

Área de Conocimiento de Ingeniería y Afines

“Metodología para la Selección de Variadores de Velocidad para el Arranque de motores de baja tensión”.

Trabajo Monográfico para optar al título de
Ingeniero Eléctrico

Elaborado por:

Br. Marcel Abraham
Torriente Obando
Carnet: 2019-0224U

Br. Denis Lopez
Membreño
Carnet: 2008-23761

Tutor:

Ing. Carlos Abraham
Pérez Méndez

Managua, 20 de noviembre do 2024

Msc. Luis Alberto Chavarría V.director
Área de conocimiento de Ingeniería y Afines.
Su Oficina

Estimado Msc. Chavarría:

En ml calidad de tutor de la Tesis monográfico titulado " **Metodología para la Selección de Variadores de Velocidad para el Arranque de motores en baja tensión**", desarrollada por los Bachilleres:

Br. Marcel Abraham Torriente Obando

Carnet 2019-0224U

Sr. Denis López Membreño

Carnet 2008-23761

Se encuentra lista para su predefensa, por lo cual,

Solicito a Usted. se programe la misma, según calendario.

Sin otro particular y en espera de su atención a la presente le saludo.
Atentamente,



Ing. Carlos Abraham Pérez Méndez

Tutor

85772777

C:

Msc.

Ing. Emmanuel Canda. Jefe Dpto. Mecánica - Eléctrica.

Archivo



Área de Conocimiento de Ingeniería y Afines

Managua, 08 de agosto de 2024

Bachilleres

Marcel Abrahamn Torriente Obando

Denis López Membreño

Estimados Bachilleres:

Es de mi agrado informarles que el **PROTOCOLO** de su tema monográfico, titulado. **“Metodología para la Selección de Variadores de Velocidad para el Arranque de motores de baja tensión”** para optar al título de Ingeniero Eléctrico, ha sido aprobado por esta Dirección.

Asimismo, les comunico estar totalmente de acuerdo, con el Ing. **Carlos Abraham Pérez Méndez**, como tutor.

La fecha límite, para que presenten concluido su documento final, debidamente revisado por el tutor guía será el **08 de febrero de 2025**.

Esperando puntualidad en la entrega de la Tesis, me despido.

Atentamente,

MSc. Luis Alberto Chavarría Valverde
Director
Área de Conocimiento de Ingeniería y Afines

CC : Ing. Carlos Abraham Pérez Méndez

Archivo.



Teléfono: (505) 2251 8276



Recinto Universitario Pedro Aráuz Palacios
Costado Sur de Villa Progreso.
Managua, Nicaragua.



luis.chavarría@fti.uni.edu.ni
www.uni.edu.ni



Área de Conocimiento de
Ingeniería y Afines

SECRETARIA DE ÁREA ACADÉMICA

F-8: CARTA DE FINALIZADO PLAN DE ASIGNATURA

El Suscrito Secretario del **ÁREA DEL CONOCIMIENTO DE INGENIERÍA Y AFINES** hace constar que:

TORRIENTE OBANDO MARCEL ABRAHAN

Carné: **2019-0224U** Turno: **Diurno** Plan de Asignatura: **2015** de conformidad con el Reglamento Académico vigente en la Universidad, ha aprobado todas las asignaturas correspondientes a la carrera de **INGENIERÍA ELECTRICA**, en el año 2023 y solo tiene pendiente la realización de una de las formas de culminación de estudio.

Se extiende la presente **CARTA DE FINALIZADO PLAN DE ASIGNATURA**, a solicitud del interesado en la ciudad de Managua, a los nueve días del mes de marzo del año dos mil veinte y cuatro.

Atentamente,



Msc. Augusto César Palacios Rodríguez
SECRETARIO DE ÁREA ACADÉMICA



Teléfono: (505) 2251 8276



Recinto Universitario Pedro Aráuz Palacios
Costado Sur de Villa Progreso.
Managua, Nicaragua.



luis.chavarria@fti.uni.edu.ni
www.uni.edu.ni



Área de Conocimiento de
Ingeniería y Afines

SECRETARIA DE ÁREA ACADÉMICA

F-8: CARTA DE FINALIZADO PLAN DE ASIGNATURA

El Suscrito Secretario del **ÁREA DEL CONOCIMIENTO DE INGENIERÍA Y AFINES** hace constar que:

LÓPEZ MEMBREÑO DENIS GERONIMO

Carné: **2008-23761** Turno: **Diurno** Plan de Asignatura: **2015** de conformidad con el Reglamento Académico vigente en la Universidad, ha aprobado todas las asignaturas correspondientes a la carrera de **INGENIERÍA ELECTRICA**, en el año 2022 y solo tiene pendiente la realización de una de las formas de culminación de estudio.

Se extiende la presente **CARTA DE FINALIZADO PLAN DE ASIGNATURA**, a solicitud del interesado en la ciudad de Managua, a los diecinueve días del mes de marzo del año dos mil veinte y cuatro.

Atentamente,

Msc. Augusto César Palacios Rodríguez
SECRETARIO DE ÁREA ACADÉMICA



Teléfono: (505) 2251 8276



Recinto Universitario Pedro Aráuz Palacios
Costado Sur de Villa Progreso.
Managua, Nicaragua.



luis.chavarria@fti.uni.edu.ni
www.uni.edu.ni

HOJA DE MATRICULA

AÑO ACADEMICO 2024

No. Recibo **43965**

No. Inscripción **434**

NOMBRES Y APELLIDOS: Marcel Abraham Torriente Obando

CARRERA: INGENIERÍA ELECTRICA

CARNET: 2019-0224u

TURN0:

PLAN DE ESTUDIO: 2015

SEMESTRE: SEGUNDO SEMESTRE 2024

FECHA: 26/07/2024

No.	ASIGNATURA	GRUPO	AULA	CRED.	F	R
1	ULTIMA LINEA					

F:Frecuencia de Inscripciones de Asignatura R: Retiro de Asignatura.

DORTUNO

GRABADOR

FIRMA Y SELLO DEL
FUNCIONARIO

FIRMA DEL
ESTUDIANTE

cc:ORIGINAL:ESTUDIANTE - COPIA:EXPEDIENTE.

IMPRESO POR SISTEMA DE REGISTRO ACADEMICO EL 26-jul.-2024

Dedicatoria

Dedicamos el fruto de nuestro trabajo en primer lugar a Dios, que nos brindo la oportunidad de nacer en este hermoso país de lagos y volcanes, de crecer en familias con principios, valores y perseverancia.

A nuestras familias quienes son la piedra angular de nuestros logros, de nuestro desarrollo, que nos convirtieron en las personas que somos hoy.

Finalmente, a todas y cada una de las personas que colaboraron en nuestra alma mater durante todos nuestros años de estudio, desde las personas que nos permitieron asistir a nuestras clases en ambientes limpios y ordenados, personal de seguridad, secretarias, docentes y aquellas personas de las cuales solo conocimos las firmas que nos permitieron seguir avanzando.

Marcel Abrahan Torriente Obando y Denis Gerónimo López Membreño

Resumen

La presente tesis: **“Metodología para la Selección de Variadores de Velocidad para el Arranque de motores en baja tensión”**, se basa en un proceso investigativo, analítico y cuantitativo, que propone una metodología de selección de variadores de velocidad para el arranque de motores de baja tensión, tomando como referencia los parámetros básico del motor, el tipo de carga a conectarse y se obtienen los beneficios de ahorro con la implementación del variador de velocidad para el arranque de motores eléctricos de baja tensión.

También hemos incluido el análisis técnico-financiero de su integración.

A la presente tesis se le adjunta disco CD-ROM, con archivos digitales que competen a este trabajo.

Índice de contenido

Introducción	1
Antecedentes	3
Justificación	6
Objetivos.....	7
I. Marco Teórico	8
Inversor de fuente de corriente (CSI, por sus siglas en inglés).....	11
Metodología de desarrollo de la investigación	13
Capítulo 1.- Variadores de Velocidad, principio de funcionamiento.	14
1.1 Variador de velocidad.	15
1.2 Principio de funcionamiento.	15
1.3 Funciones y características principales.	16
1.4 Consideraciones al elegir un variador de velocidad.	17
Capítulo 2.- Eficiencia energética con variadores de frecuencia.	19
2.1 Eficiencia energética.....	20
2.2 Aplicaciones de los VDF.....	20
2.3 Variadores de velocidad como método eficiente en el control de motores.	21
Capítulo 3.- Motores eléctricos de baja tensión y parámetros involucrados en el arranque.....	23
3.1 Motores Eléctricos de baja tensión.	24
3.2 Voltajes característicos de motores Eléctricos de baja tensión.	24
3.3 Motores de Inducción de baja tensión.	25
3.4 Métodos de arranque de los motores de Inducción de baja tensión.	25
3.5 Parametros a considerar en el arranque de motores eléctricos baja tensión.	26

Capítulo 4.- Aplicaciones de variadores de velocidad para el arranque de los motores eléctricos en baja tensión..... 27

4.1 Aplicaciones de los variadores de velocidad en el arranque de los motores eléctricos. 28

4.2 Ventajas de utilizar variadores de frecuencia en motores asíncronos (IGUREN, 2024) 30

4.3 Funciones de los variadores de velocidad en el arranque de los motores eléctricos. 31

Capítulo 5.- Cálculo de ahorro de energía y monetario al implementar el uso de variadores de velocidad en los motores eléctricos en baja tensión 32

5.1 Cálculo del ahorro de energía utilizando el variador de velocidad. 33

5.2 Ahorro anual de energía y costo monetario utilizando el variador de velocidad. 34

Capítulo 6.- Propuesta metodológica para la selección y arranque de motores de baja tensión utilizando variadores de velocidad. 37

Capítulo 7.- Evaluación técnico-financiera de la implementación de variadores de velocidad para el arranque de motores de baja tensión..... 41

7.1 Evaluación técnica. 42

7.2 Evaluación financiera..... 42

7.3 El flujo neto..... 43

Conclusiones y Recomendaciones. 45

Conclusiones 45

Recomendaciones 46

Bibliografía 47

ANEXO 49

Índice de Figuras

Figura 1 Arranque directo	3
Figura 2 Arranque estrella-triángulo	4
Figura 3 Arranque con autotransformador	5
Figura 4 Circuito de aplicación de un variador de velocidad	28
Figura 5 Diagrama de bloques de un variador de velocidad	31

Introducción

Hoy es imposible entender la vida cotidiana sin las decenas de diferentes tipos de aparatos eléctricos que facilitan nuestras actividades, ya sea en nuestros hogares, en comercios, o en el entorno industrial. Todos estos aparatos, consumen energía y, para funcionar, necesitan de un motor eléctrico que se alimenta de la red de forma habitual.

Independientemente de cuál sea su función, es decir, si se destinan al ocio o al trabajo, estos motores eléctricos utilizan la electricidad para poder generar par y velocidad, siendo el objetivo último hacer funcionar el aparato al que estén conectados.

