

**EVALUACIÓN DE LOS MÉTODOS DE CONTROL ESCALAR Y VECTORIAL DE
UN MOTOR TRIFÁSICO MEDIANTE SIMULACIÓN E IMPLEMENTACIÓN
EXPERIMENTAL**

**ECHEVERRI CARDONA HERNAN DARIO
MONSALVE ALVAREZ EDISON YAIR
ZAPATA PARRA JOHAN STIVEN**

**INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA PASCUAL BRAVO
FACULTAD DE INGENIERÍA
INGENIERÍA ELÉCTRICA
MEDELLÍN
2023**

**EVALUACIÓN DE LOS MÉTODOS DE CONTROL ESCALAR Y VECTORIAL DE
UN MOTOR TRIFÁSICO MEDIANTE SIMULACIÓN E IMPLEMENTACIÓN
EXPERIMENTAL**

**ECHEVERRI CARDONA HERNAN DARIO
MONSALVE ALVAREZ EDISON YAIR
ZAPATA PARRA JOHAN STIVEN**

Trabajo de grado para optar el título de Ingeniero Electricista

**Asesor técnico
Carlos Mario Moreno Paniagua
Ingeniero eléctrico**

**Asesor metodológico
Gustavo Adolfo Tobón
Especialista en Docencia Universitaria**

**INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA PASCUAL BRAVO
FACULTAD DE INGENIERÍA
INGENIERÍA ELÉCTRICA
MEDELLÍN**

2023

Contenido

Introducción	8
1. Planteamiento del problema	9
1.1 Descripción	9
1.2 Formulación.....	9
2. Justificación.....	10
3. Objetivos.....	11
3.1 Objetivo general	11
3.2 Objetivos específicos.....	11
4. Referentes teóricos	12
4.1 Control Vectorial	12
4.2 Control Escalar	13
4.3 Motor de inducción trifásico	14
4.4 Estados transitorios.....	14
4.5 Lenguaje de programación Matlab	15
4.6 Bloqueo de motor	16
4.7 Controlador PI	17
4.8 Señal sinusoidal	18
5. Metodología.....	19
5.1 Tipo de proyecto.....	19
5.2 Método.....	19
5.3 Instrumentos de recolección de información.....	20
6. Resultados del Proyecto	21
6.1 Motor Jaula de Ardilla 230/400 0.3 773 2104 SA.....	22

6.2 Motor Weg Multimontaje IE2 0.33 HP 4P 63 3F 220/440 V 60 Hz IC411 - TEFC - B3	24
6.3 Motor eléctrico monofásico de 1/2 HP, baja velocidad, Truper CÓDIGO: 102303 , CLAVE: MOE-1/2B	25
6.4 Simulación de arranque vectorial y escalar	26
6.4.1 Programa de modelo escalar.	26
6.4.2 Programa modelo vectorial.	29
6.5 Elementos Probados	30
6.5.1 Montaje del banco de pruebas.	30
6.5.2 Potenciómetro ATV12.	31
6.5.3 Analizador de red.	32
6.5.4 MiniBreaker.	33
6.6 Análisis de resultados obtenidos	34
7. Conclusiones.....	35
8. Recomendaciones	37
9. Referencias bibliográficas	38
10. Anexos.....	40

Tabla de figuras

Figura 1. Esquema de control vectorial indirecto	12
Figura 2. Flujo constante motor de inducción.....	13
Figura 3. Curva del comportamiento del control v/f.....	13
Figura 4. Componentes de un motor trifásico	14
Figura 5. Representación gráfica Magnitud/Tiempo	15
Figura 6. Programador Matlab	16
Figura 7. Inversión de Fases de un Motor trifásico.....	17
Figura 8. Función de transferencia.....	17
Figura 9. Diagrama Sinusoidal.....	18
Figura 10. Vista de Motor Jaula de Ardilla.....	22
Figura 11. Conexión Eléctrica Motor Jaula de Ardilla	23
Figura 12. Vista Motor WEG Multimontaje IE2 0.33 HP	24
Figura 13. Vista motor eléctrico monofásico 1/2 HP.....	25
Figura 14. Tipos de Arranque del motor Trifásico	25
Figura 15. Programa de modelo escalar	26
Figura 16. Análisis de variación del Motor.....	27
Figura 17. Programa de Modelo de conexión escalar	27
Figura 18. Análisis de Datos regulados.....	28
Figura 19. Programa de modelo vectorial	29
Figura 20. Análisis de Datos regulados.....	29
Figura 21. Proyección del tablero de control del banco de pruebas.....	30
Figura 22. Placa del inversor.....	31
Figura 23. Vista de Potenciómetro.....	31
Figura 24. Muestra visual de Analizador de Red	32
Figura 25. Diagrama de conexión de Analizador de Red	33
Figura 26. Vista de MiniBreaker.....	33

Lista de tablas

Tabla 1. Control Escalar VS Control Vectorial	21
---	----

Lista de anexos

Anexo A. Hoja de datos - motor trifásico de Inducción	40
Anexo B. Plantilla de características del Motor Web Multimontaje IE2 0.33 HP.....	41
Anexo C. Motor eléctrico monofásico de 1/2 HP, baja velocidad, Truper	42
Anexo D. Planos placa del inversor	43

Resumen

EVALUACIÓN DE LOS MÉTODOS DE CONTROL ESCALAR Y VECTORIAL DE UN MOTOR TRIFÁSICO MEDIANTE SIMULACIÓN E IMPLEMENTACIÓN EXPERIMENTAL

ECHEVERRI CARDONA HERNAN DARIO

MONSALVE ALVAREZ EDISON YAIR

ZAPATA PARRA JOHAN STIVEN

El presente trabajo hace referencia a estimar las técnicas de control del par en motores trifásicos, llamados Control Vectorial y Control Escalar mediante la simulación e implementación experimental dado que cuando se desea controlar su velocidad de forma precisa, se presentan múltiples dificultades puesto que el motor de inducción es un sistema no lineal, multivariable y altamente acoplado. Se explican la metodología, las técnicas matemáticas y la programación para aplicar el Control Vectorial/Escalar en Motores trifásicos y precisar su velocidad. Se exponen las prácticas e instrumentos para el uso de este método de control del par, con sus respectivas conclusiones. Por último, se concluyen las líneas de investigación, mecanismos o estrategias para evaluar las pruebas de velocidad y dar solución a un problema de eficiencia ya que se busca medir el grado de correlación entre los conceptos de Control Vectorial y Control Escalar.

Palabras claves: Control Vectorial, Control Escalar, Motores trifásicos, Bloqueo de Motor, Simulación

Abstract

The present work refers to estimating the torque control techniques in three-phase motors, called Vector Control and Scalar Control through simulation and experimental implementation, since when it is desired to control its speed precisely, multiple difficulties arise since the induction motor is a non-linear, multivariable and highly coupled system. The methodology, mathematical techniques and programming to apply Vector/Scalar Control in three-phase motors and specify their speed are explained. The practices and instruments for the use of this method of torque control are presented, with their respective conclusions. Finally, the lines of research, mechanisms or strategies to evaluate speed tests and provide a solution to an efficiency problem are concluded, since it seeks to measure the degree of correlation between the concepts of Vector Control and Scalar Control.

Keywords: Vector Control, Scalar Control, Three-Phase Motors, Motor Lock, Simulation

Glosario

Aislamiento: magnitud que describe si un material presenta baja o nula conductividad eléctrica. Esto significa que las cargas eléctricas de sus átomos (electrones) no pueden desplazarse libremente, de modo que estos materiales ejercen una determinada resistencia al paso de la corriente a través de ellos.

Control Vectorial: es una estrategia usada para dirigir un inversor de frecuencia variable y lograr control desacoplado de par motor y flujo magnético en motores AC.

Control Escalar: es una estrategia diseñada para mantener constante el flujo del entrehierro, ajustando la magnitud del voltaje del estator y la frecuencia en una proporción constante, con un aumento de voltaje a bajas frecuencias para evitar los efectos resistivos.

Corriente eléctrica: consiste en el flujo de cargas eléctricas a través de un conductor, siendo una forma de transmitir energía eléctrica por un circuito, con el propósito de hacer funcionar aparatos eléctricos.

Factor de Potencia: es una medida de la eficiencia o rendimiento de nuestro sistema eléctrico. Este indicador mide el aprovechamiento de la energía (la cantidad requerida para transformar en trabajo).

Frecuencia: el número de veces que una onda sinusoidal se repite, o completa, un ciclo de positivo a negativo.

Inducción: es la generación de electricidad como reacción (o mediante, o gracias a..) a otra cosa.

Motor Trifásico: son motores en los que el bobinado inductor colocado en el estátor está formado por tres bobinados independientes desplazados 120° eléctricos entre sí y alimentados por un sistema trifásico de corriente alterna.

Polos: cada uno de los puntos de un generador en los que se conectan los conductores destinados al transporte de la corriente al exterior. Cada uno de estos terminales llamados polos, puede ser positivo o negativo.

Potencia eléctrica: es un parámetro que indica la cantidad de energía eléctrica transferida de una fuente generadora a un elemento consumidor por unidad de tiempo.

R.P.M: las revoluciones por minuto de un motor, normalmente abreviadas con las siglas “RPM”, son una medida de frecuencia que te indican con qué rapidez está funcionando dicha máquina en cierto momento.

Sinusoidal: se denomina senoide o senoide a la curva que representa gráficamente la función seno y también a dicha función en sí. Es una curva que describe una oscilación repetitiva y suave.

