



Trabajo de titulación, previo a la obtención del título de Ingeniero Electromecánico

Análisis energético del control de motores de 5 hp en el laboratorio de máquinas eléctricas de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE sede Latacunga campus Belisario

Lascano Cabrera, Santiago Wladimir
Llumiquirena Tipán, Edwin Javier

Ing. Freire Llerena, Washington Rodrigo

Latacunga, Febrero 2022



Contenido

- Planteamiento del problema
- Justificación del problema
- Objetivos
- Hipótesis
- Fundamentación teórica
- Metodología
- Simulación en software especializado
- Comprobación Hipótesis
- Construcción del módulo de pruebas
- Análisis energético
- Implementación del modulo en el laboratorio
- Conclusiones
- Recomendaciones



Motivación



"Hay una fuerza motriz más poderosa que el vapor,
la electricidad y la energía atómica: la voluntad."
Albert Einstein

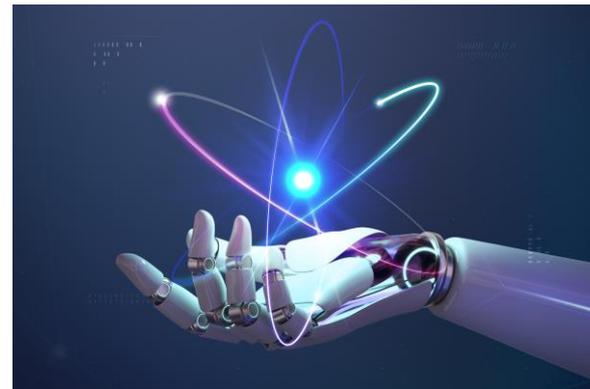
Planteamiento del problema

En la carrera de Ingeniería electromecánica de la ESPE se imparte muchas materias de relevancia como, automatización industrial, mecánica de fluidos, sistemas de refrigeración y soldadura, por nombrar algunas, sin embargo, no existe una cátedra que se enfoque en el ahorro y eficiencia energética en la industria. Esto es una desventaja para los estudiantes, puesto que, no tienen acceso al conocimiento y el manejo de estas técnicas para desarrollar sus habilidades, que son muy importantes para el ejercicio de su profesión como futuros ingenieros.

En concordancia, con lo antes descrito, se plantea la implementación de un complemento para el laboratorio de máquinas eléctricas. Este constará de un motor y un variador de velocidad, los cuales tienen como finalidad contrastar, de forma práctica, las formas de ahorro energético en motores, que funcionan a nivel industrial.