Básicamente, los motores eléctricos no siempre generan la velocidad o frecuencia necesitada por el aparato en cuestión al que sirven. Es aquí donde entra en juego el variador de velocidad, que actúa como un intermediario para que se utilice únicamente la energía necesaria. Ahora bien, como la velocidad de un motor de corriente alterna es controlada por la frecuencia, prácticamente un variador de velocidad es un variador de frecuencia.

Los variadores o convertidores de frecuencia son sistemas que se encuentran entre la fuente de alimentación eléctrica y los motores eléctricos. Sirven para regular la velocidad de giro de los motores de corriente alterna (AC) (SOLERPALAU, 2024).

Regulando la frecuencia de la electricidad que recibe el motor, el variador de frecuencia consigue ofrecer a este motor la electricidad demandada, evitando así la pérdida de energía, o lo que es lo mismo, optimizando el consumo.

A medida que la electrónica avanza y la generación de energía es cada vez más costosa, se torna rentable y necesario hacer cada vez más eficientes los procesos de producción, éste es el caso de aquellos procesos que involucren motores eléctricos y que haciendo uso de los controles de frecuencia (variadores) pueden ser más eficientes y por lo tanto ahorrar energía.

Partiendo de la premisa de que al tener un mayor consumo de corriente se está demandando mayor potencia, se hace necesario regular el consumo energético, puesto que no solamente se tiene un impacto económico, sino también social porque afecta el medio ambiente de forma directa debido a que la generación energética si es a base de fuentes primarias no renovables a base de derivados de petróleo incrementa las emisiones contaminantes del medio ambiente.

Al mismo tiempo de busca automatizar parte de los procesos, es obvio que existen varias maneras de lograr este propósito y una de ellas es con la aplicación de los variadores de frecuencia(velocidad), cuyo propósito es el tema de esta investigación.

En nuestro caso queremos presentar una alternativa que proporcione beneficios a la industria mediana con la aplicación de variadores de frecuencia(velocidad) en los procesos industriales, que represente algunas ventajas para esta, logrando beneficios económicos en el consumo de energía y un impacto positivo al medio ambiente con la reducción de emisiones contaminantes.

Este estudio busca proponer una metodología para la selección de variadores de velocidad para el arranque de motores de corriente alterna en baja tensión, para la gobernabilidad sobre los distintos parámetros del motor y mejorar aspectos como la operatividad de la máquina y la adecuación de sus condiciones de trabajo.

Antecedentes

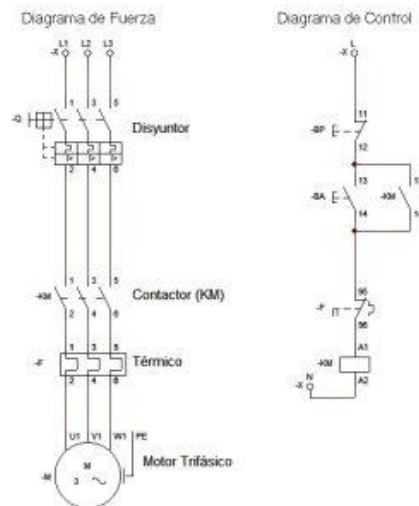
Existen muchos sistemas de arranque de motores de corriente alterna de forma tradicional y poco ahorrativos, nada eficientes como son:

Arranque de tensión reducida

Existen diversas formas constructivas, la más simple es la llamada “estrella-triángulo”, otras pueden ser: emplear resistencias estatóricas, mediante transformador de arranque y con dispositivos electrónicos como lo son los denominados “arrancadores suaves” (EditoresSLR, 2023).

Arranque directo: El arranque directo es el método más simple para arrancar un motor trifásico de inducción. Consiste simplemente en conectar los devanados estatóricos directamente con el cierre de contactos de potencia (contactores) (Plata, 2023).

Figura 1Arranque directo

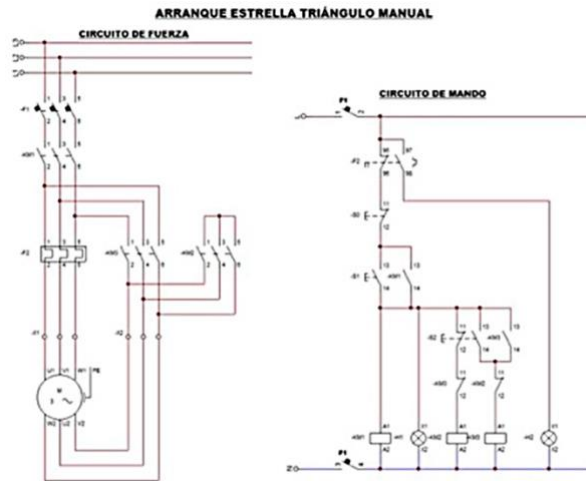


Fuente: <https://masam.cuautitlan.unam.mx/dycme/ce/arranque-y-paro-de-un-motor-trifasico/>

Arranque estrella-triángulo: El arranque estrella-triángulo consiste en arrancar el estator del motor conectado en conexión estrella, y cuando la velocidad se estabiliza

luego de un periodo de tiempo, conmutarlo a conexión triángulo, completándose así la aceleración y el proceso de arranque.

Figura 2 Arranque estrella-triángulo

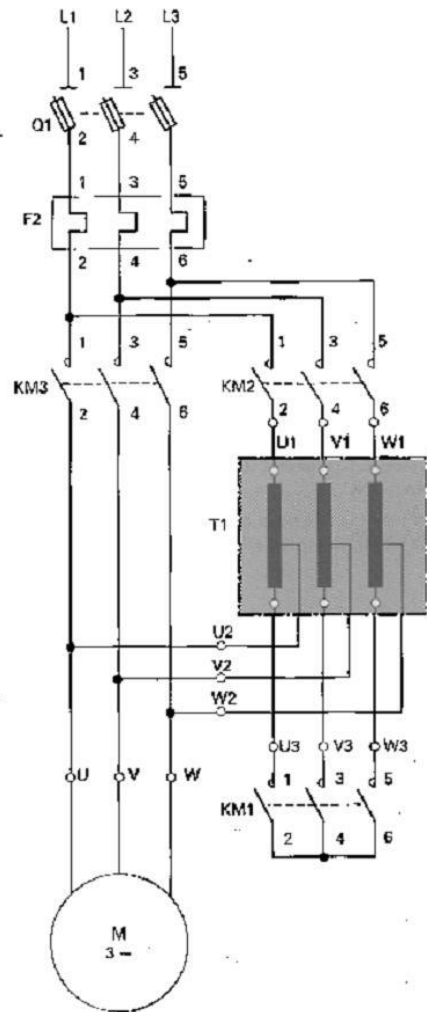


Fuente: <https://syzcominsa.pe/blog/arranque-estrella-triangulo-para-motores>

Arranque con auto-transformador: Este sistema de arranque consiste en alimentar el motor a tensión reducida a través de un autotransformador, de forma que las sucesivas tensiones aplicadas en bornes del motor tengan un valor creciente durante el periodo de arranque, hasta alcanzar el valor de la tensión nominal de línea, obteniéndose de esta forma una reducción de la corriente de arranque y del par motor, en la misma proporción.

Por lo general los autotransformadores se equipan con tomas para el 55 %, 65 % y 80 % de la tensión de línea. El número de puntos de arranque depende de la potencia del motor y de las características de la máquina accionada. No se producen cortes de tensión en la alimentación del motor (Industrial, 2024).

Figura 3 Arranque con autotransformador



Fuente: <https://automatismoindustrial.com/curso-carnet-instalador-baja-tension/d-automatizacion/1-6-logica-cableada/arranque-por-autotransformador/>

En la actualidad no existe una metodología estándar para la selección de variadores de velocidad de los motores de inducción en la industria mediana, la mayoría de los motores de inducción utilizan los métodos tradicionales de arranque nada ahorrativos que ocasionan mayores costos por mantenimiento, ineficiencia en el proceso productivo y falta de ajuste continuo en el rango de variación de la velocidad del motor.

Justificación

La finalidad de este trabajo de investigación es realizar una propuesta de metodología para la selección de variadores de velocidad para el arranque de motores de baja tensión, que permita un rango de ajuste continuo de variación de velocidad del motor, incrementando su eficiencia de trabajo, ahorro energético y disminuya la tasa de mantenimiento por averías.

En este caso vamos a aprovechar las ventajas que proporcionan los variadores de velocidad (frecuencia), que proporcionan un mayor control en el proceso de arranque del motor, ya que las paradas se realizan con rampas de aceleración y desaceleración, trayendo consigo menores esfuerzos y por lo tanto menores desgastes en los elementos mecánicos del motor.

Objetivos

Objetivo General:

- Diseñar un método de selección de variadores de velocidad para el arranque de motores de baja tensión, que permita un mayor control en el proceso de arranque del motor, cuyos beneficios son:

Mejora en la eficiencia de trabajo del motor, ahorro energético y disminución de la tasa de mantenimiento por averías

Objetivos específicos:

- ✓ Estudiar los parámetros involucrados en el arranque de los motores eléctricos de baja tensión.
- ✓ Estudiar y analizar las aplicaciones de variadores de velocidad para el arranque de los motores eléctricos en baja tensión.
- ✓ Calcular el posible ahorro de energía al implementar el uso de variadores de velocidad en los motores eléctricos en baja tensión.
- ✓ Proponer una metodología para la selección y arranque de motores en baja tensión mediante variadores de velocidad.
- ✓ Evaluar técnica y financieramente su viabilidad de implementación.

I. Marco Teórico

Principio básico de funcionamiento del motor de corriente alterna:

El motor es uno de los elementos más importante en cualquier equipo o máquinas, son los encargados de transformar la energía para el funcionamiento adecuado del dispositivo. Los motores comprenden una tipología, uno de ellos es el **motor de inducción** (GSLIndustrias, 2024).

Es muy utilizado en equipos industriales. Este dispositivo por lo general funciona con corriente alterna. El primer prototipo de motor eléctrico capaz de funcionar con corriente alterna fue desarrollado y construido por el ingeniero Nikola Tesla y presentado en el American Institute of Electrical Engineers en 1888.

Este tipo de instrumento también es conocido como asíncrono y hoy día lo podemos encontrar en los carros eléctricos, pero antes de abordar su utilidad, veamos su definición.

El principio de funcionamiento de un motor de inducción sienta sus bases según el principio de inducción mutua de Faraday. Al aplicar corriente alterna trifásica a las bobinas inductoras, se desarrolla un campo magnético giratorio.

La frecuencia es similar a la de la energía alterna con la que se nutre al motor. Este campo al girar alrededor del rotor en estado de reposo, inducirá corriente en el mismo, originando un campo magnético que seguirá el movimiento del campo estático, produciendo una cupla o par motor que hace que el rotor gire. A este proceso se le conoce como principio de inducción mutua.

Los principios físicos que rigen el funcionamiento de un motor eléctrico se conocen como la **ley de Ampère** y la **ley de Faraday**.

El primer principio establece que un **conductor eléctrico** que se encuentra en un campo magnético, experimentará una fuerza si cualquier corriente que fluye a través del conductor tiene un componente en ángulo recto con ese campo. En consecuencia, la

inversión de la corriente o del campo magnético producirá una fuerza que actuará en la dirección opuesta.