Tensión eléctrica: es el nombre con el que se denomina a la fuerza que ejerce una fuente de energía que circula a través de un circuito eléctrico y que empuja a los electrones por medio de un conductor.

Transitorio: corresponde a una variación de alta frecuencia, o de alta velocidad, de una tensión o señal nominal de trabajo. Entre mayor sea la desviación respecto al valor nominal, mayor serán las probabilidades de que se presenten problemas de funcionamiento o daño en el equipo electrónico.

Introducción

En la industria local la gran parte de equipos y maquinaria son puestos en marcha por medio de motores eléctricos. Los cuales operan regularmente a una velocidad de acuerdo de la energía del sistema y de las propiedades de estos mismos.

Los motores trifásicos se utilizan en procesos donde se requiere buen funcionamiento debido fundamentalmente a su fácil regulación de velocidad y de par. Durante los últimos años las máquinas de corriente alterna ha ido desplazando progresivamente a las de continua gracias a la aparición de las técnicas de Control de Flujo (Control Escalar y Vectorial), que las hace equivalentes desde el punto de vista del funcionamiento. Sumando a lo anterior su gran robustez, bajo costo de fabricación y casi nulo coste de mantenimiento, ha hecho que la utilización industrial de motor trifásico se haya acabado imponiendo.

Sin embargo, la complejidad que el motor trifásico representa hace de su control algo difícil de realizar, tomando en cuenta la alta posibilidad de bloqueo en sus iteraciones y el desgaste que representa. El control de par, velocidad y posición en estas máquinas es difícil de implementar debido a su poco estudio en las condiciones vectoriales y escalares que la maquina representa.

Dependiendo de la actividad que se ejecuta, se requiere operaciones a una misma velocidad o diferentes velocidades. Por este motivo, se realizará un análisis eléctrico que precisa la implementación de los controles vectoriales y escalares que se utilizan como estrategia de solución a problemas múltiples de la ingeniería eléctrica, generando un informe que explique su elaboración, sus incidentes o métodos, su programación intrínseca y su resolución.

1. Planteamiento del problema

1.1 Descripción

Dentro de la formación académica que se plantea en la carrera Ingeniería Eléctrica, se presenta el tema de los motores eléctricos, dentro del cual se da una base teórica que incluye su clasificación, funcionamiento y variables de selección, así como sus diferentes fallos en el ámbito de la ingeniería.

Se ha detectado que uno de los debates a realizar en el sector industrial es la correcta selección de un motor en un proceso mecánico, dado que al momento de instalar un motor debemos realizar diferentes tipos de cálculos y determinar las condiciones necesarias para el trabajo a realizar por dicho motor teniendo en cuenta todas las circunstancias que se pueden ocasionar.

Es de esta manera que se plantea la necesidad de desarrollar un preciso análisis de los diferentes métodos (vectorial y escalar) para el funcionamiento del motor. El análisis que se presenta se realiza con el fin de tener un adecuado estudio de la variación de las velocidades de los motores trifásicos en los diferentes procesos y no interpretar una elección errónea de motor que pueda ocasionar sobrecargas, desgaste, distorsión de armónicos o disminución de la vida útil del motor trifásico, además de contar con un estudio de desgaste en los diferentes componentes del motor elegido en el arranque de forma escalar y vectorial.

1.2 Formulación

¿Cómo evaluar el control vectorial con respecto al control escalar de un motor trifásico mediante la simulación y su implementación en un inversor experimental?

2. Justificación

En nuestra industria un 90% de los procesos automatizados, tienen un control para el manejo de motores, y muchos de ellos son de inducción, la cual ha sido conocida por muchos años por su menor costo, su mejor eficiencia, poco mantenimiento y su tamaño compacto. Sin embargo, a pesar de todas las ventajas, cuando se desea controlar su velocidad de forma precisa, se presentan múltiples dificultades puesto que el motor de inducción es un sistema no lineal, multivariable y altamente acoplado.

Este proyecto es con el fin de encontrar el control de arranque más adecuado para las diferentes funcionalidades de los motores trifásicos de inducción y mejorar la vida útil de los motores trifásicos de inducción de acuerdo con la información técnica entregada por el fabricante, con el fin de resolver problemáticas como el bloque de los motores trifásicos.

Esto beneficiará a la mayoría de la comunidad industrial y académica, para identificar el mejor método (vectorial o escalar) para cada uno de los motores en los diferentes procesos.

3. Objetivos

3.1 Objetivo general

Evaluar el control vectorial con respecto al control escalar de un motor trifásico mediante la simulación de los métodos matemáticos y su implementación en un inversor.

3.2 Objetivos específicos

Identificar la información del arranque de un motor trifásico con control escalar para monitorear su eficiencia.

Determinar la información del arranque de un motor trifásico con control vectorial para monitorear su eficiencia.

Implementar las pruebas de control vectorial y control escalar con el inversor de giro del motor trifásico para obtener el método óptimo.

4. Referentes teóricos

4.1 Control Vectorial

Control vectorial aplicado al control de la máquina de inducción, constituye un conjunto de estrategias que mejora el rendimiento de la máquina controlando el torque, la velocidad y la posición del eje de la máquina. El control vectorial tiene como objetivo modificar el estado del motor de inducción tanto en estado permanente como en transitorio. De esta manera es necesario analizar el motor mediante un modelo que tome en cuenta el estado transitorio del mismo.

4.1.1. Control vectorial directo. El control vectorial directo se basa en el modelo del motor en ejes de flujo de rotor, a través de un cambio de variable no lineal, las ecuaciones de estado de la máquina, que originalmente son no lineales y dependientes del tiempo, se transforman en lineales e independientes del tiempo. El sistema lineal resultante se controla utilizando técnicas de control lineal clásico. La técnica seleccionada busca que realice una linealización entrada-estado.

4.1.2 Control vectorial indirecto. Tanto el flujo de rotor como el par son controlados en bucle abierto, existiendo sólo un bucle de control en lazo cerrado para la velocidad de giro de la máquina.

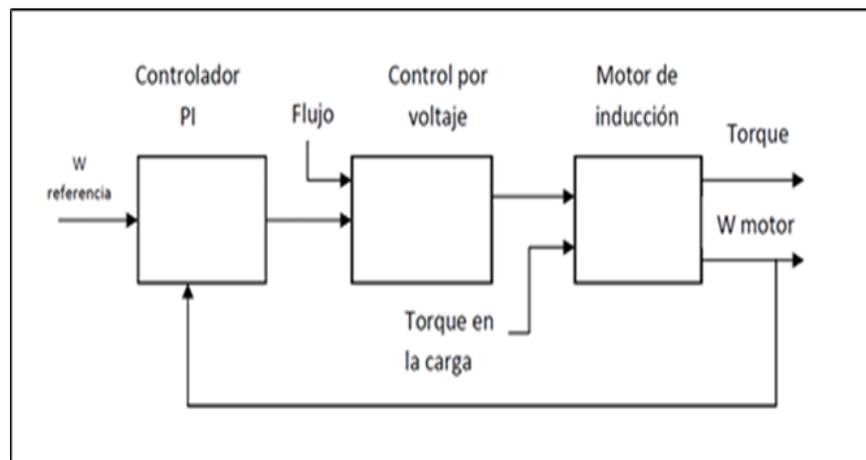


Figura 1. Esquema de control vectorial indirecto

Fuente: extraído de “<https://www.redalyc.org/pdf/849/84917310010.pdf>”

Nota: esquema de control vectorial indirecto

4.2 Control Escalar

Esta tiene como objetivo variar el voltaje de alimentación en proporción a la frecuencia en el motor. Como lo indica la Figura 2, para mantener el flujo constante se debe variar el voltaje en proporción a la frecuencia.

$$\phi = \frac{V_p}{(N \cdot 2 \cdot \pi \cdot f)} \cos(2 \cdot \pi \cdot f \cdot t) \text{ [Wb]} \quad (1)$$

Figura 2. Flujo constante motor de inducción

Fuente: extraído de “https://es.wikipedia.org/wiki/Flujo_potencial_alrededor_de_un_cilindro_circular”

Nota: valores numéricos de phi, cos (Coseno) Wb (Flujo magnético)

La Figura 3 muestra el comportamiento del control escalar; en ella, V es el voltaje mínimo requerido para compensar la caída de voltaje en la resistencia del estator; este voltaje es necesario para que el eje del motor pueda girar a baja velocidad (V). De igual forma se muestra que por encima de la frecuencia nominal, el voltaje debe mantenerse constante debido a que la tensión aplicada no puede superar la tensión nominal. Por tanto, en esta zona se presentará un debilitamiento del flujo.

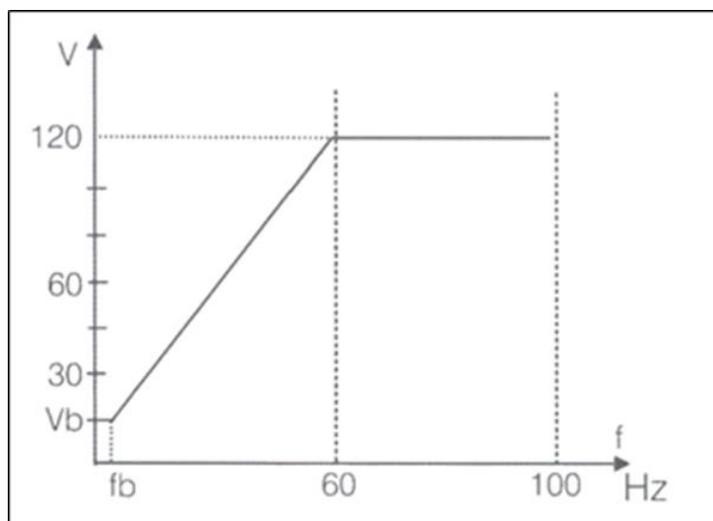


Figura 3. Curva del comportamiento del control v/f

Fuente: extraído de “http://repositoriodspace.unipamplona.edu.co/jspui/bitstream/20.500.12744/3348/1/Gamboa_2020_TG.pdf”

Nota: voltaje, Hz (Frecuencia nominal)

4.3 Motor de inducción trifásico

El motor de inducción trifásico es un equipo con capacidades técnicas para transformar la energía eléctrica en energía mecánica por medio de interacciones electromagnéticas. Entre sus piezas fundamentales se encuentra el rotor, que puede ser de dos tipos: De jaula de ardilla o bobinado, y un estator, en el que se encuentran las bobinas inductoras.

