes velocidades se detiene con una curva de desaceleración relativamente corta, sumado al tipo de carga que tiene el motor quien determinará cuanta inercia ejercerá sobre el eje del motor (Lingom et al. 2022). Esto indica que la onda refleja no solo depende aspectos físicos como elementos de protección, sino también de la correcta evaluación de la aplicación del motor para asignarle el modo de control de velocidad que se ajuste a las necesidades del proceso.

IV. CONCLUSIONES

1. Tras una revisión sistemática, donde se encontraron 20 artículos científicos relacionados a las variables de estudio, de las cuales 10 se describieron como antecedentes, donde evaluaron variadores de frecuencia en diversas condiciones y países.
2. Los variadores de frecuencia son dispositivos electrónicos de potencia cuya estructura permite que sea monitoreada y evaluada en diversos aspectos de acuerdo a la aplicación que se le dé. En tal punto, los variadores de frecuencia se basan en diversos modos de control de velocidad para que se ajuste a las diversas aplicaciones donde se pueden emplear. Los indicadores de modo de velocidad son la corriente que consume el variador, la corriente que consume el motor, la potencia consumida, la velocidad y su estabilidad, mismas que vienen a ser variables eléctricas medibles y cuantificables para su estudio.
3. Las dimensiones del modo de control de velocidad son la aplicación del motor y distorsión de la frecuencia. Las dimensiones del control del consumo eléctrico son la estabilidad del consumo eléctrico y la degradación y el rendimiento.
4. La teoría de la onda reflejada explica que sucede cuando una onda al estar viajando esta por un medio se encuentra con otro y este último medio hace que retroceda la onda regresando por el medio del cual provenía. Esto implica que la teoría es física, que se puede medir y cuantificar.

REFERENCIAS

1. Analysis of Common Mode Currents and Harmonic Pollution at Supplying Induction Motors from Static Converters with Variable Modulation Frequency.pdf, [sin fecha]. S.l.: s.n.
2. BORDEASU, D., PROSTEAN, O., FILIP, I. y VASAR, C., 2023. Adaptive Control Strategy for a Pumping System Using a Variable Frequency Drive. *Machines*, vol. 11, no. 7, ISSN 2075-1702. DOI 10.3390/machines11070688.
3. GAN, X., PEI, J., PAVESI, G., YUAN, S. y WANG, W., 2022. Application of intelligent methods in energy efficiency enhancement of pump system: A review. *Energy Reports*, vol. 8, ISSN 23524847. DOI 10.1016/j.egyr.2022.09.016.
4. GUDIÑO-OCHOA, A., JALOMO-CUEVAS, J., MOLINAR-SOLÍS, J.E. y OCHOA-ORNELAS, R., 2023. Analysis of Interharmonics Generation in Induction Motors Driven by Variable Frequency Drives and AC Choppers. *Energies*, vol. 16, no. 14, ISSN 1996-1073. DOI 10.3390/en16145538.
5. GUO, X., HU, X. y ZHANG, S., 2024. Application status of variable-frequency drive in hydrogen fuel cell air compressors from an industrial viewpoint: A review. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, vol. 64, ISSN 22131388. DOI 10.1016/j.seta.2024.103716.
6. HASSAN, W., AKMAL, M., HUSSAIN, G.A., RAZA, A. y SHAFIQ, M., 2024. Close accord on partial discharge diagnosis during voltage harmonics in electric motors fed by variable frequency drives. *IET Generation, Transmission & Distribution*, vol. 18, no. 3, ISSN 1751-8687, 1751-8695. DOI 10.1049/gtd2.13089.
7. JIA, G., LI, M., SHI, B., YU, X. y LIU, X., 2023. A variable frequency injection method for modular multilevel converters in variable speed drives. *Energy Reports*, vol. 9, ISSN 23524847. DOI 10.1016/j.egyr.2023.04.198.
8. KAPP, S., WANG, C., MCNELLY, M., ROMEIKO, X. y CHOI, J.-K., 2024. A comprehensive analysis of the energy, economic, and environmental impacts of industrial variable frequency drives. *Journal of Cleaner Production*, vol. 434, ISSN 09596526. DOI 10.1016/j.jclepro.2023.140474.
9. LIANG, J., LI, L., LI, Y., WANG, Y. y FENG, X., 2022. Operation optimization of existing industrial circulating water system considering variable frequency drive. *Chemical Engineering Research and Design*, vol. 186, ISSN 02638762. DOI 10.1016/j.cherd.2022.08.010.
10. LINGOM, P.M., SONG-MANGUELLE, J., BETOKA-ONYAMA, S.P. y DOUMBIA, M.L., 2024. Variable Frequency Drives-Induced Torsional Stresses in Pumped Hydropower Storage Applications. *IEEE Access*, vol. 12, ISSN 2169-3536. DOI 10.1109/ACCESS.2024.3365143.
11. LINGOM, P.M., SONG-MANGUELLE, J., DOUMBIA, M.L., FLESCHE, R. y JIN, T., 2022. Electrical Submersible Pumps: A System Modeling Approach for