El segundo principio establece que si un conductor se mueve a través de un campo magnético, entonces cualquier componente de movimiento perpendicular a ese campo generará una diferencia de potencial entre los extremos del conductor.

Cuando una corriente eléctrica comienza a desplazarse por un cable, crea un campo magnético a su alrededor. Si colocas el cable cerca de un imán permanente, este campo magnético temporal interactúa con el campo del imán permanente.

Sabrás que dos imanes colocados cerca uno del otro se atraen o repelen. De la misma manera, el magnetismo temporal alrededor del cable atrae o repele el magnetismo permanente del imán, y eso es lo que hace que el cable rote.

Es decir, su funcionamiento se basa utilizando **principios del electromagnetismo**, lo que demuestra que se aplica una fuerza cuando una corriente eléctrica está presente en un campo magnético. Esta fuerza crea una fuerza de torsión en un bucle de alambre presente en el campo magnético, que hace que el motor gire y realice un trabajo útil (industria, 2022).

Control de velocidad de motores de CA

El motor de inducción de corriente alterna es esencialmente un dispositivo de velocidad constante. La velocidad del campo magnético giratorio se denomina velocidad síncrona. La velocidad síncrona (η_s) de un motor se define como:

$\eta_s = \frac{120f}{p}$	(1)
---------------------------	--------------

Donde:

η_s : Velocidad síncrona del estator, en rpm

f: Frecuencia de la red en Hz.

p: Número de polos de la máquina.

Y en el caso de la velocidad de rotación del rotor se define como:

$\eta_r = \eta_s(1 - s)$	(2)
--------------------------	--------------

Donde:

η_r : Velocidad de rotación del rotor, en rpm.

S: deslizamiento del motor.

Donde:

$s = \frac{\eta_s - \eta_r}{\eta_s}$ Escriba aquí la ecuación.	(3)
--	--------------

Controlador de velocidad del motor de corriente alterna:

Un controlador de corriente alterna que controla la velocidad del motor de corriente alterna (CA), también se conoce como accionamiento de frecuencia variable (VFD por sus siglas en inglés), un accionamiento de velocidad ajustable (ASD por sus siglas en inglés) y convertidor de frecuencia (FC). El motor de CA recibe energía con una frecuencia variable generada por el controlador de CA. Esta salida ajustable permite un control preciso de la velocidad del motor.

Componentes de un controlador de velocidad de corriente alterna

Hay tres componentes principales en un controlador de velocidad de CA, que son:

1. Rectificador
2. Inversor
3. Enlace DC

La entrada de corriente alterna se convierte en corriente continua(CC) mediante un rectificador. El inversor convierte la tensión corriente continua de nuevo en corriente alterna como salida a la frecuencia deseada (WATTCO, 2000).

Tipos de accionamiento de frecuencia variable:

Los accionamientos de frecuencia variable (VFD por sus siglas en inglés) son de tres tipos básicos:

1. Inversor de fuente de corriente (CSI, por sus siglas en inglés)
2. Inversor de fuente de voltaje (VSI, por sus siglas en inglés)
3. Modulación de duración de pulso (PWM, por sus siglas en inglés).

Las secciones de un VFD incluyen un convertidor, un enlace de CC y un inversor.

Inversor de fuente de corriente (CSI, por sus siglas en inglés)

Un inversor de fuente de corriente (CSI) convierte el voltaje de CA entrante y controla la frecuencia y el voltaje que suministran al motor de inducción de CA. El CSI convierte la CA entrante en una tensión CC variable mediante:

- Rectificadores controlados por silicio (SCR, por sus siglas en inglés)
- Tiristores conmutados por puerta (GCT, por sus siglas en inglés)
- Tiristores conmutados por puerta (GCT, por sus siglas en inglés)
- Tiristores conmutados por puerta simétrica (SGCT, por sus siglas en inglés)

Inversor de fuente de voltaje(VSI, por sus siglas en inglés):

La conversión del inversor de fuente de voltaje (VSI, por sus siglas en inglés) funciona de manera similar a la del CSI. Convierte el voltaje entrante de CA a CC. La diferencia es que el VSI usa un puente rectificador de diodos para lograr la conversión. El puente utiliza condensadores para mantener un voltaje de CC constante, así como para almacenar energía para el sistema de transmisión.

La sección del inversor utiliza muchos tipos de transistores y tiristores que actúan como interruptores para crear una salida de modulación de duración de pulso (PWM, por sus siglas en inglés) para controlar la frecuencia y el voltaje aplicados al motor.

Modulación de duración de pulso(PWM):

La modulación de duración de pulso (PWM) emplea un rectificador de puente de diodos, tal como un VSI, que convierte el voltaje entrante de CA en CC. Las ondas generadas por el rectificador se suavizan utilizando los condensadores grandes del enlace de CC. Esto asegura una tensión de bus de CC estable.

Los transistores bipolares de puerta aislada (IGBT, por sus siglas en inglés) de alta potencia se utilizan en la etapa de inversor de varios pasos del controlador con el fin de encenderlo y apagarlo para controlar tanto la frecuencia como el voltaje entregado al motor en una salida de forma de onda sinusoidal. La variación de la duración del pulso de voltaje produce como resultado un voltaje de potencia promedio que se suministra al motor. El número de transiciones de forma de onda por segundo determina la frecuencia que requiere el motor (WATTCO, 2000).

Metodología de desarrollo de la investigación

Para llegar a establecer una propuesta metodológica de selección de variadores de velocidad para el arranque de motores de baja tensión, estudiamos las fuentes bibliográficas relacionadas tanto del principio de funcionamiento de los motores eléctricos como la aplicación de variadores de velocidad para el arranque de los mismos.

Estudiamos y analizamos los parámetros eléctricos asociados al arranque de los motores eléctricos, así como las aplicaciones diversas de los variadores de velocidad.

Una vez establecidas todas las condiciones para la implementación de los variadores de velocidad para el arranque de motores de baja tensión, se calculó el ahorro asociado a este, se propuso la metodología básica para su selección e implementación y se determinaron las condiciones técnicas y financieras para su viabilidad de implementación

Debido a lo descrito anteriormente, la investigación que se presenta según su enfoque metodológico se adscribe a un diseño teórico-aplicada, con lógica deductiva de carácter secuencial explicativo. (Hernandez Sampieri)

Capítulo 1.- Variadores de Velocidad, principio de funcionamiento.

1.1 Variador de velocidad.

También conocidos como variadores de frecuencia (VFD), son dispositivos electrónicos que se utilizan para controlar la velocidad y el par de los motores de corriente alterna (CA).

Logran este control ajustando la frecuencia y el voltaje de la potencia suministrada al motor. Este ajuste no sólo mejora el rendimiento del equipo, sino que también ahorra energía y reduce el desgaste mecánico (GTAKÉ, 2024).

1.2 Principio de funcionamiento.

El principio de funcionamiento de los variadores de frecuencia de CA se basa en ajustar la frecuencia y el voltaje de la potencia de entrada para controlar la velocidad de funcionamiento y el par del motor. Los pasos básicos son los siguientes:

1. Rectificación

La energía CA entrante se convierte en energía CC a través de un rectificador. El rectificador consta de diodos o tiristores.

2. Filtrado

La alimentación de CC se suaviza mediante un filtro, que elimina los componentes pulsantes y produce un voltaje de CC estable.

3. Inversión

La energía CC se convierte nuevamente en energía CA a través de un inversor. El inversor consta de un conjunto de elementos de conmutación (como IGBT, transistores bipolares de puerta aislada) que conmutan a diferentes frecuencias y voltajes para producir energía de CA con frecuencia y voltaje variables.

4. Regulación de producción

Al ajustar la frecuencia de conmutación y el voltaje del inversor, el variador de frecuencia puede controlar con precisión la frecuencia y el voltaje de salida al motor, regulando así la velocidad y el par del motor (GTAKE, 2024).

1.3 Funciones y características principales.

1. Control de velocidad

La función principal de un variador de frecuencia es regular la velocidad del motor. Al variar la frecuencia, el variador puede operar el motor en una amplia gama de velocidades.

2. Ahorro de energía

Al controlar con precisión la velocidad y la carga del motor, los variadores de velocidad pueden reducir significativamente el consumo de energía, especialmente durante el funcionamiento con carga parcial.

3. Arranque suave y parada suave

Los variadores de velocidad pueden lograr un arranque y una parada suaves de los motores, evitando sobretensiones repentinas y choques mecánicos, extendiendo así la vida útil del equipo.

4. Funciones de protección

Los variadores de CA están equipados con varias características de protección, como protección contra sobrecarga, protección contra sobrecorriente, protección contra sobrecalentamiento, protección contra subtensión y sobretensión, lo que garantiza la seguridad tanto del motor como del variador (GTAKE, 2024).

Los variadores de velocidad se utilizan ampliamente en diversas industrias, que incluyen:

1. Automatización Industrial

Se utiliza para controlar diversos equipos mecánicos en la producción industrial, como cintas transportadoras, bombas, ventiladores, compresores y grúas, optimizando los procesos de producción y mejorando la eficiencia.

2. HVAC (Calefacción, Ventilación y Aire Acondicionado)

En los sistemas HVAC, los variadores de velocidad se utilizan para regular la velocidad de ventiladores y bombas, proporcionando un flujo preciso de aire y agua según sea necesario y ahorrando energía.

3. Tratamiento de aguas

En las instalaciones de tratamiento de agua, los variadores de velocidad se utilizan para regular la velocidad de bombas y sopladores, optimizando el proceso de tratamiento de agua y mejorando la eficiencia del sistema.

4. Ascensores y equipos de elevación

Los variadores de velocidad se utilizan en ascensores y equipos de elevación para controlar la aceleración y desaceleración de los motores, garantizando operaciones de arranque y parada suaves, aumentando la seguridad y la comodidad.

1.4 Consideraciones al elegir un variador de velocidad.

Al seleccionar variadores de CA, se deben considerar los siguientes factores

- Parámetros del motor: Asegúrese de que el voltaje, la corriente y la frecuencia nominales del variador coincidan con los del motor.
- Requisitos de la aplicación: seleccione las funciones del variador según las necesidades específicas de la aplicación, como control de múltiples velocidades, control PID, etc.

- Condiciones ambientales: considere los factores de temperatura, humedad, polvo y vibración del entorno de trabajo y elija el modelo de unidad y el nivel de protección adecuados.
- Marca y servicio posventa: elija una marca con buena reputación y un servicio posventa integral para garantizar la calidad del producto y el soporte posterior.

Los convertidores de frecuencia desempeñan un papel crucial en la industria moderna y en la vida diaria. Al controlar la velocidad y el par de los motores de CA, logran ahorro de energía, mejora de la eficiencia y protección del equipo. Comprender los principios de funcionamiento, las funciones principales y las áreas de aplicación de los variadores de velocidad es esencial para seleccionar y utilizar estos dispositivos. Durante la selección y el uso, es necesario considerar exhaustivamente los parámetros del motor, los requisitos de la aplicación y los factores del entorno de trabajo para garantizar que el variador pueda funcionar de manera eficiente y confiable (GTAKÉ, 2024).