Los beneficios que este instrumento aporta a las operaciones industriales son incalculables, gracias a su habilidad para cambiar la energía eléctrica en mecánica es implementada de manera efectiva en muchos procesos de fabricación, como en infraestructuras de sistemas.

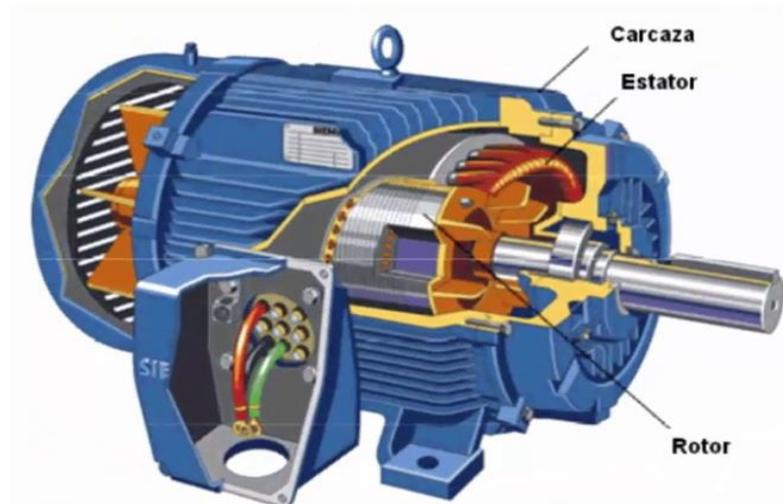


Figura 4. Componentes de un motor trifásico

Fuente: extraído de “<https://gradder031.blogspot.com/2013/04/motores-un-motor-electrico-es-un.html> “

Nota: motores síncronos trifásicos.

4.4 Estados transitorios

En términos de una definición, un estado transitorio es cuando una variable o variables del proceso cambian y antes de que el sistema alcance un estado estable. Además, el tiempo transitorio es el tiempo que tarda un circuito en cambiar de un estado estable al siguiente.

En términos de circuitos, por ejemplo, si activa un interruptor dentro de un circuito que contiene un inductor o un condensador, el componente utilizará el cambio resultante en la corriente o el voltaje, lo que hará que el sistema tarde una cantidad considerable de tiempo en

alcanzar un nuevo estado estable. Podemos definir un transitorio afirmando que, si una cantidad está en reposo y se produce un cambio en el tiempo, cambiando así el estado actual, ha ocurrido un transitorio en el motor.

También, la Estabilidad Dinámica o estabilidad de pequeña señal es el análisis de la capacidad de un sistema para permanecer estable bajo pequeñas perturbaciones continuas. Además, estas interrupciones menores ocurren debido a fluctuaciones erráticas en los niveles de generación (o alimentación) y las demás cargas que tenga el circuito.

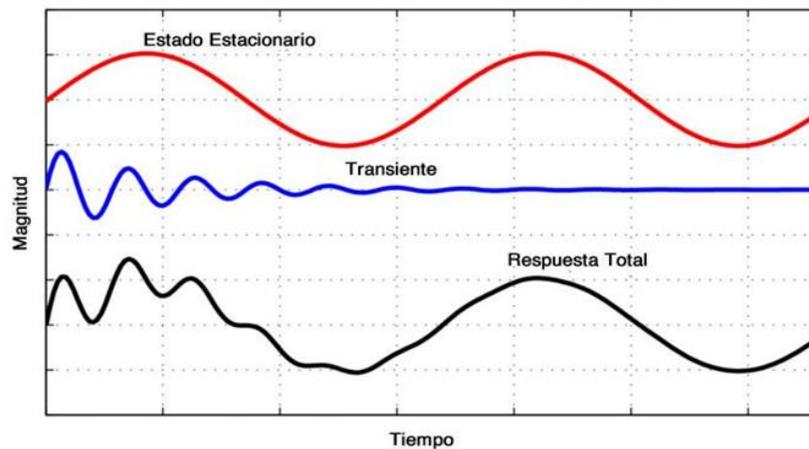


Figura 5. Representación gráfica Magnitud/Tiempo

Fuente: extraído de “<https://www.electronicaplugandplay.com/tutoriales/electronica/52-estado-estacionario-vs-transitorio> “

Nota: análisis de Estabilidad Transitoria y Dinámica

4.5 Lenguaje de programación Matlab

Matlab es un lenguaje de programación de alto nivel que se utiliza para desarrollar aplicaciones de todo tipo. Matlab es uno de los lenguajes de programación y entornos de desarrollo preferidos hasta día de hoy, ya sea para el análisis de datos, ingeniería, matemáticas, estadística y toda clase de ciencias numéricas y analíticas. Siendo todo un mastodonte del análisis de datos, así como la ingeniería, la ciencia de datos y la computación numérica

Se trata, por lo tanto, de un lenguaje de programación muy versátil que, en los últimos años se ha abierto camino, sobre todo, en Data Science, tanto para el análisis de datos como para el desarrollo de algoritmos de aprendizaje automático.

Una de las principales características de MATLAB es que está optimizado para hablar matemáticas, y esta cualidad lo hace insuperable a la hora de probar y optimizar algoritmos.

Además, los flujos de trabajo y la documentación de este entorno están pensados para la ingeniería, la ciencia y la investigación, en lugar del desarrollo informático. Por lo tanto, es mucho más amigable para clasique el clásico entorno basado en la programación.



Figura 6. Programador Matlab

Fuente: extraído de “<https://1000marcas.net/matlab-logo/> “

Nota: logo lenguaje de programación Matlab

4.6 Bloqueo de motor

Son aquellas causas que pueden generar un paro del funcionamiento del motor, tales como, averías, transitorios de tensión, desequilibrio de tensión, entre otras.

Las fallas más comunes que se presentan en los motores eléctricos son las siguientes: bobina cortocircuitada, corto en el interior o en la salida de la ranura, corto de espiras, corto en la conexión, corto entre fases, desbalanceo de tensión, falta de fase en la conexión delta, picos de tensión, sobrecalentamiento y rotores trabados.

Al conectar los motores hay que prestar atención en no invertir las fases, esta no es una falla del motor, pero puede causar daño al tener un giro contrario al requerido. Igualmente hay que

asegurarse de que no exista un cable suelto o falla en el elemento de control del motor, como puede ser el contactor o terminal, así como en el interruptor que protege al motor o en la línea de alimentación al motor.



Figura 7. Inversión de Fases de un Motor trifásico

Fuente: extraído de “<https://static.weg.net/medias/downloadcenter/hc4/h25/WEG-danos-en-los-bobinados-motores-monofasicos-50036033-brochure-spanish-web.pdf> “

Nota: rotor Bloqueado

4.7 Controlador PI

El control PI es una forma de control de retroalimentación. El cual proporciona un tiempo de respuesta más rápido que el control I-only debido a la adición de la acción proporcional. El control PI impide que el sistema fluctúe, y es capaz de devolver el sistema a su punto de ajuste.

El valor de salida del controlador proporcional varía en razón proporcional al tiempo en que ha permanecido el error y la magnitud del mismo, su función de transferencia es:

$$\frac{U(s)}{E(s)} = K_P \left(1 + \frac{1}{T_N \cdot s} \right)$$

Figura 8. Función de transferencia

Fuente: extraído de “<https://dademuchconnection.wordpress.com/2018/04/05/acciones-basicas-de-sistemas-de-control/> “

Nota: K_p (Ganancia proporcional), T_n (Tiempo nominal), U (Señal del controlador), E (Señal del error)

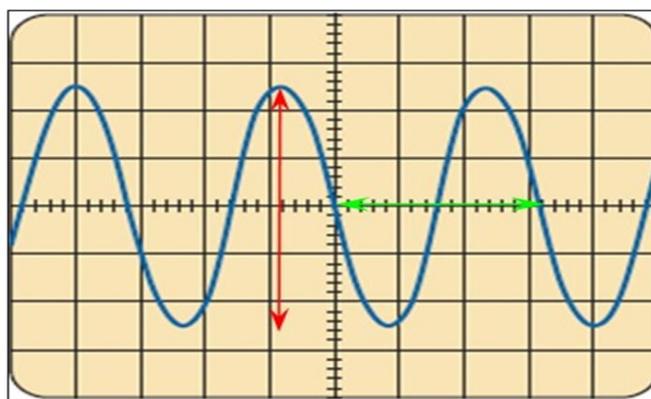
Donde K_P es la ganancia proporcional y T_N se denomina tiempo de acción integral. Ambos valores son ajustables. El tiempo integral regula la velocidad de acción de control, mientras que una modificación en K_P afecta tanto a la parte integral como a la parte proporcional de la acción de control.