Power Quality Analysis With Variable Frequency Drives. IEEE Transactions on Power Electronics, vol. 37, no. 6, ISSN 0885-8993, 1941-0107. DOI 10.1109/TPEL.2021.3133758.

12. MAHALAKSHMI, G., SANGEETHA, S., MALADHI y BHAVATHARINI, T., 2022. Automation of industrial drives using PLC and SCADA. Proceeding of 2nd International Colloquium on Computational & Experimental Mechanics (ICCEM 2021) [en línea]. Shah Alam, Selangor, Malaysia: s.n., pp. 040009. [consulta: 9 junio 2024]. DOI 10.1063/5.0108098. Disponible en: <https://pubs.aip.org/aip/acp/article/2828385>.
13. MUHAMMAD ZIKRI HAMIM, SURIANA SALIMIN, y AFARULRAZI ABU BAKAR, 2024. Analysis of Variable Frequency Drive for Induction Motor using Matlab Software. Journal of Advanced Research in Applied Mechanics, vol. 116, no. 1, ISSN 22897895. DOI 10.37934/aram.116.1.117129.
14. OMAR, M.N., ISMAIL, M.M., AYOB, M.N. y ARITH, F., 2022. Upgrading for overhead crane anti-sway method using variable frequency drive. Bulletin of Electrical Engineering and Informatics, vol. 11, no. 4, ISSN 2302-9285, 2089-3191. DOI 10.11591/eei.v11i4.3731.
15. PANDURANGAN, R., PALANISAMY, K. y SHANMUGAM, P., 2023. A comprehensive study of grid impedance and its reliability effects on variable frequency drive. International Journal of Power Electronics and Drive Systems (IJPEDS), vol. 14, no. 2, ISSN 2722-256X, 2088-8694. DOI 10.11591/ijpeds.v14.i2.pp673-687.
16. PINTO, M.F., PEREIRA, D.J.D.S., CARVALHO, D.F.D., ALVES, D.G. y SALVADOR, C.A., 2021. TECHNICAL AND ECONOMIC FEASIBILITY OF USING A VARIABLE-FREQUENCY DRIVE IN MICRO-IRRIGATION SYSTEMS. Engenharia Agrícola, vol. 41, no. 1, ISSN 1809-4430, 0100-6916. DOI 10.1590/1809-4430-eng.agric.v41n1p112-118/2021.
17. STAWIŃSKI, Ł., KOSUCKI, A., MORAWIEC, A. y SKOWROŃSKA, J., 2023. A new approach to controlling a hydraulic indirect elevator with a variable-speed pump. Archives of Civil and Mechanical Engineering, vol. 23, no. 2, ISSN 2083-3318. DOI 10.1007/s43452-023-00629-3.
18. YERBAYEV, Y., ARTYUKHOV, I., ZEMTSOV, A., ARTYUKHOV, D., MOLOT, S., JAPAROVA, D. y ZAKHAROV, V., 2022. Negative Impact Mitigation on the Power Supply System of a Fans Group with Frequency-Variable Drive. Energies, vol. 15, no. 23, ISSN 1996-1073. DOI 10.3390/en15238858.
19. YOUSSEF, O.E.M., HUSSIEN, M.G. y HASSAN, A.E.-W., 2022. A new simplified sensorless direct stator field-oriented control of induction motor drives. Frontiers in Energy Research, vol. 10, ISSN 2296-598X. DOI 10.3389/fenrg.2022.961529.
20. ZHAO, S. y LIU, Y., 2022. Waveform Quality Evaluation Method of Variable-Frequency Current Based on Curve Fitting. Energies, vol. 15, no. 20, ISSN 1996-1073. DOI 10.3390/en15207594.