Capítulo 2.- Eficiencia energética con variadores de frecuencia.

2.1 Eficiencia energética.

Los variadores de frecuencia (VDF) pueden ayudarle a reducir el consumo de energía con un uso más eficiente. Los variadores de frecuencia ajustan la velocidad de los motores eléctricos para igualarla a la demanda de la aplicación, lo que reduce el consumo energético de los motores entre un 20 y un 70% (ABB, 2024).

El uso de variadores de frecuencia para el control inteligente de los motores supone una mejora de la productividad, incrementa la eficiencia energética y a la vez alarga la vida útil de los equipos, previniendo el deterioro y evitando paradas inesperadas que provocan tiempos de improductividad, de modo que el uso de variadores de frecuencia en los procesos proporciona grandes ventajas financieras, operativas y medioambientales.

2.2 Aplicaciones de los VDF.

Las principales aplicaciones de variadores de frecuencia se dan en:

Ventiladores y bombas centrífugas

En edificación, los ventiladores se utilizan en:

- sistemas de climatización.
- sistemas de ventilación.
- recuperadores de calor.

mientras que las bombas centrífugas, se utilizan en

- circuitos hidráulicos de calefacción.
- climatización.
- agua caliente sanitaria.

2.3 Variadores de velocidad como método eficiente en el control de motores.

Sabemos que existen 4 principales tipos de arranque:

- Arranque a tensión plena
- Estrella/delta
- Arrancador suave
- Arranque por variador de frecuencia

Los variadores de velocidad nos ayudan en el ahorro energético, no solo en el pico de arranque, sino en todo el control de motor en general (RISOUL, 2024).

Existen 2 tipos de aplicaciones que mueven los motores eléctricos:

- Par constante
- Par variable

En las aplicaciones de par constante tenemos molinos, grúas y bandas transportadoras. Son aplicaciones en las que su torque es constante sin importar las variaciones en la velocidad. Por otro lado, las aplicaciones de par variable como centrifugadoras, bombas, ventiladores son aplicaciones donde el par varía en función a la velocidad. Estas aplicaciones son excelentes oportunidades para el ahorro energético con variadores de velocidad.

En estas aplicaciones no es necesario que siempre estén funcionando al 100% de su capacidad, por lo que se utilizan variadores de frecuencia para controlar la velocidad de la aplicación para que funcione a la capacidad necesaria. En aplicaciones de par variable esto puede suponer grandes ahorros energéticos (RISOUL, 2024).

Por ejemplo, en ciertas aplicaciones de par variable, gracias a las leyes de afinidad, una reducción en la velocidad del motor puede generar ahorros de hasta 50% en el consumo energético de esa aplicación.

Capítulo 3.- Motores eléctricos de baja tensión y parámetros involucrados en el arranque.

3.1 Motores Eléctricos de baja tensión.

En este contexto, baja tensión se refiere a motores que funcionan a tensiones por debajo de 1000 V y producen una potencia máxima de 1000 kW (ABB, Motores de baja tensión, 2023).

Los motores se clasifican principalmente en función de sus diferencias físicas fundamentales, y en segundo lugar, de acuerdo con su finalidad de uso. De acuerdo con ello, dividimos los motores en dos rangos de motores de inducción, cuatro tipos de motores de atmósferas explosivas, motores accionados por convertidor de frecuencia, de los cuales los más destacables son los motores síncronos y los de aplicación especial. La última categoría de motores incluye, por ejemplo, motores marinos y motores de extracción de humos, ambos basados en el motor básico de inducción con modificaciones que varían según el uso final de cada motor (ABB, Motores de baja tensión, 2023).

3.2 Voltajes característicos de motores Eléctricos de baja tensión.

La siguiente tabla muestra los voltajes característicos de los motores eléctricos de baja tensión:

Arranque directo o, con conexión Δ ; también arranque Y/ Δ				
Tamaño del motor	S		D	
	50 Hz	60 Hz	50 Hz	60 Hz
56-100	220-240 V Δ 380-415 VY	- 440-480 VY	380-415 V Δ 660-690 VY	440-480 V Δ -
112-132	220-240 V Δ 380-415 VY	- 440-480 VY	380-415 V Δ 660-690 VY	440-480 V Δ -
160-450 ¹⁾	220, 230 V Δ 380, 400, 415 VY	440 VY	380, 400, 415 Y Δ 660 VY	440-480 -
Tamaño del motor	E		F	
	50 Hz	60 Hz	50 Hz	60 Hz
56-100	500 V Δ	²⁾	500 VY	²⁾
112-132	500 V Δ	²⁾	500 VY	²⁾
160-450	500 V Δ	²⁾	²⁾	²⁾

El poster de tensiones de todo el mundo se puede obtener en las oficinas de venta de ABB.

¹⁾ La gama de tensión varía según el tipo. Consulte siempre el valor adecuado en el catálogo de producto correspondiente.

²⁾ Bajo demanda.

Fuente: https://www.motronic.es/upfiles/productes_img/files/motores-abb-m3aa-ie2---ie3-es_1418.pdf

3.3 Motores de Inducción de baja tensión.

Los motores de inducción de baja tensión de ABB son motores eléctricos trifásicos cuyo poder rotatorio se basa en la inducción electromagnética. La corriente llevada a los devanados del motor crea un circuito magnético giratorio, que induce una tensión en las barras del rotor. Las barras forman un circuito cerrado donde la corriente empieza a circular, formando otro campo magnético. Los campos magnéticos del rotor y el estator interactúan de tal manera que el rotor sigue el campo magnético del estator, produciendo de este modo el par. En la naturaleza de los motores asíncronos, el rotor gira más lento que el campo magnético en el estator. Cuando aumenta la carga mecánica en el eje del motor, la diferencia en la velocidad (deslizamiento) aumenta, y se produce un par mayor. Los motores de inducción de baja tensión cubren el rango de potencia de 0,06 hasta 1000kW (ABB, Motores de baja tensión, 2023).

3.4 Métodos de arranque de los motores de Inducción de baja tensión.

Arranque directo: La manera más simple de arrancar un motor de jaula de ardilla es conectándolo directamente a la red. En tal caso, el único equipo de arranque que se necesitará es un arrancador directo a línea. Este método tiene sin embargo sus limitaciones, puesto que comporta una alta intensidad de arranque de varias veces la intensidad nominal del motor. También el par de arranque es muy elevado lo que puede derivar en grandes esfuerzos en los acoplamientos y eje. Aun así, es el método preferible, de no existir razones especiales para descartarlo (ABB, Motores de baja tensión, 2023).

Arranque Y/ Δ : Si, por causa de limitaciones de la alimentación, se precisa una disminución de la intensidad de arranque de un motor, puede utilizarse el método Y/ Δ . Con este método, un motor, devanado por ejemplo a 400 V/ Δ y puesto en marcha con el devanado conectado en Y, reducirá la intensidad de arranque en un 30% del valor definido para arranque directo y el par de arranque quedará reducido a un 25% del valor de arranque directo. Sin embargo, antes de utilizar este método, es antes necesario determinar si el par reducido del motor es suficiente para acelerar la carga para todas la gama de velocidades.

Arrancadores suaves: Un arrancador suave limita la intensidad de modo que proporciona un arranque suave. La magnitud de la intensidad de arranque depende directamente del par estático de arranque exigido durante el mismo y de la masa de la carga que deba ser acelerada.

Arranque con un variador de frecuencia: La regulación de velocidad mediante un variador de frecuencia es una gran ventaja cuando existe la necesidad de ajustar la velocidad durante el funcionamiento continuo, pero por lo general no es la solución óptima solo para arrancar y parar el motor. Con un convertidor de frecuencia, el par nominal del motor está disponible ya a baja velocidad, y la intensidad de arranque es baja, entre 0.5 y 1 vez la corriente del motor y máximo 1.5 veces de la intensidad normal.

3.5 Parametros a considerar en el arranque de motores eléctricos baja tensión.

Algunos parámetros a considerar durante el arranque de un motor eléctrico son:

- **Par de arranque:** La fuerza de torsión que genera el motor al comenzar a girar. Este parámetro es fundamental para que el motor supere la resistencia inicial y entre en funcionamiento.
- **Corriente de arranque:** La corriente que fluye a través del motor al encenderse. Puede ser mayor que la corriente nominal.
- **Tensión:** La tensión nominal del motor es un parámetro a considerar para valorar el par de arranque.
- **Caída de voltaje:** Se puede calcular utilizando la ley de Ohm.
- **Momento de inercia:** La medida de la distribución de masa en el sistema de rotor del motor.
- **Velocidad angular:** Un parámetro a considerar para valorar el par de arranque

Capítulo 4.- Aplicaciones de variadores de velocidad para el arranque de los motores eléctricos en baja tensión.

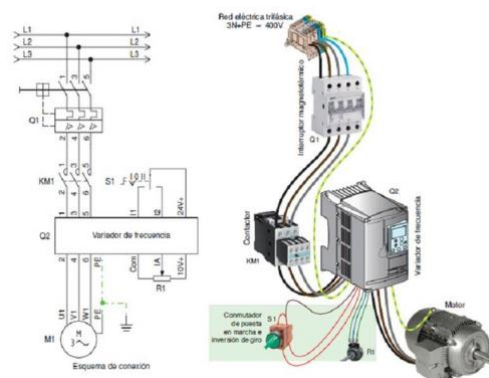
4.1 Aplicaciones de los variadores de velocidad en el arranque de los motores eléctricos.

Los variadores de velocidad, también conocidos como variadores de frecuencia, son reguladores industriales que se utilizan para el arranque de motores eléctricos en baja tensión. Entre sus aplicaciones se encuentran:

- **Controlar la velocidad de los motores:** En la industria manufacturera, se utilizan para ajustar la velocidad de los procesos de producción.
- **Mejorar el control y la calidad del producto:** Permiten programar un arranque suave, parada y freno.
- **Proteger el equipo:** Reducen las corrientes de entrada y limitan el par de torque, lo que extiende la vida útil del motor.
- **Reducir el consumo de energía:** Ajustan la velocidad del motor a las necesidades reales del sistema.
- **Reducir el ruido:** Ayudan a minimizar el ruido generado por los motores.

Los variadores de baja tensión cubren un rango de tensión de 100 a 690 voltios y una potencia de varios vatios a megavatios.

Figura 4 Circuito de aplicación de un variador de velocidad



Fuente: https://iguren.es/blog/aplicaciones-y-usos-de-los-variadores-de-frecuencia/?srsltid=AfmBOop8hh2fDGJWG3zPmJh0wwFUqLpEorjjFbNeTSvTIXo_uqyLpmnl

Los variadores de velocidad se emplean en una amplia gama de aplicaciones domésticas e industriales, como en ventiladores, equipo de bombeo, bandas y transportadores industriales, elevadores de vehículos y ascensores, llenadoras, tornos y fresadoras, etc.