4.8 Señal sinusoidal

La onda sinusoidal representa el valor de la tensión de la Corriente alterna a través de un tiempo continuamente variable, en un par de ejes cartesianos marcados en amplitud y tiempo. Responde a la corriente de canalización generada en las grandes plantas eléctricas del mundo. También responden a la misma forma, todas las corrientes destinadas a generar los campos electromagnéticos de las ondas de radio.

Toma la ordenada (tensión o intensidad) en un instante, t , determinado. Este valor no es útil para cálculos y medidas eléctricas, ya que se utilizan los valores eficaces.

Una señal sinusoidal, $a(t)$, tensión, $v(t)$, o corriente, $i(t)$, se puede expresar matemáticamente según sus parámetros característicos (ver figura), como una función del tiempo por medio de la siguiente ecuación:



$$X(t) = X_n \text{sen}(\omega t + \phi)$$

Figura 9. Diagrama Sinusoidal

Fuente: extraído de “<https://www.lifeder.com/onda-senoidal/> “

Nota: Onda sinusoidal Ecuación $X(t)$

5. Metodología

5.1 Tipo de proyecto

Se trata de un proyecto de desarrollo experimental debido a que se basa en encontrar mecanismos o estrategias para alcanzar el objetivo propuesto y dar solución a un problema con grado correlacional ya que se busca medir el grado de relación entre dos conceptos.

5.2 Método

Para identificar la eficiencia del motor trifásico con control escalar y vectorial es necesario la selección de los motores y variadores a trabajar de acuerdo con la disponibilidad en el laboratorio de la institución, e implementar el programa de control por medio del montaje de diagrama de bloque aplicado para los diferentes modelos y de esta manera poder hacer la simulación de arranque vectorial y escalar, analizando los estados transitorios.

Ya con implementación de la simulación realizada del control vectorial y control escalar, se realizan prácticas de laboratorio en el banco de pruebas automatizando la operación de arranque del motor observando los resultados obtenidos, las cargas y diferentes variables de los motores.

A medida que vamos obteniendo más información sobre estos métodos de investigación, se hace importante pasar por varios puntos elementales que ayudarán a comprender mejor cada uno de los pasos a cumplir y este es el caso de las características de la investigación. Este caso se refiere a presentar varias técnicas de optimización que son utilizadas tanto en el campo industrial como en la programación matemática, generando simulaciones de arranques escalares y vectoriales los cuales permiten examinar el comportamiento de un sistema eléctrico durante un periodo de tiempo transitorio.

En la implementación del programa de control se adopta el sistema de cargas de motores ya sean resistivas o mecánicas, pudiendo automatizar la operación de arranque del motor,

originando un montaje en un banco de pruebas con el módulo STEVAL-IHM023V3, el cual brindará suficiente información para el análisis de resultados y teniendo en cuenta la respuesta del motor, precisión del control, estabilidad del sistema, tiempo de respuesta, eficiencia energética, mejores y gráficas.

5.3 Instrumentos de recolección de información

5.3.1 Fuentes primarias. Las fuentes documentales que más se dispuso para la recolección de información e investigación, fueron trabajos de grado de diferentes universidades y que a su vez corresponden o tenían alguna relación al tema que actualmente se está desarrollando. Algunos con el nombre de “Control escalar en motores de inducción monofásicos” o “Control vectorial directo de un motor de inducción tipo jaula de ardilla (mitja) sin sensor de velocidad y optimización de eficiencia” entre otros.

5.3.2 Fuentes secundarias. Videos con las diferentes explicaciones y procedimientos de cómo es el desarrollo de los modelos escalar y vectorial.

6. Resultados del Proyecto

Se resolvió la problemática del bloqueo de los motores trifásicos mediante simulación, lo cual nos permite encontrar las diferentes soluciones de control de arranque más adecuadas de acuerdo con las diversas funcionalidades de los motores trifásicos. Mejoro la eficiencia y vida útil de los motores trifásicos basándome en la información técnica proporcionada por el fabricante en las fichas técnicas del producto.

La comparación entre el control escalar y el control vectorial en un motor de inducción implica entender sus enfoques y características clave:

Tabla 1.

Control Escalar VS Control Vectorial

Control escalar	Control vectorial
Mayor control y más precisión en la velocidad y el par del motor al permitir la independencia en la regulación de la corriente de magnetización y la corriente de torque.	La precisión es limitada, y existe una variabilidad entre la velocidad y el par debido a las características de la relación V/F.
Mayor estabilidad y control en condiciones cambiantes.	Menos estables en condiciones cambiantes.
Permite ajustarse y ser preciso en diversas condiciones.	Es limitado en la adaptación a diferentes condiciones.
Utilizado en sistemas de tracción eléctrica, máquinas utilizadas en herramientas.	Utilizada en ventiladores, sistemas de bombeo, aplicaciones de carga constante.
Proporciona un paro suave y rápido.	Proporciona un paro menos suave y más lento.
Más algoritmos y cálculos, hardware más complejo.	Menos algoritmos y cálculos, hardware más simple.
Mayor control en motores de alta potencia debido a la precisión	Utilizado en motores menos comunes
Este control no es muy bueno para los motores de velocidad variable ya que no es tan preciso	Es el control ideal para los motores de velocidades variables ya que es capaz de

para controlar la velocidad.	Controlar solamente la velocidad.
Ideal para aplicaciones industriales de muy baja complejidad o estables como ventiladores o bombas.	Es mayormente utilizado para procesos industriales de mayor complejidad ya que maneja un control preciso, con un arranque muy suave y de muy rápida respuesta.
Normalmente utilizado en aplicaciones de baja potencia debido a su simplicidad.	Puede utilizarse en motores de baja potencia, Como pequeños electrodomésticos y ventiladores.
La respuesta dinámica puede ser suficiente para aplicaciones menos exigentes en términos de cambios rápidos de velocidad.	Puede proporcionar una respuesta dinámica aceptable en aplicaciones donde no se requiere una alta velocidad de respuesta.
Para maquinaria de herramienta puede ser adecuado para mecanismos de corte o de mecanismos simples	Para maquinaria de herramienta es preferido por su precisión en el control y su rápida respuesta dinámica

Fuente: generado por estudiantes presentadores del proyecto

Nota: tabla comparativa entre control escalar y control vectorial

Para identificar la eficiencia del motor trifásico con control escalar y vectorial es necesario la selección de los motores y variadores a trabajar de acuerdo con la disponibilidad en el laboratorio de la institución.

Seleccionar los motores a trabajar:

6.1 Motor Jaula de Ardilla 230/400 0.3 773 2104 SA



Figura 10. Vista de Motor Jaula de Ardilla

Fuente: extraído de “<https://www.leybold-shop.com/squirrel-cage-motor-230-400-0-3-7732104sa.html>”

Nota: modelo de motor mostrado

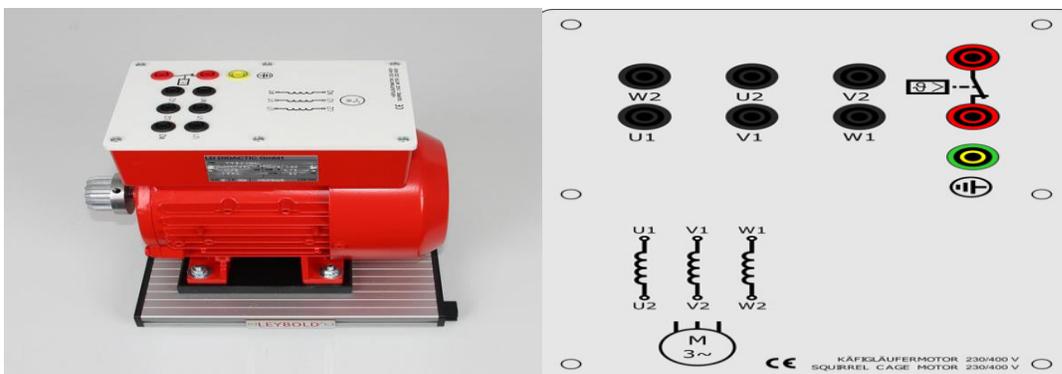


Figura 11. Conexión Eléctrica Motor Jaula de Ardilla

Fuente: extraído de “<https://www.leybold-shop.com/squirrel-cage-motor-230-400-0-3-7732104sa.html>”

Nota: entradas y salidas de motor Jaula de Ardilla

La máquina, con un extremo del eje aislado y construida sobre una base de aluminio con deslizadores, estaba ubicada en el banco de trabajo. Todas las conexiones se realizaron en la caja de conexiones aéreas, separadas por tapones de seguridad de 4 mm. Los valores nominales se encontraban en tres placas de características situadas en la caja de conexiones.

La máquina fue protegida contra sobrecargas mediante un interruptor de temperatura del devanado del estator incorporado. Además de la conexión del conductor de protección, en la caja de conexiones también estaba previsto el conector para el cable de compensación de potencial mediante rosca M6.