ANEXOS

ANEXO 01. Cantidad de artículos incluidos para revisión.

Base de datos	Artículos encontrados	Artículos de acceso abierto	Artículos 2020 - 2024	Artículos área temática Ingeniería (Energía u otros)	Artículos incluidos
Scopus	3 709	115	38	Energía	14
Web of Science	8 796	4 514	1 263	Energía	3
Science Direct	1 898	242	115	Energía	3

ANEXO 02. Listado de artículos incluidos para revisión.

N°	Título original	Autor (es)	Año de publicación	País	Enlace
1	Application status of variable-frequency drive in hydrogen fuel cell air compressors from an industrial viewpoint: A review.	Xiaoqiang Guo et al.	2024	China	Link
2	Automation of industrial drives using PLC and SCADA	Mahalakshmi et al.	2023	India	Link
3	Electrical Submersible Pumps: A System Modeling Approach for Power Quality Analysis With Variable Frequency Drives	Lingom et al.	2022	U.S.A.	Link
4	Analysis of Interharmonics Generation in Induction Motors Driven by Variable Frequency Drives and AC Choppers	Gudino et al.	2023	México	Link
5	Operation optimization of existing industrial circulating water system considering variable frequency drive	Jiarui et al.	2022	China	Link
6	Adaptive Control Strategy for a Pumping System Using a Variable Frequency Drive	Bordeasu et al.	2023	Rumania	Link
7	A comprehensive analysis of the energy, economic, and environmental impacts of industrial variable frequency drives	Sean Kapp et al.	2024	U.S.A.	Link
8	Technical and economic feasibility of using a variable-frequency drive in micro-irrigation systems	Marinaldo F. Pinto et al.	2021	Brasil	Link
9	Application of intelligent methods in energy efficiency enhancement Application of intelligent methods in energy efficiency enhancement of pump system: A review	Xingcheng Gan et al.	2022	China	Link
10	Negative Impact Mitigation on the Power Supply System of a Fans Group with Frequency-Variable Drive	Yerbol Yerbayev et al.	2022	Rusia	Link
11	Close accord on partial discharge diagnosis during voltage harmonics in electric motors fed by variable frequency drives	Waqar Hassan et al.	2023	Reino Unido	Link
12	Waveform Quality Evaluation Method of Variable-Frequency Current Based on Curve Fitting	Shengquan Zhao and Yaozong Liu	2022	China	Link
13	A new approach to controlling a hydraulic indirect elevator with a variable-speed pump	Łukasz Stawiński et al.	2023	Polonia	Link

14	Avariable frequency injection method for modular multilevel converters in variable speed drives	Guanlong Jia et al.	2022	China	Link
15	Analysis of Variable Frequency Drive for Induction Motor using Matlab Software	Muhammad Zikri Hamim et al.	2024	Malasia	Link
16	Variable Frequency Drives-Induced Torsional Stresses in Pumped Hydropower Storage Applications	Pascal M. Lingom et al.	2024	Canada	Link
17	A comprehensive study of grid impedance and its reliability effects on variable frequency drive	Ramesh Pandurangan et al.	2023	India	Link
18	Upgrading for overhead crane anti-sway method using variable frequency drive	Muhamad Nazri Omar et al.	2023	Malasia	Link
19	Analysis of Common Mode Currents and Harmonic Pollution at Supplying Induction Motors from Static Converters with Variable Modulation Frequency	Iurie Nuca et al.	2023	Italia	Link
20	A new simplified sensorless direct stator field-oriented control of induction motor drives	Omar El-Sayed Mohammed Youssef et al.	2022	China	Link