- **Cintas transportadoras:** Puede regularse la velocidad de producción según el tipo de producto a transportar. También evita golpes al transportar materiales delicados como botellas y envases evitando la caída y rotura de estos. Es recomendable usar en este tipo de aplicaciones variadores de frecuencia de par constante como los **variadores de frecuencia Commander C o los variadores FR-F800 de Mitsubishi Electric**.
- **Bombas y ventiladores centrífugos para controlar el caudal** en sistemas de presión constante y volumen variable. En este caso se obtiene un gran **ahorro de energía** porque el consumo varía con el cubo de la velocidad, o sea que para la mitad de la velocidad, el consumo es la octava parte de la nominal. En este tipo de aplicación, si el control o la exigencia no es muy importante o exigente, se puede hacer uso de **variadores de frecuencia de propósito general**.
- **Bombas de desplazamiento positivo para controlar el caudal y dosificación** con precisión, controlando la velocidad y evitando golpes de ariete en el arranque y la parada.
- **Ascensores y elevadores** para obtener un arranque y parada suaves y pudiendo obtener diferentes velocidades para aplicaciones distintas. Aquí es donde entran **variadores de frecuencia para ascensores**, como los **variadores E300 de Control Techniques**, que permiten obtener una eficiencia y control suave de los desplazamientos.
- **Extrusoras:** El control de la Velocidad del tornillo de las Extrusoras es uno de los factores clave que afectan la calidad del producto.
- **Prensas mecánicas y balancines**, se evitan desperdicios de materiales al obtener arranques suaves y mediante velocidades bajas en el inicio de la tarea, se evitan los desperdicios de materiales.

- Máquinas textiles. Para distintos tipos de materiales, inclusive para telas que no tienen un tejido simétrico se pueden obtener velocidades del tipo random para conseguir telas especiales.
- **Compresores de aire.** Se obtienen arranques suaves con máxima cupla y menor consumo de energía en el arranque.
- **Bombas de extracción pudiendo adecuar la** velocidades de acuerdo a las necesidades del pozo.

4.2 Ventajas de utilizar variadores de frecuencia en motores asíncronos (IGUREN, 2024)

- **Instalación y mantenimientos sencillo** ya que la conexión del cableado es muy sencilla.
- **Aumenta la vida útil del motor** al permitir arranques y frenados suaves, progresivos y sin saltos
- **Protege el motor**, puede detectar y controlar la falta de fase a la entrada y salida del equipo
- Limita la corriente de arranque
- Permite el **control de rampas de aceleración y deceleración** regulables en el tiempo
- Puede controlarse a través de un PLC o disponer de un PLC integrado para el control de aplicaciones más complejas
- Se consigue un **importante ahorro de energía** en algunas aplicaciones
- Se obtiene un **mayor rendimiento del motor**
- Permite ver y controlar las variables

4.3 Funciones de los variadores de velocidad en el arranque de los motores eléctricos.

La función principal de un variador de velocidad es controlar la velocidad, el par motor y la potencia en los motores eléctricos de corriente alterna (APIEM, 2024).

Un motor de inducción conectado directamente a la red eléctrica no puede regular ninguno de estos parámetros por sí solo, ya que la velocidad de giro depende directamente de la frecuencia de red y tanto el par como la potencia dependen de la tensión de la línea eléctrica.

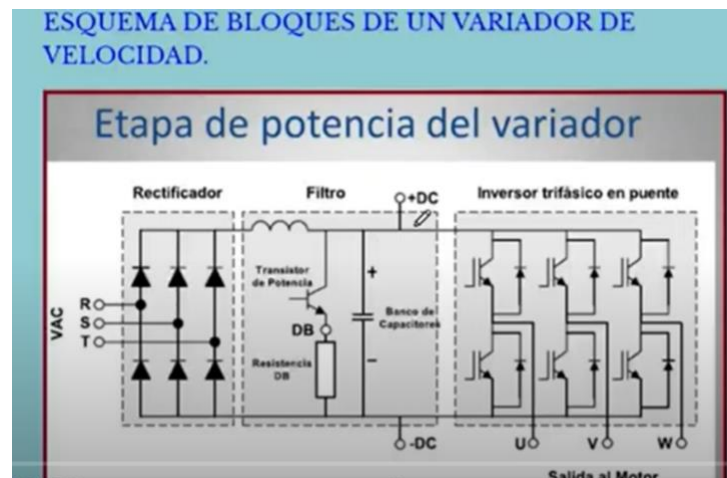
El circuito equivalente de un variador de velocidad se divide en tres etapas principales:

1ª etapa: rectificador en la entrada del variador, compuesta por puentes de diodos, para convertir la señal de CA a CC.

2ª etapa: filtrado mediante condensadores, para suavizar la forma de onda y conseguir una señal CC limpia.

3ª etapa: inversión en la salida del variador, compuesta por transistores IGBT, para convertir la señal de corriente continua CC a corriente alterna CA (APIEM, 2024).

Figura 5 Diagrama de bloques de un variador de velocidad



Fuente: <https://www.youtube.com/c/PortalMecatr%C3%B3nica1>

Capítulo 5.- Cálculo de ahorro de energía y monetario al implementar el uso de variadores de velocidad en los motores eléctricos en baja tensión

5.1 Cálculo del ahorro de energía utilizando el variador de velocidad.

La energía de la red eléctrica pasa a través del variador de velocidad y es regulada antes de que esta llegue al motor para luego ajustar la frecuencia, tensión y corriente en función de los requerimientos y demanda del proceso donde está operando el motor (RETIEINGENIERIA, 2024).

El variador de velocidad tiene múltiples beneficios y es quizá la mejor solución para el arranque, parada, protección y automatización de procesos en donde se involucran motores eléctricos.

Entre estos beneficios se destacan algunos como el arranque suave, parada suave, eliminación del pico de corriente producido en el arranque directo de un motor, la eliminación del estrés mecánico producido en el motor y en todo el sistema mecánico acoplado al eje del mismo, la corrección del factor de potencia del motor, el control de par, el control de velocidad, algunas funciones propias de un controlador como por ejemplo reguladores PID y la posibilidad de utilizar el variador como un PLC, centralizando el proceso desde este mismo a través de sus entradas y salidas digitales, analógicas y variedad de protocolos de comunicación industrial (RETIEINGENIERIA, 2024).

Al arrancar un motor con un variador de velocidad el pico de corriente puede variar entre 1 a 2 veces la corriente nominal.

Adicional a esto, contribuye a alargar la vida útil y reducir los costos de mantenimiento del sistema, por ejemplo, al hacer el arranque y parada de un motor acoplado a una bomba centrífuga, automáticamente eliminamos el efecto conocido como golpe de ariete producido en el sistema hidráulico y que tiene un gran impacto positivo sobre la aplicación. Es importante mencionar que el ahorro de energía y la programación del variador dependen en gran parte de la curva de par-velocidad de la aplicación; en la industria existen gran cantidad de aplicaciones y por ende diferentes tipos de curvas de par; para hacer esto más claro mencionaremos 2 ejemplos de estas:

5.2 Ahorro anual de energía y costo monetario utilizando el variador de velocidad.

Para calcular el ahorro de energía con un variador de frecuencia (VFD), se resta la potencia a plena carga del motor menos la potencia del VFD, veamos un ejemplo, tomemos un motor de 10 HP(7.46 kW), 60 Hz con una eficiencia de 91.7%, entonces la potencia de entrada a plena carga sería de:

$Pe = \frac{Ps}{\eta}$	(4)
------------------------	-----

$$Pe = \frac{7.46 \text{ kW}}{91.7\%} = 8.14 \text{ kW}$$

Especificaciones de Motor Trifasico

Tipo: GP100.

Potencia: 10 Hp (7.46 kW).

Polos: 4.

Eficiencia: 91.7%.

Tensión: 230/460 V.

Corriente: 25 / 12.5 A.

Frecuencia: 60 Hz.

Revoluciones: 1755 rpm.

Armazón: 215T.

Servicio: Continuo.

Clase de aislamiento: F.

F.S: 1.15.

F.P: 81.7 %

Temperatura ambiente: 40 °C.

Inicio de temperatura: 90 °C.

Consumo a plena carga: 195.25 kWh/día.

Consumo máximo a plena carga: 198.49 kWh/día.

Dimensión de motor: Alto/Largo/Ancho: 33 x 53 x 37.5 cm.

Peso: 75 kg.

Flecha: 1 1/4" x 3 3/8".

Con la aplicación del variador de frecuencia esta potencia de entrada se reduce en un 50% como mínimo es decir la potencia de entrada sería:

$P_{eVDF} = 50\%P_{en}$	(5)
-------------------------	------

$$P_{eVDF} = 50\% \times 8.14 \text{ kW} = 4.068 \text{ kW}$$

Entonces el ahorro de energía será de:

$$\Delta \text{Ahorro} = 8.14 \text{ kW} - 4.068 \text{ kW} = 4.068 \text{ kW}$$

Si el motor funciona bajo un régimen de 4 horas continuas por día, el ahorro energético sería de:

$$\Delta E = 4.068 \text{ kW} \times 4 \text{ h} = 16.27 \text{ kWh/día.}$$

Y durante el año tendríamos:

$$\Delta E = 16.27 \text{ kWh/día} \times 365 = 5,938.71 \text{ kWh/año.}$$

El monto monetario de ahorro lo asociaremos a una tarifa Industrial menor monómica T3:



**INSTITUTO NICARAGÜENSE DE ENERGÍA
ENTE REGULADOR**
TARIFAS ACTUALIZADAS A ENTRAR EN VIGENCIA EL 1 DE OCTUBRE DE 2024
AUTORIZADAS PARA LAS DISTRIBUIDORAS DISNORTE Y DISSUR

BAJA TENSIÓN (120,240 y 480 V)					
	APLICACIÓN	TARIFA		CARGO POR	
		CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	ENERGÍA (C\$/kWh)	POTENCIA (C\$/kW-mes)
INDUSTRIAL MENOR	Carga contratada hasta 25 kW para uso industrial (Talleres, fábricas, etc).	T-3	TARIFA MONOMIA Todos los kWh	7.6184	
		T-3A	TARIFA BINOMIA SIN MEDICIÓN HORARIA ESTACIONAL Todos los kWh	5.3737	
			kW de Demanda Máxima		715.7456