Motor:

Baja velocidad

- Potencia: 0,25kW
- Voltaje: 400 V, Δ
- Corriente: 0,67 A.
- Frecuencia: 60Hz
- Factor de potencia: 0,69
- Diseño: 4 polos
- Velocidad: 1705 min⁻¹

Alta velocidad:

- Potencia: 0,37kW
- Voltaje: 400 V, AA
- Corriente: 0,8 A.
- Frecuencia: 60Hz
- Factor de potencia: 0,8
- Diseño: 2 polos
- Velocidad: 3420 min⁻¹

6.2 Motor Weg Multimontaje IE2 0.33 HP 4P 63 3F 220/440 V 60 Hz IC411 - TEFC - B3



Figura 12. Vista Motor WEG Multimontaje IE2 0.33 HP

Fuente: extraído de “<https://goo.su/9Zzyy>”

Nota: catálogo de motor WEG

El Motor WEG Multimontaje es una destacada pieza de ingeniería diseñada para ofrecer versatilidad y eficiencia en diversas aplicaciones industriales. Este motor destaca por su capacidad de adaptarse a diferentes entornos y requisitos, lo que lo convierte en una opción versátil para una variedad de aplicaciones.

**6.3 Motor eléctrico monofásico de 1/2 HP, baja velocidad, Truper CÓDIGO: 102303 ,
CLAVE: MOE-1/2B**



Figura 13. Vista motor eléctrico monofásico 1/2 HP

Fuente: extraído de “[*Motores eléctricos monofásicos \(truper.com\)*](http://Motores eléctricos monofásicos (truper.com))”

Nota: catalogo motor truper

- Para ventiladores, compresores, molinos, bandas transportadoras y otras de uso general
- Servicio continuo y reversible
- Base rígida para montaje
- Carcasa de acero y motor de baja velocidad
- Protector térmico que evita sobrecalentamiento del motor
- Doble rodamiento Balero metálico
- Rotor de jaula de ardilla
- Protección IP21 contra goteo
- Armazón NEMA-56
- Capacitor de arranque con interruptor centrífugo

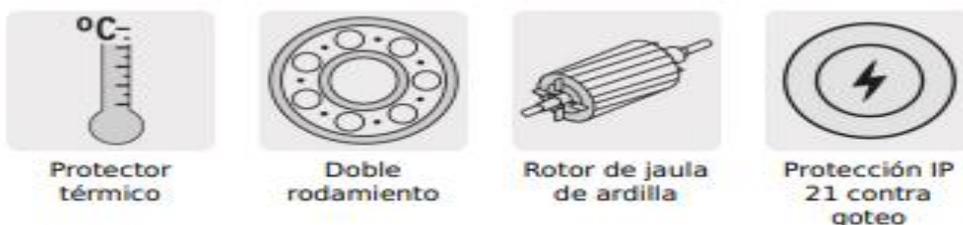


Figura 14. Tipos de Arranque del motor Trifásico

Fuente: extraído de “[*Motores eléctricos monofásicos \(truper.com\)*](http://Motores eléctricos monofásicos (truper.com))”

Nota: catalogo motor truper

Especificaciones:

Potencia 1 /2 HP / 0.373 kw

Polos 4

Aislamiento Clase F

Factor de servicio 1.15

Diámetro de flecha 5/8"

Velocidad 1725 rpm

Frecuencia 60 Hz

Voltaje 115 V / 230 V

Consumo 8.8 A / 4.4 A

Dimensiones (Altura x Fondo x Base) 214 x 290 x 160 mm

Peso 9 kg

A medida que vamos obteniendo más información sobre estos métodos de investigación, se hace importante pasar por varios puntos elementales que ayudarán a comprender mejor cada uno de los pasos a cumplir y este es el caso de las características de la investigación.

6.4 Simulación de arranque vectorial y escalar

6.4.1 Programa de modelo escalar.

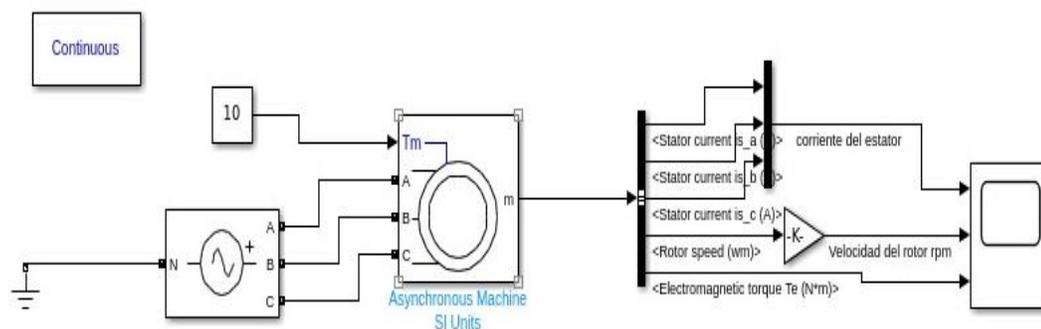


Figura 15. Programa de modelo escalar

Fuente: extraído de “<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0307904X21001864> “

Nota: programación generada para el modelo escalar

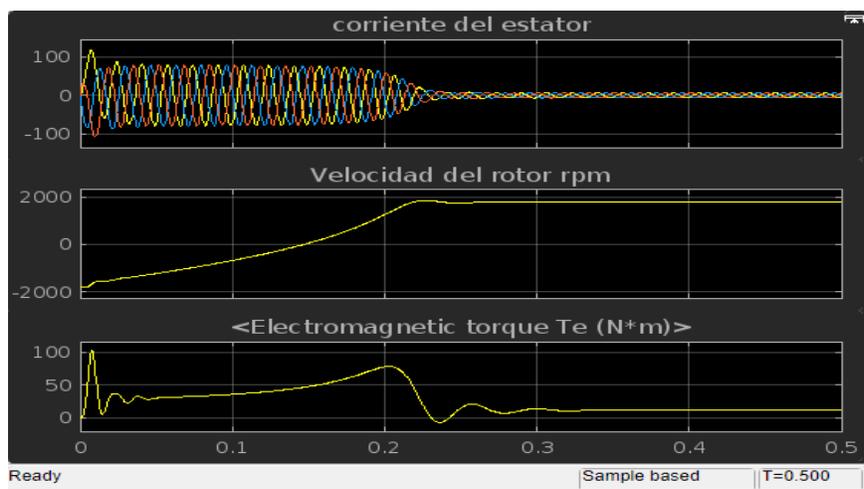


Figura 16. Análisis de variación del Motor

Fuente: extraído de programa de análisis de ondas “SIMULINK”

Nota: RPM (Revoluciones por minuto)

Con estas curvas puede concluirse que es posible regular un motor, tanto en velocidad como en par, siempre que dicho motor esté bien caracterizado con su carga. La regulación puede hacerse controlando la tensión y la frecuencia de alimentación. Sin embargo, este método presenta una respuesta lenta.

Con este método la tensión de alimentación varía proporcionalmente a la frecuencia. Cuando la relación voltaje frecuencia es constante el motor funciona con velocidad constante.

La variación V/f desaparece en las bajas frecuencias, además la característica de la curva depende también de la frecuencia del rotor, por lo que el dispositivo de control del variador ha de hacer las correspondientes correcciones.

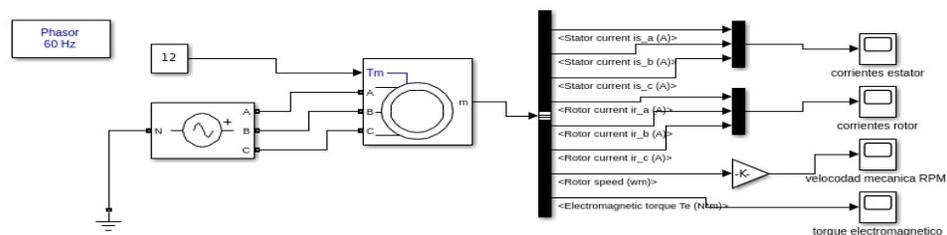


Figura 17. Programa de Modelo de conexión escalar

Fuente: extraído de “<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0307904X21001864>”

Nota: programación generada para modelo escalar

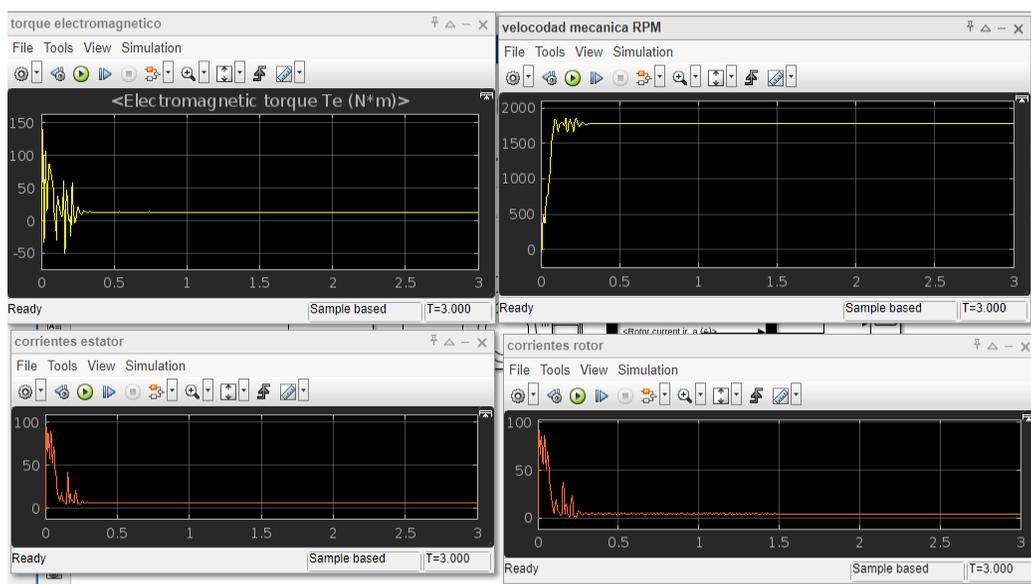


Figura 18. Análisis de Datos regulados

Fuente: extraído de programa de análisis de ondas “SIMULINK”

Nota: comportamiento senoidal de corrientes, torque y velocidad

Cuando se trabaja a velocidades inferiores a la velocidad base del motor es necesario reducir el voltaje aplicado a los terminales del estator. El voltaje aplicado debe disminuir proporcionalmente con la disminución de la frecuencia. Este proceso se conoce como degradación. Si esto no se hace, se satura el acero del núcleo del motor de inducción y fluyen corrientes de magnetización excesivas en las máquinas y generan el desgaste por calentamiento del acero del motor.