Justificación e Importancia

Equipamiento actual del laboratorio de Máquinas Eléctricas

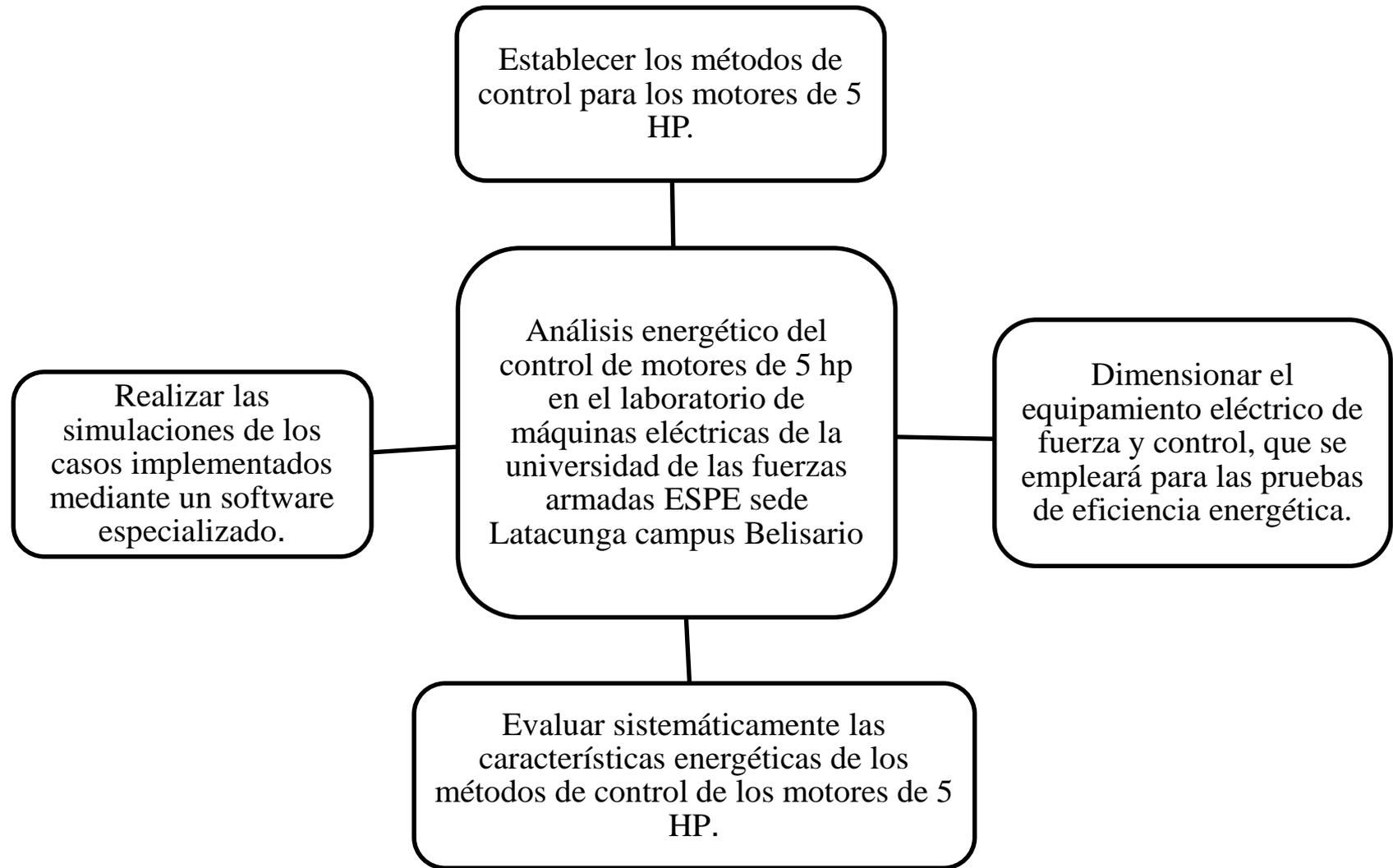


Avance tecnológico.



Realizar un “Análisis energético del control de motores de 5 hp mediante un módulo de arranques trifásicos en el laboratorio de máquinas eléctricas”.