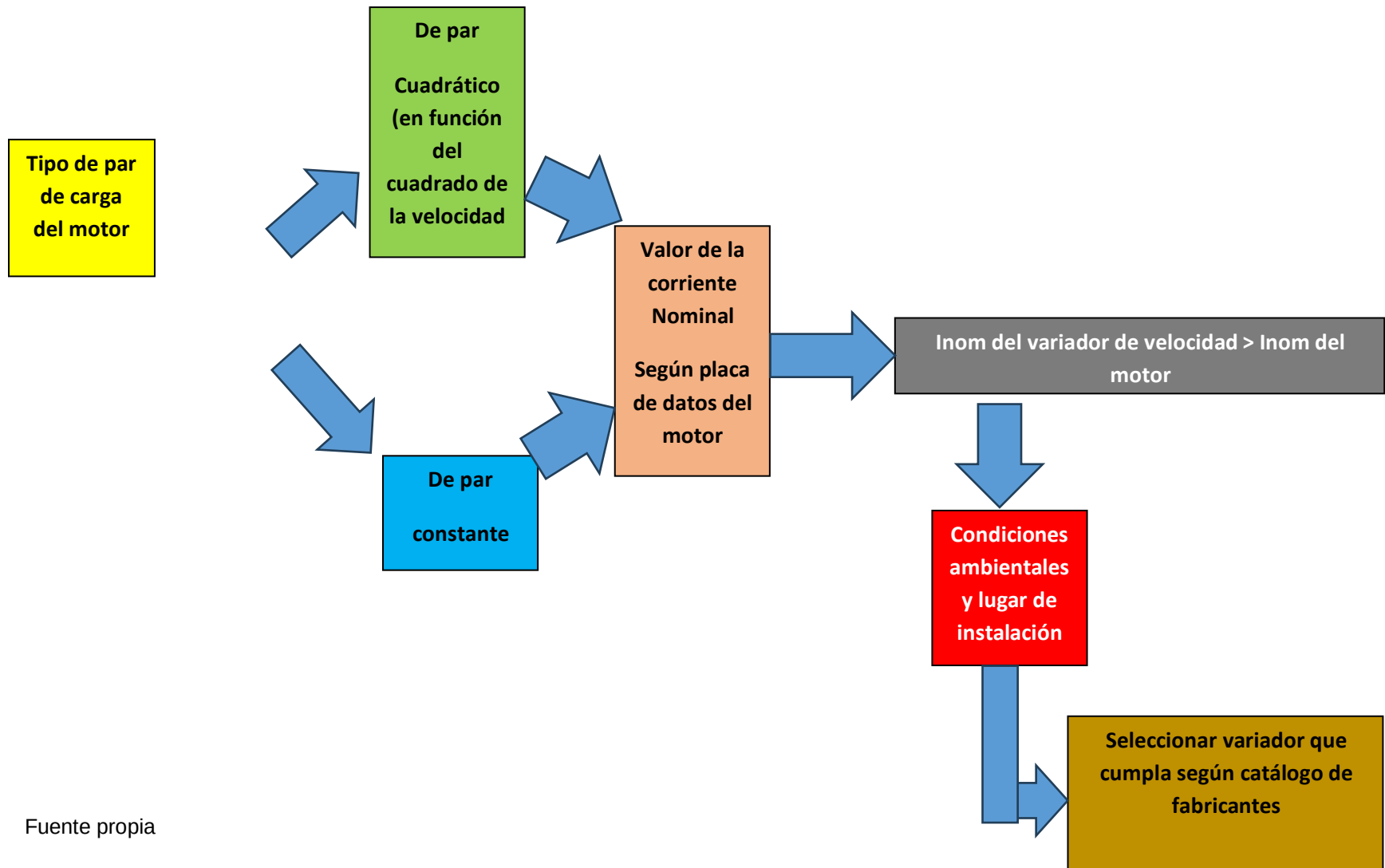
En este caso el ahorro anual sería de:

$$\Delta C\$ = 5,938.71 \text{ kWh/año} \times C\$ 7.6184/\text{kWh} = C\$ 45,243.5 \text{ que equivalen a U\$ 1,228.1.}$$

Este valor es un estimado y depende de la potencia del motor y de la cantidad de motores que utilicen variadores de velocidad.

Capítulo 6.- Propuesta metodológica para la selección y arranque de motores de baja tensión utilizando variadores de velocidad.

Metodología para la selección y arranque de motores de baja tensión utilizando variadores de velocidad



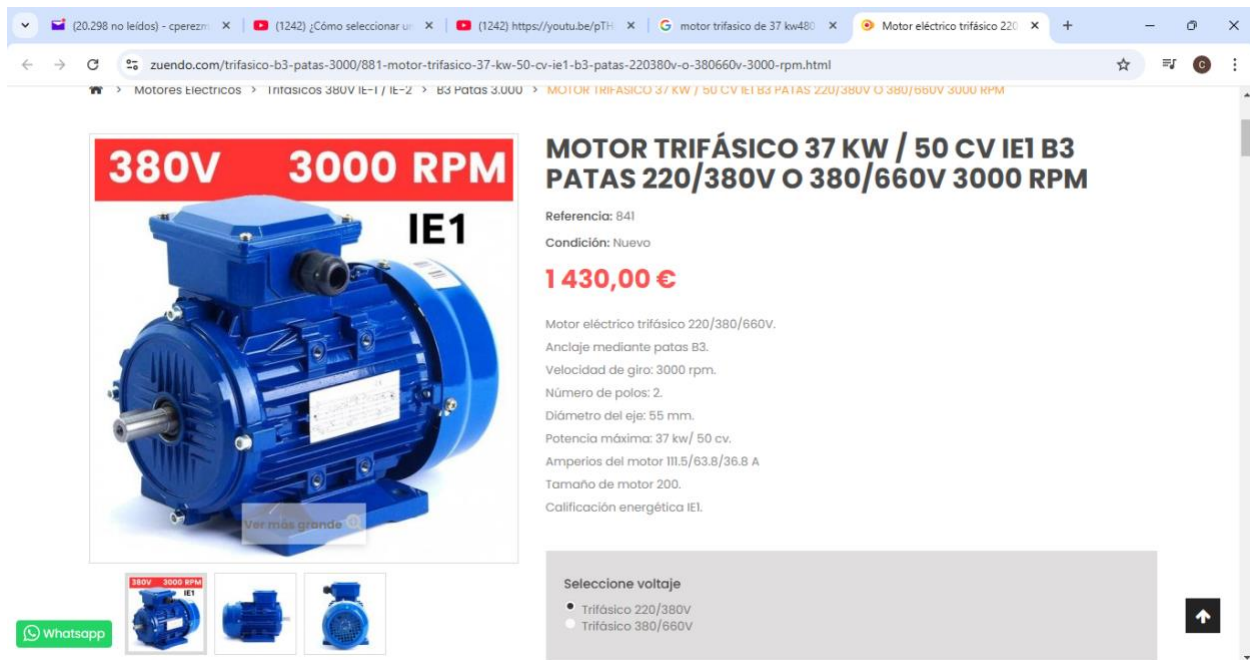
Fuente propia

Ejemplo de aplicación:

Determinación del tipo de carga:

Se aplica a un motor trifásico de una banda transportadora, es decir el tipo de carga es de par constante.

Cálculo de la corriente nominal, para ello nos basaremos en la placa de datos del motor:



380V 3000 RPM IE1

MOTOR TRIFÁSICO 37 KW / 50 CV IE1 B3 PATAS 220/380V O 380/660V 3000 RPM

Referencia: 841
Condición: Nuevo
1 430,00 €

Motor eléctrico trifásico 220/380/660V.
Anclaje mediante patas B3.
Velocidad de giro: 3000 rpm.
Número de polos: 2.
Diámetro del eje: 55 mm.
Potencia máxima: 37 kw/ 50 cv.
Amperios del motor 111.5/63.8/36.8 A
Tamaño de motor 200.
Calificación energética IE1.

Seleccione voltaje

- ☒ Trifásico 220/380V
- ☐ Trifásico 380/660V

La corriente nominal del motor es de:

$$I_n = \frac{Potencia}{\sqrt{3} V fp} = \frac{37,000 W}{\sqrt{3} 380 V \times 0.9} = 62,5 A$$

Con este valor de corriente seleccionamos un modelo de la marca Schneider

Ficha técnica del producto

Especificaciones



"Variador de Velocidad ATV630 IP21 37Kw 400V/480V"

ATV630D37N4

[Us] Tensión de alimentación	380...480 V
grado de protección IP	UL tipo 1 conforme a UL 508C
tipo de refrigeración	Convenc forzada
Frecuencia de alimentación	50...60 Hz - 5...5 %
[Us] Tensión de alimentación	380...480 V - 15...10 %
potencia del motor en kW	37 kW carga normal) 30 kW carga pesada)
potencia del motor en HP	50 hp carga normal 40 hp carga pesada
corriente de línea	66,2 A a 380 V carga normal) 57,3 A a 480 V carga normal) 54,8 A a 380 V carga pesada) 48,3 A a 480 V carga pesada)

Como vemos $I_{nom} \text{ variador } 66.2 \text{ A} > I_{nom} \text{ motor } 62.5 \text{ A}$

Capítulo 7.- Evaluación técnico-financiera de la implementación de variadores de velocidad para el arranque de motores de baja tensión.

7.1 Evaluación técnica.

El análisis técnico debe iniciarse por comprender el funcionamiento del sistema a optimizar (entiéndase sistema a optimizar, como todos aquellos sistemas en los cuales es factible implementar un variador de velocidad, con el fin de realizar control del proceso) y obtener la información de su comportamiento, en cuanto a las señales de presión, la potencia consumida por el motor de inducción, el perfil de la carga y las especificaciones de los equipos asociados al sistema (Bombas, ventiladores, válvulas, tuberías y motores). El perfil de la carga se entiende como el comportamiento de la variable controlada por el equipo asociado al motor (Bomba o Ventilador, entre otros); y se puede obtener de un sistema de control distribuido o monitoreando las señales en sitio periódicamente.

La evaluación técnica corresponde a:

1. Obtener las especificaciones de diseño del motor, la bomba o el ventilador.
2. Recopilar los datos periódicamente de la potencia consumida por el motor de inducción,
3. Se calcula la potencia consumida durante el día.
4. Se calcula el ahorro de la energía al implementar el variador de velocidad del motor.(Ver acápite 5.2 del presente documento)

7.2 Evaluación financiera.

La evaluación financiera puede considerarse como aquel ejercicio teórico mediante el cual se intentan identificar, valorar y comparar entre sí los costos y beneficios asociados a determinadas alternativas de proyecto con la finalidad de coadyuvar a decidir la más conveniente (EAFIT, 2023).

La evaluación financiera para nuestra investigación corresponde a

- Costos de inversión del variador de velocidad.
- Costos de instalación del variador.
- Cálculo de Valor actual neto, VAN, que mide la rentabilidad de una inversión trayendo sus ganancias y costes futuros al valor presente. Cuya fórmula es (ECONOMIPEDIA, 2024):

$$VAN = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1+k)^t}$$

Donde:

F_t son los flujos de dinero en cada periodo t

I_0 es la inversión realiza en el momento inicial ($t = 0$)

n es el número de periodos de tiempo

k es el tipo de descuento o tipo de interés exigido a la inversión

- El ahorro obtenido con la instalación del variador de velocidad del motor.(Ver acápite 5.2 del presente documento)

7.3 El flujo neto.

Que lo conforman los incisos: a, b, c y de la evaluación financiera, en este caso tomamos como referencia:

Costo de Inversión de un variador de velocidad:

industriales > Guardamotor y relés



SCHNEIDER ELECTRIC
Variador de velocidad ATV630 Altivar Process

REF: ATV630D37N4 ★★★★★ (0) € +2.790

3375,00 € 6706,74-€

→ Si eres profesional, tienes un precio exclusivo. [Descúbrelo.](#)

Altivar Process ATV600 puede alimentar motores de potencia síncronos y asíncronos trifásicos. Funciona con una tensión de alimentación nominal de 380 V a 480 V CA.