Cuando la frecuencia eléctrica aplicada al motor excede su frecuencia nominal, el voltaje del estator es mantenido constante. Cuanto mayor sea la frecuencia eléctrica sobre la velocidad base, se mantiene constante cuando se trabaja sobre la frecuencia nominal, disminuyendo el flujo resultante en la máquina y el torque máximo.

6.4.1.1 Análisis de estados transitorios. Los procesos transitorios tienen lugar cuando pasan de un régimen establecido a otro, este proceso se manifiesta cuando hay un cambio simétrico o asimétrico de las fases o de las amplitudes de las tensiones alternas que alimentan el devanado del estator y así se va dando el equilibrio de los momentos como se muestran en las

gráficas anteriores de nuestra simulación. Aparece la aceleración y se establece un nuevo valor de la frecuencia de rotación. Ellos surgen a raíz del cambio de las tensiones de las redes eléctricas de las resistencias de los devanados o de la carga, del momento exterior de rotación aplicado al eje del motor, al arranque, la inversión de marcha, cortocircuito externo y a la desconexión de la red, etcétera.

6.4.2 Programa modelo vectorial.

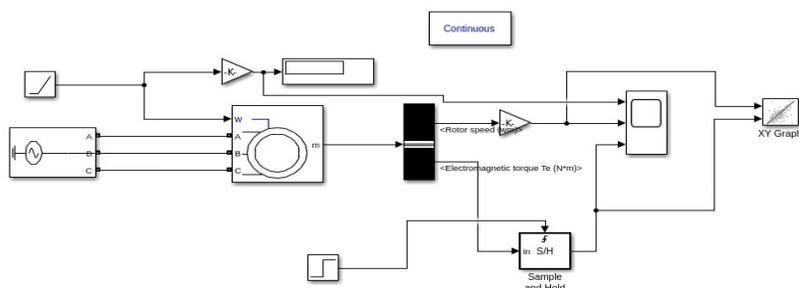


Figura 19. Programa de modelo vectorial

Fuente: extraído de “<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0307904X21001864> “ “

Nota: programación generada para modelo vectorial

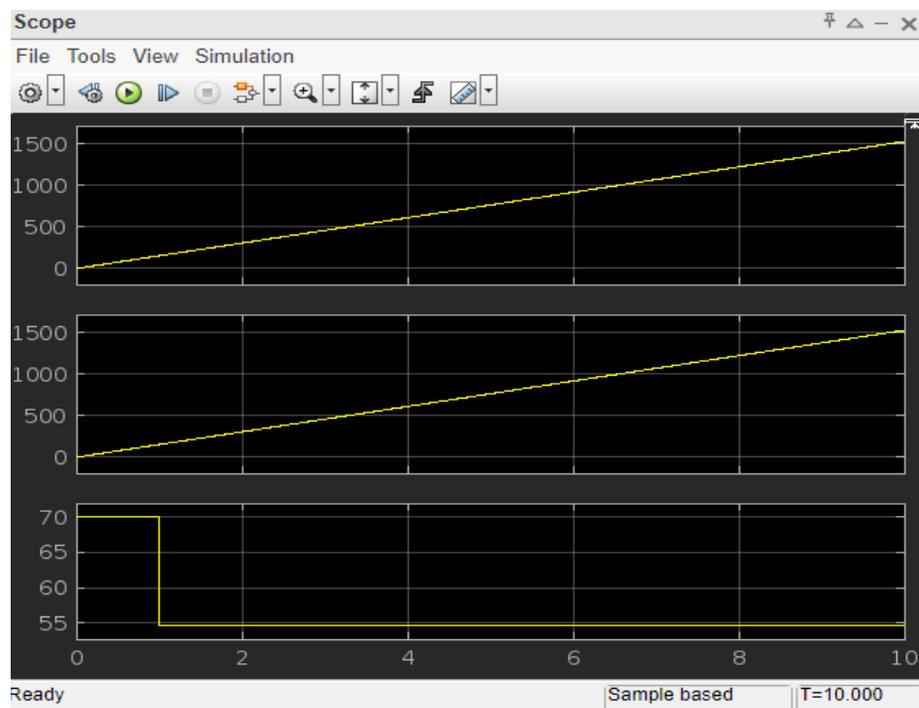


Figura 20. Análisis de Datos regulados

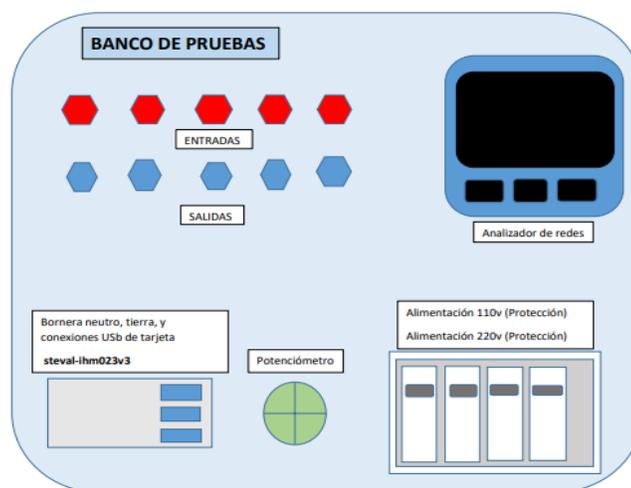
Fuente: extraído de programa de análisis de ondas “SIMULINK”

Nota:

En la figura 20 se denota que el sistema vectorial depende del tiempo, para esto es necesario convertirlo en coordenadas para que pueda estar orientado al campo de control, se debe primero referir la ecuación de equilibrio eléctrico rotórico a un sistema fijo del estator, lo que es igual a sumarle la coordenada angular de los vectores que separa a los dos ejes de referencia. el equilibrio eléctrico rotórico en coordenadas del estator. Como en los motores estándar es complicado medir la corriente del rotor. El ángulo indica que, al hacer el cambio de coordenadas, el sistema de origen está atrasado en fase respecto del destino.

6.5 Elementos Probados

6.5.1 Montaje del banco de pruebas.



NOTA: Las tarjetas se instalarán en la parte trasera del banco, ya que se quiere evitar la manipulación por los estudiantes y así no tener algún inconveniente o daño.

Dado lo dicho los puertos de conexión de las tarjetas tendrán su perforación e instalación en el tablero por la parte frontal, como lo muestra la figura donde se encontrarán instaladas las borneras necesarias para su correcto funcionamiento.

Figura 21. Proyección del tablero de control del banco de pruebas

Fuente: extraído de “<https://co.mouser.com/datasheet/2/389/steval-ihm023v3-1848414.pdf>”

Nota: hoja de datos

El banco de pruebas es una instalación ingenieril integral diseñada para evaluar y validar el rendimiento de diversos componentes o sistemas. Se trata de un entorno controlado y altamente especializado que replica las condiciones de operación del mundo real para llevar a cabo pruebas precisas y exhaustivas.



Figura 22. Placa del inversor

Fuente: extraído de “<https://co.mouser.com/datasheet/2/389/steval-ihm023v3-1848414.pdf>”

Nota: hoja de datos

La placa de evaluación STEVAL-IHM023V3 implementa un control de motor trifásico de 1 kW, la placa de evaluación es un inversor AC-DC que genera una forma de onda trifásica para manejar motores bifásicos o trifásicos de inducción. El STEVAL-IHM023V3 es totalmente diseñado, evaluado y muy eficiente que consiste en un puente inversor trifásico montado en un disipador de calor, controlador con comparador integrado para Funciones de protección de hardware como sobre corriente. y sobre temperatura. Ambos han sido diseñados para trabajar con motores monofásico de red eléctrica, alimentando desde 90 VAC a 285 VAC o desde 125 VCC a 400 VCC, la placa a su vez es adecuada también para aplicaciones CC de bajo voltaje hasta 35 VCC.

6.5.2 Potenciómetro ATV12.



Figura 23. Vista de Potenciómetro

Fuente: extraído de “<https://www.se.com/co/es/faqs/FA280151/>”

Nota: potenciómetro Schneider electric

El ATV12 es un variador de velocidad de alimentación monofásica (para accionamiento de motor trifásico) destinado a aplicaciones pequeñas y simples. Este abarca un rango de potencia desde 0.18 kW hasta los 4kW y cuenta con 4 entradas digitales, 1 salida digital del tipo transistor, 1 salida tipo relé, 1 entrada analógica y 1 salida analógica. A su vez permite trabajar con 4 velocidades preconfiguradas de operación, así como tiene función PID para adecuarse a los valores del proceso. Puede comunicarse vía Modbus con otros equipos dentro de la red.

6.5.3 Analizador de red.



Figura 24. Muestra visual de Analizador de Red

Fuente: extraído de “<https://www.amazon.com/-/es/multifuncional-trif%C3%A1sico-programable-Volt%C3%ADmetro-amper%C3%ADmetro/dp/B08F9JL7JM> “

Nota: Vistazo mostrado

Un analizador de redes eléctricas es la herramienta que nos permite realizar un análisis de las propiedades del consumo y además, para verificar la capacidad de carga, ayuda a conocer el consumo, a detectar problemas en los armónicos y a controlar el voltaje y la sobretensión.

Por lo tanto, su uso permite solucionar o sacar conclusiones de cualquier problema que haya en la red eléctrica. Es más, llevando un mantenimiento periódico se pueden evitar riesgos y promover un ahorro energético.

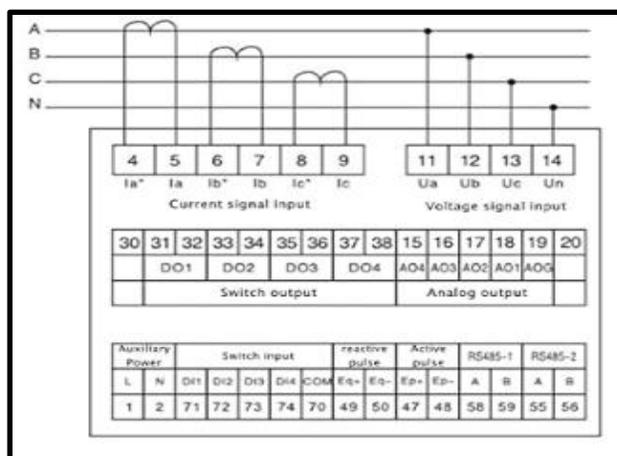


Figura 25. Diagrama de conexión de Analizador de Red

Fuente: extraído de “<https://www.amazon.com/-/es/multifuncional-trif%C3%A1sico-programable-Volt%C3%ADmetro-amper%C3%ADmetro/dp/B08F9JL7JM> “

Nota: hoja de datos

6.5.4 MiniBreaker.



Figura 26. Vista de MiniBreaker

Fuente: extraído de “<https://ingecomsas.com/producto/minibreaker-ls-3x4a/> “

Nota: visualización física del MiniBreaker

Opera automáticamente cerrando o interrumpiendo el flujo de corriente del circuito para proteger la instalación y personas de daños que pueden generar cortocircuitos o sobrecargas.

6.6 Análisis de resultados obtenidos

Se obtuvo el modelo del motor de inducción a partir de sus características físicas. A lo largo de este desarrollo, se introdujeron varias aproximaciones con el objetivo de facilitar la obtención del modelo y también de simplificar el modelo final.

Se expusieron los diferentes procesos transitorios, su concepto y clasificación. Además, las principales causas que lo provocan, dentro de las cuales se analizan el arranque, cortocircuito, frenado recuperativo, desconexión de la red, cambio brusco de la carga, inversión de marcha, etc. Se introdujeron los conceptos de sistema de coordenadas y cambio de variables o transformación de coordenadas.

Con esto, se logró obtener un modelo equivalente más simplificado. El método de analizar los procesos transitorios a través de su simulación permite predecir posibles averías en los motores producto de los procesos transitorios, por lo tanto, constituyen un eslabón importante para conformar un laboratorio, en el cual se puedan observar estos fenómenos lo más cercano posible a la realidad de forma virtual.

Lo planteado es aplicable a cualquier motor de inducción, basta con cambiar sus parámetros. Se obtuvo un banco de trabajo para el desarrollo de prácticas en la enseñanza de máquinas eléctricas para la obtención y más adelante el posible control mediante una tarjeta de adquisición de datos.

7. Conclusiones

Los controles por orientación de campo son esquemas de control vectoriales muy eficientes para controlar los motores de inducción pues solventan la mayoría de los problemas referentes a las maquinas AC y proveen una estrategia bastante efectiva para manipular las magnitudes según se requiera. Las transformaciones matemáticas utilizadas en los Controles por Orientación de Campo se muestran como estrategias adecuadas para modelar la maquina AC, como si fuera una DC, con lo que su control se facilita y se acogen las ventajas de ambas maquinas.

En esta parte final podemos decir que los objetivos propuestos sean cumplidos de forma exitosa al tener implementado un controlador PI para motor de inducción con las técnicas de control vectorial y escalar. Para este fin se realizaron dos partes fundamentales: teoría e implementación.

En la parte de teoría se estableció el control vectorial y escalar orientado al flujo del rotor el cual nos da la libertad de analizar las variables de flujo del rotor para tenerlo solo en función transitoria, y por otro lado del rotor se obtuvo una ecuación que está en función del flujo y de la corriente. Esto nos permitirá que el motor de inducción se pueda manipular y de esta manera poder diseñar, sobre este modelo, técnicas de control avanzadas.

La segunda parte de los objetivos de este proyecto comprendieron la parte de la implementación, diseño y simulación, partiendo de nuestro sistema resultante de la parte teórica. Primero se diseñó un programa con la finalidad de observar las coordenadas orientadas al campo de control del estator, para poder regular los cambios de coordenadas necesarios en el análisis de eficiencia del motor.

Posteriormente se diseñó el controlador principal del servomotor, conformado por un potenciómetro ATV12, un banco de pruebas, analizador de red y un minibreaker. Este controlador resulto tener un buen desempeño en el análisis de saturación para chequear el motor en transitorios permitiendo no afectar la calidad de su funcionamiento.

Los resultados obtenidos de la implementación cubren de manera sobresaliente los objetivos que se esperaban. La programación propuesta en el diseño y posteriormente implementado, permite la elección eficaz de un motor para un trabajo en específico siendo su respuesta la requerida y su error en estado transitorio es cero como se esperaba.

Finalmente, los objetivos del proyecto fueron alcanzados, el trabajo realizado fue bastante, pero nos permitió aprender cosas nuevas como lo fue la programación en Matlab, además de poder hacer una aplicación de un controlador que se usa en la industria y poder entender su funcionamiento. También nos da una idea de cuáles son las problemáticas que se presentan en el desarrollo de este tipo de proyectos, así como en las áreas de desarrollo que se tiene para el motor y su aplicación en la industria y así poder ser capaces de producir este tipo de tecnología.

8. Recomendaciones

Pese a la inherente utilidad de un estudio general como el presentado en este proyecto, la particularización a los motores concretos, con su problemática particular, es recomendable si se pretende demostrar la aplicabilidad de la solución propuesta, y se hace imprescindible si se pretende comparar y analizar, desde el punto de vista del rendimiento, las distintas alternativas y estrategias de control disponibles y en muchos casos únicas para cada motor.

Establecer el funcionamiento del control implementado en el ATV12 en las pruebas experimentales con la correspondiente estimación de velocidad, que permitirá obtener respuestas aun mejores que las obtenidas con la asignación de un valor fijo en la velocidad de la maquina con la que se realizó la prueba experimental en este tipo de control.

9. Referencias bibliográficas

- Alzate Gomes, A., Escobar Mejia, A., & Torres, C. A. (Diciembre de 2009). *Revistas científicas de america*. Obtenido de Control vectorial de la maquina de inducción: <https://www.redalyc.org/pdf/849/84917310010.pdf>
- Banco Santander. (09 de 04 de 2021). *Santander Universidades*. Obtenido de Python: <https://www.becas-santander.com/es/blog/python-que-es.html>
- Cardenas, O. (1 de Junio de 2016). *udb.edu.sv*. Obtenido de Sistemas de control automatico : https://www.udb.edu.sv/udb_files/recursos_guias/electronica-ingenieria/sistemas-de-control-automatico/2019/iii/guia-5.pdf
- Fluke. (14 de 08 de 2012). *Fluke*. Obtenido de Fallo del motor: <https://www.fluke.com/es-es/informacion/blog/motores-accionamientos-bombas-compresores/13-causas-comunes-del-fallo-del-motor>
- GSL Industrias . (4 de Noviembre de 2021). *GSL industrias*. Obtenido de Motor de induccion trifásico : <https://industriasgsl.com/blogs/automatizacion/motor-de-induccion-trifasico>
- Martinez Sarmiento , F. H., & Galvis López, J. J. (13 de Octubre de 2006). *Universidad Distrital*. Obtenido de Control escalar en motores de inducción monofásicos: <https://revistas.udistrital.edu.co/index.php/Tecnura/article/view/6216/7737>
- Roldán Blay, C. (13 de 03 de 2017). *Universidad Politecnica de valencia* . Obtenido de Fasores temporales y ondas senoidales: <https://riunet.upv.es/handle/10251/78686>
- Miller, J. (2018). Advancements in Electric Motor Technologies. *IEEE Transactions on Energy Conversion*, 33(2), 789-797. DOI: 10.1109/TEC.2018.2804569.
- Torres, Reyes, Ramírez. Implementación de un control vectorial para un motor de inducción, Biblioteca de Graduados ITESM-CCM, México, 2004.
- Ponce - Rodriguez. Induction motor space vector control using adaptive reference model direct and indirect methods. *IEEE 0-7803-6606-9*, 2000
- De Rossiter, J., Lima y Da Silva. (2000). Rotor-fluxoriented control of a single-phase induction motor drive. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*.
- Galvis, I. y Vargas, F. (2005). Diseño y construcción de un variador de velocidad monofásico para motores de inducción. Bogotá, D.C., Tesis de pregrado, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Facultad Tecnológica.