67 € BLACK FRIDAY Haz clic aquí [DESCUENTO](#)

Unos 3,375.00 euros que corresponden a U\$ 3,375.00 x 1.09 = **U\$ 3,678.75**

Costos de instalación del variador:

Mano de obra = U\$ 150.00

Materiales = U\$ 500.00

Total = U\$ 650.00

El ahorro obtenido con la instalación del variador de velocidad del motor.(Ver acápite 5.2 del presente documento):

U\$ 1,228.1.

Tabla de flujo neto a 10 años, considerando una tasa de interés del 12%

Inversión Inicial U\$ = **U\$ 3,678.75** + **U\$ 650.00** = U\$ 4,328.75

FLUJO NETO DE INVERSIÓN											
Detalle/años	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Inversión	-\$4,328.75										
Ahorro de la energía U\$		\$1,228.10	\$1,228.10	\$1,228.10	\$1,228.10	\$1,228.10	\$1,228.10	\$1,228.10	\$1,228.10	\$1,228.10	\$1,228.10
		\$1,096.52	\$979.03	\$874.14	\$780.48	\$696.86	\$622.19	\$555.53	\$496.01	\$442.87	\$395.42
Tasa de descuento	12%										
VAN	\$2,610.29										
TIR	25%										

Y el período de recuperación de la inversión es de 4.8 años

Detalle/años	0	1	2	3	4
Inversión	-\$4,328.75				
Ahorro de la energía U\$		\$1,228.10	\$1,228.10	\$1,228.10	\$1,228.10
		\$1,096.52	\$979.03	\$874.14	\$780.48
FLUJO ACUMULADO		\$1,096.52	\$2,075.55	\$2,949.69	\$3,730.17
PR	4.8	años			

Conclusiones y Recomendaciones.

Conclusiones

- ✓ Que luego estudiar y analizar los parámetros involucrados en el arranque de los motores eléctricos de baja tensión, determinamos que con la implementación de variadores de velocidad para el arranque motores de baja tensión, permite ahorrar desde el 50% o más el consumo de la energía.
- ✓ Que las aplicaciones de los variadores de velocidad para el arranque de motores eléctricos en baja tensión, también tienen otras aplicaciones en la industria tales como el control de diversos equipos mecánicos en la producción industrial, como cintas transportadoras, bombas, ventiladores, compresores y grúas, optimizando los procesos de producción y mejorando la eficiencia.
- ✓ Que también se calculó de forma específica el ahorro de energía con la implementación de los variadores de velocidad para el arranque de motores eléctricos de baja tensión y que dicho valor ayuda a disminuir monetariamente la facturación mensual por consumo de la energía
- ✓ De manera particular se propuso un diagrama metodológico para la selección adecuada de los variadores de velocidad, que permitirá una forma práctica y eficiente para su selección.
- ✓ De la evaluación técnico-financiera, vemos que es viable tanto técnica como financieramente el uso de variadores de velocidad para el arranque de motores de baja tensión, donde se obtiene un valor de rentabilidad positivo y un período de recuperación corto.

Recomendaciones

Recomendamos:

- Que las industrias medianas y pequeñas de Nicaragua, donde se utilicen motores eléctricos en su proceso industrial, utilicen variadores de velocidad para su proceso de arranque.
- Seguir con el estudio, ampliando a otras cargas que requieran el uso de variadores de velocidad

Bibliografía

1. ABB. (2023). *Motores de baja tensión*. Obtenido de https://www.motronic.es/upfiles/productes_img/files/motores-abb-m3aa-ie2---ie3-es_1418.pdf
2. ABB. (2024). Obtenido de <https://new.abb.com/drives/es/eficiencia-energetica>
3. APIEM. (2024). Obtenido de <https://www.apiem.org/variadores-de-frecuencia-aplicaciones-y-funciones-basicas/>
4. EAFIT. (2023). Obtenido de <https://www.eafit.edu.co/escuelas/administracion/departamentos/departamento-contaduria-publica/planta-docente/Documents/Nota%20de%20clase%2066%20evaluacion%20financiera%20de%20proyectos.pdf>
5. ECONOMIPEDIA. (2024). Obtenido de <https://economipedia.com/definiciones/valor-actual-neto.html>
6. EditoresSLR. (2023). Obtenido de https://www.editores-srl.com.ar/revistas/ie/334/farina_motores
7. GSLIndustrias. (2024). Obtenido de <https://industriasgsl.com/blogs/automatizacion/motor-de-induccion>
8. GTAKE. (2024). Obtenido de <https://www.gtake.com/es/industry-news/ac-drives/>
9. Hernandez Sampieri, R. (s.f.). *Metodologia de la Investigacion* (6ta Edición ed.). Mc Graw Hill.
10. IGUREN. (2024). Obtenido de https://iguren.es/blog/aplicaciones-y-usos-de-los-variadores-de-frecuencia/?srsId=AfmBOop8hh2fDGJWG3zPmJh0wwFUqLpEorjjFbNeTSvTIXo_uqyLpmnl
11. industria, C. d. (2022). Obtenido de <https://www.cursosaula21.com/como-funciona-un-motor-electrico/>
12. Industrial, A. (2024). Obtenido de <https://automatismoindustrial.com/curso-carnet-instalador-baja-tension/d-automatizacion/1-6-logica-cableada/arranque-por-autotransformador/>
13. Plata, U. M. (2023). Obtenido de https://www3.fi.mdp.edu.ar/electrica/maquinasyaccionamientos/subir/1.Teoria_apuntes_de_catedra/mae_2019_apunte_catedra7_continuacion_mti_metodos_de_arranque.pdf
14. RETIEINGENIERIA. (2024). Obtenido de <https://www.retieingenieriaygestion.com/variadores-de-velocidad/>

15. RISOUL. (2024). Obtenido de <https://www.risoul.com.mx/blog/variadores-de-frecuencia-para-el-ahorro-de-energia-electrica-en-la-industria>
16. SOLERPALAU. (2024). Obtenido de <https://www.solerpalau.com/es-es/blog/variador-de-frecuencia/>
17. WATTCO. (2000). Obtenido de <https://www.wattco.com/es/2023/09/control-velocidad-motores/>

ANEXO

Ficha técnica del producto

de usuarios

Especificaciones



"Variador de Velocidad ATV630 IP21 37Kw 400V/480V"

ATV630D37N4

Principal

Gama De Producto	Altivar Process ATV600
Tipo de Producto o Componente	Variador de velocidad
Aplicación específica de producto	Proceso y utilidades
Nombre Corto del Dispositivo	ATV630
variante	Versión estándar
Destino Del Producto	Motores asíncronos Motores síncronos
filtro CEM	Integrated ((*)) 50 m conforme a IEC 61800-3 categoría C2 Integrated ((*)) 150 m conforme a IEC 61800-3 categoría C3
Grado De Protección Ip	IP21 conforme a IEC 61800-5-1 IP21 conforme a IEC 60529
[Us] Tensión de alimentación	380...480 V
grado de protección IP	UL tipo 1 conforme a UL 508C
tipo de refrigeración	Convenc forzada
Frecuencia de alimentación	50...60 Hz - 5...5 %
[Us] Tensión de alimentación	380...480 V - 15...10 %

potencia del motor en kW	37 kW carga normal) 30 kW carga pesada)
potencia del motor en HP	50 hp carga normal 40 hp carga pesada
corriente de línea	66,2 A a 380 V carga normal) 57,3 A a 480 V carga normal) 54,8 A a 380 V carga pesada) 48,3 A a 480 V carga pesada)
Corriente de cortocircuito de la red	50 kA
potencia aparente	47,6 kVA a 480 V carga normal) 40,2 kVA a 480 V carga pesada)
corriente de salida en continuo	74,5 A a 4 kHz para carga normal 61,5 A a 4 kHz para carga pesada
perfil de control de motor asíncrono	Par variable estándar Estándar de par constante Modo óptimo para el par
perfil de control de motor síncrono	Motor de imanes permanentes Reluctancia del motor sincronico
rango de frecuencias de salida	0,1...500 Hz
frecuencia de conmutación	2...12 kHz ajustable 4...12 kHz con factor de desclasificación de la capacidad
función de seguridad	STO (par seguro desactivado) SIL 3
entrada lógica	16 velocidades preestablecidas
Protocolo del puerto de comunicación	Ethernet Modbus TCP Serie Modbus
tarjeta opcional	Espacio A módulo de comunicación, Profibus DP V1 Espacio A módulo de comunicación, Profinet Espacio A módulo de comunicación, DeviceNet Espacio A módulo de comunicación, Modbus TCP/EtherNet/IP Espacio A módulo de comunicación, encadenamiento CANopen RJ45 Espacio A módulo de comunicación, CANopen SUB-D 9 Espacio A módulo de comunicación, CANopen terminales de tornillo Espacio A/espacio B carta de extensión de E/S analógicas y digitales Espacio A/espacio B carta de extensión de salida a relé Espacio A módulo de comunicación, Ethernet IP/Modbus TCP/MD- Link módulo de comunicación, BACnet MS / TP módulo de comunicación, Ethernet Powerlink
Modo De Montaje	Montaje en pared

Complementos

máxima corriente transitoria	82 A 60 s carga normal) 92,3 A 60 s carga pesada)
Número de Fases de La Red	3 fases
número de salidas discretas	0
salida discreta	Salidas relé R1A, R1B, R1C 250 V AC 3000 mA Salidas relé R1A, R1B, R1C 30 V CC 3000 mA Salidas relé R2A, R2C 250 V AC 5000 mA Salidas relé R2A, R2C 30 V CC 5000 mA Salidas relé R3A, R3C 250 V AC 5000 mA Salidas relé R3A, R3C 30 V CC 5000 mA
tensión de salida	<= de la potencia de la tensión de alimentación
corriente temporal permisible	1,1 x In 60 s carga normal) 1,5 x In 60 s carga pesada)
compensación desliz, motor	No disponible en motores de imanes permanentes Se puede suprimir Ajustable Automático sea cual sea la carga
rampas de aceleración y deceleración	Líneal ajustable por separado de 0,01...9999 s
interfaz física	Ethernet RS 485 de dos hilos
de desconexión a parada	Mediante inyección de CC
Tipo de protección	Protección térmica motor Par de torsión seguro motor Interrup fase motor motor Protección térmica motor Par de torsión seguro motor Sobrecalentando motor Sobreintensidad entre fases de salida y tierra motor Tensión de salida de sobrecarga motor Protección contra cortocirc. motor Interrup fase motor motor Sobretensiones en bus CC motor Sobretensión en la línea de alimentación motor Subtensión de la línea de alimentación motor Pérdida de fase de suministro de línea motor Exceso de velocidad motor Interrupc en circuito control motor
velocidad de transmisión	10, 100 Mbits 4800 bps, 9600 bps, 19200 bps, 38,4 Kbps
resolución de frecuencia	Unidad de pantalla 0,1 Hz Entrada analógica 0,012/50 Hz

marco de transmisión	RTU
Conexión eléctrica	Control terminales de tornillo extraíbles 0,5...1,5 mm² AWG 20...AWG 16 De lado terminal por tornillo 35...50 mm² AWG 3...AWG 1 Motor terminal por tornillo 35...50 mm² AWG 3...AWG 1
Tipo de conector	RJ45 en el terminal gráfico remoto) para Ethernet/Modbus TCP RJ45 en el terminal gráfico remoto) para serie Modbus
formato de los datos	8 bits, configurables, con o sin paridad
tipo de polarización	Sin impedancia
bloqueo estándar	Autonegociación, dúplex total, dúplex medio Ethernet/Modbus TCP
número de direcciones	1...247 para serie Modbus
método de acceso	Esclavo Modbus TCP
Suministro	Alimentación externa para entradas digitales 24 V DC 19...30 V), <1,25 mA protección contra sobrecargas y cortos-circuitos Alimentación interna para potenciómetro de referencia (1-10 kOhmios) 10.5 V DC +/- 5 %, <10 mA protección contra sobrecargas y cortos-circuitos Alimentación interna para entradas digitales y STO 24 V DC 21...27 V), <200 mA protección contra sobrecargas y cortos-circuitos
Señalización local	Diagnóstico local 3 LED Estado de comunicación integrado 3 LED dos colores) Estado del módulo de comunicación 4 LEDs ((*)) dos colores) Presencia de tensión 1 LED rojo)
Ancho	226 mm
Altura	673 mm
Profundidad	271 mm
Peso Del Producto	28,2 kg
número de entrada analógica	3
tipo de entrada analógica	AI1, AI2, AI3 tensión configurable por software 0...10 V CC 31.5 kOhm 12 bits AI1, AI2, AI3 corriente configurable por software 0...20 mA 250 Ohm 12 bits AI2 entrada analógica de tensión - 10...10 V CC 31.5 kOhm 12 bits
de pie conducto	8
entrada discreta	DI7, DI8 programables como entrada de pulsos 0...30 kHz, 24 V CC <= 30 V)
fase marcador	DI1...DI6 entrada digital PLC niv 1 conforme a IEC 61131-2 DI5, DI6 entrada digital PLC niv 1 conforme a IEC 65A-68 STOA, STOB entrada digital PLC niv 1 conforme a IEC 61131-2
entrada lógica	Lógica positiva (fuente) DI1...DI8), < 5 V, > 11 V Lógica negativa (fregadero) DI1...DI8), > 16 V, < 10 V
número de salida analógica	2

tipo de salida analógica	Tensión configurable por software AQ1, AQ2 0...10 V CC 470 Ohm 10 bits Corriente configurable por software AQ1, AQ2 0...20 mA 10 bits Corriente configurable por software DQ-, DQ+ 30 V CC Corriente configurable por software DQ-, DQ+ 100 mA
duración de muestreo	2 ms +/- 0,5 ms DI1...DI4) - entrada digital 5 ms +/- 1 ms DI5, DI6) - entrada digital 5 ms +/- 0,1 ms AI1, AI2, AI3) - entrada analógica 10 ms +/- 1 ms AO1) - salida analógica
Precisión	+/- 2 % AI1, AI2, AI3 para variación temperatura 60 °C entrada analógica +/- 1 % AO1, AO2 para variación temperatura 60 °C salida analógica
error lineal	AI1, AI2, AI3 +/-0,15% del valor máximo para entrada analógica AO1, AO2 +/- 0,2 % para salida analógica
número de salidas relé	3
tipo de salida de relé	Lógica relé configurable R1 fallo relé NA/NC 100000 Ciclos Lógica relé configurable R2 retransmisión de secuencia No 100000 Ciclos Lógica relé configurable R3 retransmisión de secuencia No 100000 Ciclos
tiempo de actualización	Salida del relé R1, R2, R3)5 ms +/- 0,5 ms)
corriente mínima de conmutación	Salida del relé R1, R2, R3 5 mA a 24 V CC
Corriente de conmutación máxima	Salida del relé R1, R2, R3 resistivo, cos phi = 1 3 A a 250 V AC Salida del relé R1, R2, R3 resistivo, cos phi = 1 3 A a 30 V CC Salida del relé R1, R2, R3 inductivo, cos phi = 0,4 7 ms 2 A a 250 V AC Salida del relé R1, R2, R3 inductivo, cos phi = 0,4 7 ms 2 A a 30 V CC
aislamiento	Aislamiento galvánico entre terminales de alimentación y control
frecuencia máxima de salida	500 kHz
Corriente máxima de entrada	66,2 A
Selección de la aplicación del variador de velocidad	Edificios - HVAC compresor centrífugo Procesos en sector de la alimentación otras aplicaciones Minería, minerales y metales ventilador Minería, minerales y metales bomba Petróleo y gas ventilador Agua y tratamiento de agua otras aplicaciones Edificios - HVAC compresor de tornillo Procesos en sector de la alimentación bomba Procesos en sector de la alimentación ventilador Procesos en sector de la alimentación atomización Petróleo y gas bomba sumergible Petróleo y gas bomba de inyección de agua Petróleo y gas bomba de inyección Petróleo y gas compresor para refinería Agua y tratamiento de agua bomba centrífuga Agua y tratamiento de agua bomba de desplazamiento

	Agua y tratamiento de agua bomba sumergible
	Agua y tratamiento de agua bomba de tornillo
	Agua y tratamiento de agua compresor volumétrico
	Agua y tratamiento de agua compresor de tornillo
	Agua y tratamiento de agua compresor centrífugo
	Agua y tratamiento de agua ventilador
	Agua y tratamiento de agua grúa
	Agua y tratamiento de agua mezclador

Rango de potencia del motor AC-3	30...50 kW a 380...440 V 3 fases 30...50 kW a 480...500 V 3 fases
Cantidad Por Set	1
Montaje de Armario	Montaje en pared

Ambiente

resistencia de aislamiento	> 1 MOhm 500 V CC para 1 minuto a tierra
nivel de ruido	63,5 dB conforme a 86/188/EEC
potencia disipada en W	Conven natural 106 W a 380 V 4 kHz Convenc forzada 796 W a 380 V 4 kHz
volumen de aire frío	240 m3/h
Posición de funcionamiento	Vertical +/- 10 grados
THDI máximo	<48 % desde 80...100% de carga conforme a IEC 61000-3-12

Compatibilidad electromagnética	Prueba de inmunidad ante descarga electroestática nivel 3 conforme a IEC 61000-4-2 Prueba de inmunidad de la radiofrecuencia radiada del campo electromagnético nivel 3 conforme a IEC 61000-4-3 Prueba de inmunidad oscilatoria/ráfagas eléctrica level 4 ((*)) conforme a IEC 61000-4-4 Prueba de inmunidad de pico de tensión 1,2/50 µs - 8/20 µs nivel 3 conforme a IEC 61000-4-5 Prueba de inmunidad de radio frecuencia conducida nivel 3 conforme a IEC 61000-4-6
--	--

Grado De Contaminación	2 conforme a IEC 61800-5-1
-------------------------------	----------------------------

Resistencia a las vibraciones	1,5 mm pico a pico 2...13 Hz) conforme a IEC 60068-2-6 1 gn 13...200 Hz) conforme a IEC 60068-2-6
Resistencia a los golpes	15 gn para 11 ms conforme a IEC 60068-2-27
humedad relativa	5...95 % sin condensación conforme a IEC 60068-2-3
Temperatura ambiente de funcionamiento	-15...50 °C sin disminución) 50...60 °C con factor de desclasificación de la capacidad)
Temperatura Ambiente De Almacenamiento	-40...70 °C
altitud máxima de funcionamiento	<= 1000 m sin disminución 1000...4800 m con desclasificación de corriente del 1% por 100 m
Certificaciones de Producto	DNV-GL TÜV ATEX INERIS CSA UL ATEX zone 2/22
marca	CE
Estándares	UL 508C IEC 61800-3 IEC 61800-3 environment 1 category C2 EN/IEC 61800-3 entorno 2 categoría C3 IEC 61800-5-1 IEC 61000-3-12 IEC 60721-3 IEC 61508 IEC 13849-1
Categoría De Sobretenensión	III
lazo de regulación	Regulador PID ajustable
nivel de ruido	63,5 dB
Grado De Contaminación	2

Unidades de embalaje

Tipo de unidad de paquete 1	PCE
Número de unidades en el paquete 1	1
Paquete 1 Altura	42 cm
Paquete 1 Ancho	33 cm
Paquete 1 Longitud	80 cm
Paquete 1 Peso	33 kg

Sostenibilidad



La etiqueta **Green Premium™** es el compromiso de Schneider Electric para ofrecer productos con el mejor desempeño ambiental. Green Premium promete cumplir con las regulaciones más recientes, transparencia en cuanto al impacto ambiental, así como productos circulares y de bajo CO₂.

La **guía para evaluar la sostenibilidad de los productos** es un white paper que aclara los estándares globales de etiqueta ecológica y cómo interpretar las declaraciones ambientales. [Guía para evaluar la sostenibilidad del producto](#)



Transparencia RoHS/REACH

Desempeño basándose en el bienestar



Mercury Free



RoHS Exemption Information

Si

Certificaciones y estándares

Reglamento Reach

[Declaración de REACH](#)

Directiva RoHS Ue

Cumplimiento proactivo (producto fuera del alcance de la normativa RoHS UE)

Normativa De RoHS China

[Declaración RoHS China](#)

Comunicación Ambiental

[Perfil ambiental del producto](#)

Raee

En el mercado de la Unión Europea, el producto debe desecharse de acuerdo con un sistema de recolección de residuos específico y nunca terminar en un contenedor de basura.

Perfil De Circularidad

[Información de fin de vida útil](#)

Image of product / Alternate images

Alternative









UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
RECINTO UNIVERSITARIO PEDRO ARAUZ PALACIOS
ÁREA DE CONOCIMIENTO DE INGENIERÍA Y AFINES

CARRERA: Ingeniería Eléctrica

Formato de entrega de trabajo monográfico

domingo, 17 de noviembre de 2024

Título de Tema

"Metodología para la Selección de Variadores de Velocidad para el Arranque de motores de baja tensión"

Nombre Completo del Tutor

Ing. Carlos Abraham Pérez Méndez

Estudiantes:

Carnet	Nombre Completo
2008-23761	Denis Gerónimo López Membreño
Recinto	RUPAP
Modalidad	Presencial
email	denisglmnicaragua@gmail.com
Celular	864524461

Carnet	Nombre Completo
2019-0224U	Marce! Abrahan Torriente Obando
Recinto	RUPAP
Modalidad	Presencial
email	torrientemarcel@gmail.com
Celular	81164141

Carnet	Nombre Completo
Recinto	
Modalidad	
email	
Celular	

Jurado Evaluador de Trabajo Monográfico nombrado por el decano

Presidente

Secretario

Vocal

Firma / Fecha

Firma / Fecha

Firma / Fecha

Titulo de Tema

“Metodología para la Selección de Variadores de Velocidad para el Arranque de motores de baja tensión”

Observaciones

Tómense en cuenta las sugerencias e implementen correcciones indicadas.

[illegible]