- Boldea I. Nassar S.A. (2001). The Induction Machine Handbook. CRC Press, 1st ed.
- Popescu, M. (2004). Analytical Prediction of the Electromagnetic Torques in Single-Phase and Two-Phase AC Motors. Tesis de Doctorado, The Helsinki University of Technology Engineering.
- Chapman, Stephen. Máquinas eléctricas. Ed. McGraw-Hill. Bogotá, 2000. ISBN 9584100564
- Motorola FreeScale Products, Motora/a 56F805, Manuales Técnicos y de programación

10. Anexos

Anexo A. Hoja de datos - motor trifásico de Inducción

HOJA DE DATOS						
Motor Trifásico de Inducción - Rotor de Jaula						
Cliente :						
Línea del producto : Multimontaje 00047 IE2 Trifásico		Código del producto :		15361873		
Carcasa : 63 Potencia : 0.25 kW (0.33 HP) Polos : 4 Frecuencia : 60 Hz Tensión nominal : 220/440 V Corriente nominal : 1.36/0.680 A Corriente de arranque : 6.80/3.40 A Ip/In : 5.0 Corriente en vacío : 1.00/0.500 A Rotación nominal : 1705 rpm Resbalamiento : 5.28 % Torque nominal : 0.143 kgfm Torque de arranque : 260 % Torque máximo : 300 % Clase de aislamiento : F Factor de servicio : 1.15 Momento de inercia (J) : 0.0007 kgm² Categoría : N		Tiempo de rotor bloqueado : 45s (frío) 25s (caliente) Elevación de temperatura : 80 K Régimen de servicio : S1 Temperatura ambiente : -20°C hasta +40°C Altitud : 1000 m Grado de protección : IP55 Método de refrigeración : IC411 - TEFC Forma constructiva : B3T Sentido de giro ¹ : Ambos Nivel de ruido ² : 48.0 dB(A) Método de Arranque : Partida directa Masa aproximada ³ : 6.1 kg				
Potencia		50%	75%	100%	Fuerzas en la fundación	
Rendimiento (%)		62.0	68.0	70.0	Tracción máxima : 14 kgf	
Cos Φ		0.47	0.60	0.69	Compresión máxima : 20 kgf	
Tipo de cojinete :		<u>Delantero</u> 6201 ZZ		<u>Trasero</u> 6201 ZZ		
Sello :		V'Ring		V'Ring		
Intervalo de lubricación :		-		-		
Cantidad de lubricante :		-		-		
Tipo de lubricante :		Mobil Polyrex EM				
Notas						
Esta revisión reemplaza y cancela la anterior, la cual deberá ser eliminada. (1) Mirando la punta delantera del eje del motor. (2) Medido a 1m y con tolerancia de +3dB(A). (3) Masa aproximada sujetos a cambios después del proceso de fabricación. (4) Al 100% de la carga completa.			Los valores indicados son valores promedio con base en ensayos y para alimentación en red senoidal, sujetos a las tolerancias de la norma IEC 60034-1.			
Rev.	Resumen de los cambios			Ejecutado	Verificado	Fecha
Ejecutor						
Verificador					Página	Revisión
Fecha	10/09/2023				1 / 1	

Propiedad de WEG S/A. Prohibida la reproducción sin permiso.
 Sujeto a cambios sin previo aviso.

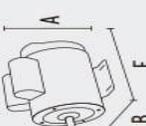
Nota: datos recopilados por Multimontaje WEG empresa responsable de proveer equipo (Fuente: <https://goo.su/9Zzyy>)

Anexo B. Plantilla de características del Motor Web Multimontaje IE2 0.33 HP

LD DIDACTIC GmbH			
Typ: 7732104 SA			
Y/Δ	400/230	V	0.72/1.25
			A
	0.25	KW	COS φ 0.66
	1710	U/min	60
			HZ
Is.Kl. 3	IP 20	168844	VDE 0530

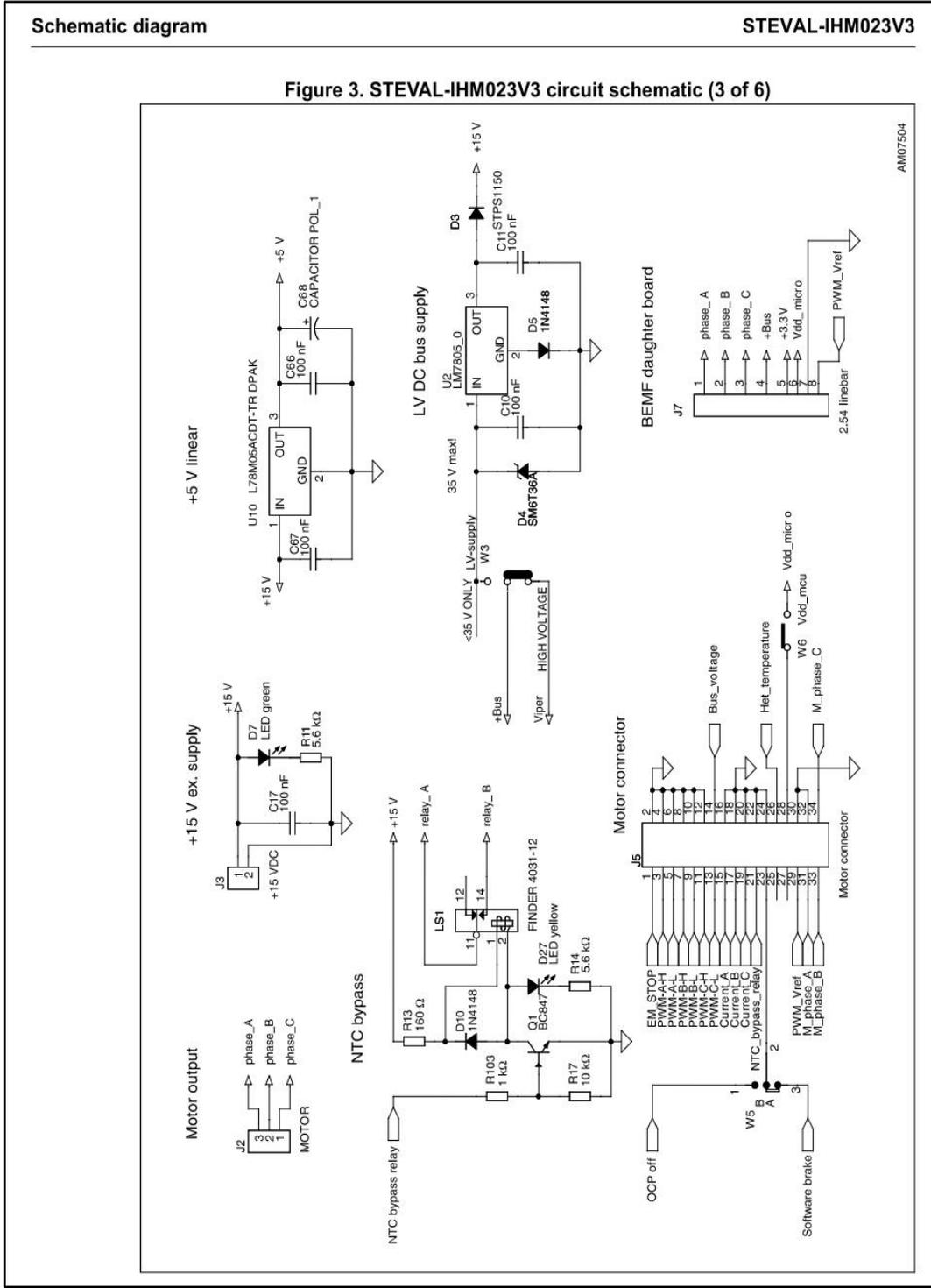
Nota: datos recopilados por LD DIDACTIC empresa responsable de proveer equipo (Fuente: <https://www.leybold-shop.com/squirrel-cage-motor-230-400-0-3-7732104sa.html>)

Anexo C. Motor eléctrico monofásico de 1/2 HP, baja velocidad, Truper

Motores eléctricos monofásicos, alta velocidad (3,450 rpm) - Para ventiladores, compresores, molinos, bandas transportadoras y otras de uso general - Armazón NEMA-56 - Polos: 2 - Aislamiento: clase F										
2 HP	102313	M0E-2A	102312	1 HP	102311	3/4 HP	1/2 HP	1/4 HP		
A 216 x F 300 x B 165 mm	A 216 x F 290 x B 165 mm	A 216 x F 290 x B 160 mm	A 206 x F 272 x B 160 mm	A 206 x F 256 x B 160 mm	A 206 x F 240 x B 160 mm					
14 kg	12 kg	10 kg	8 kg	7 kg	6 kg					
19.4 A / 9.7 A	15.6 A / 7.8 A	12.6 A / 6.3 A	10.4 A / 5.2 A	7.4 A / 3.7 A	4.6 A / 2.3 A					
Capacitor de arranque y de trabajo		Capacitor de arranque con interruptor centrífugo		Capacitor de arranque y de trabajo		Capacitor de arranque con interruptor centrífugo		Capacitor de arranque con interruptor centrífugo		
Mayoreo:	\$ 2,450	NC 2	\$ 2,215	NC 2	\$ 1,855	NC 2	\$ 1,615	NC 2	\$ 1,255	NC 2
Caja:	1	MM 1	1	MM 1	1	MM 1	1	MM 1	1	MM 1

Nota: datos recopilados por TRUPER empresa responsable de proveer equipo (Fuente: [Motores eléctricos monofásicos \(truper.com\)](http://Motores eléctricos monofásicos (truper.com)))

Anexo D. Planos placa del inversor



Nota: datos recopilados por Schematic modelo responsable de proveer la conexión (Fuente: <https://co.mouser.com/datasheet/2/389/steval-ihm023v3-1848414.pdf>)