Objetivos

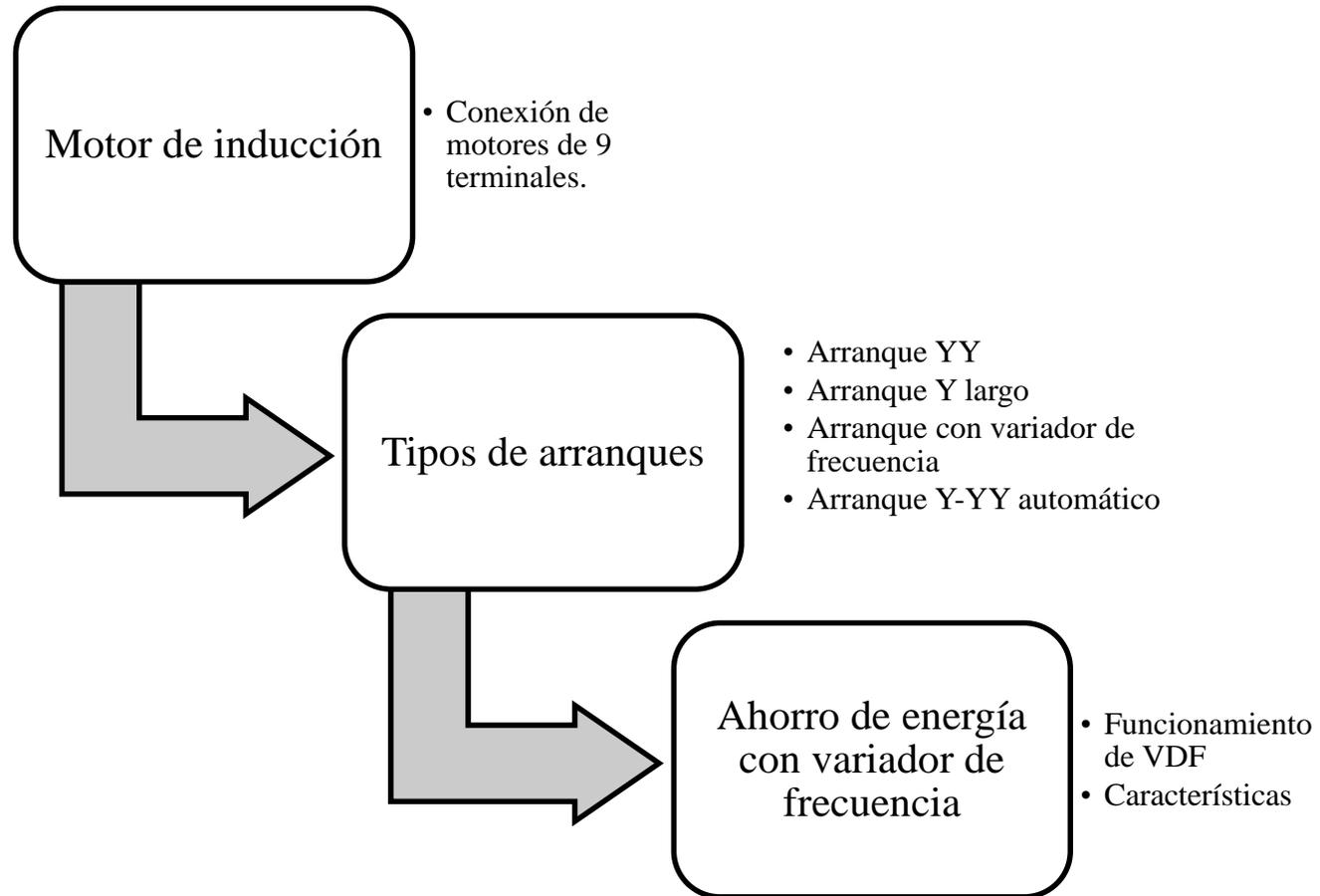


Hipótesis

¿La implementación de un módulo de control permitirá determinar los consumos energéticos en motores de 5HP?



Fundamentación Teórica



Fundamentación Teórica

Motor de inducción	Principio de funcionamiento
<p>Se compone de un estator, un rotor y dos escudos extremos que alojan los rodamientos que soportan el eje del rotor.</p>	<p>Las ranuras del núcleo del estator contienen tres devanados monofásicos separados.</p>
<p>Requiere un mantenimiento mínimo.</p> <p>Los devanados del rotor están en cortocircuito para formar una jaula de ardilla.</p>	<p>Cuando tres corrientes separadas 120 grados eléctricos pasan por estos devanados, se produce un campo magnético giratorio.</p>
<p>No posee conmutadores ni anillos rozantes</p>	<p>El campo se desplaza por el interior del núcleo del estator.</p>
<p>No posee escobillas que sustituir</p>	<p>La velocidad del campo magnético giratorio depende del número de polos del estator y de la frecuencia de la fuente de alimentación.</p>

Corriente de arranque

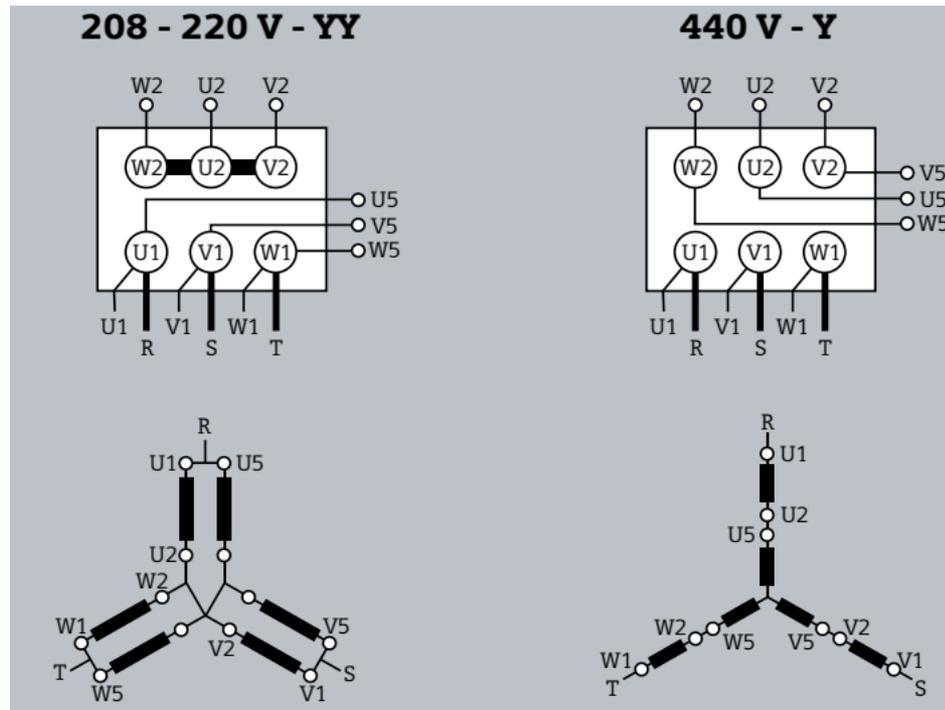
Cuando un motor de inducción de CA trifásico se conecta a toda la tensión de la línea, la corriente de arranque alcanza momentáneamente entre el 400% y el 1000% o más de la corriente nominal a plena carga

Fundamentación Teórica

Conexión de motores de 9 terminales

Conexión doble estrella (Y-Y)

Conexión estrella (Y largo)



Fundamentación Teórica

Arranque Y largo

Arranque para motores de mayor voltaje (440 VAC)

Corriente consumida menor

Se emplea para la puesta en marcha de motores sin que las protecciones se accionen por picos

Arranque doble YY

Arranque para motores de mayor voltaje (220 VAC)

Mayor consumo de corriente

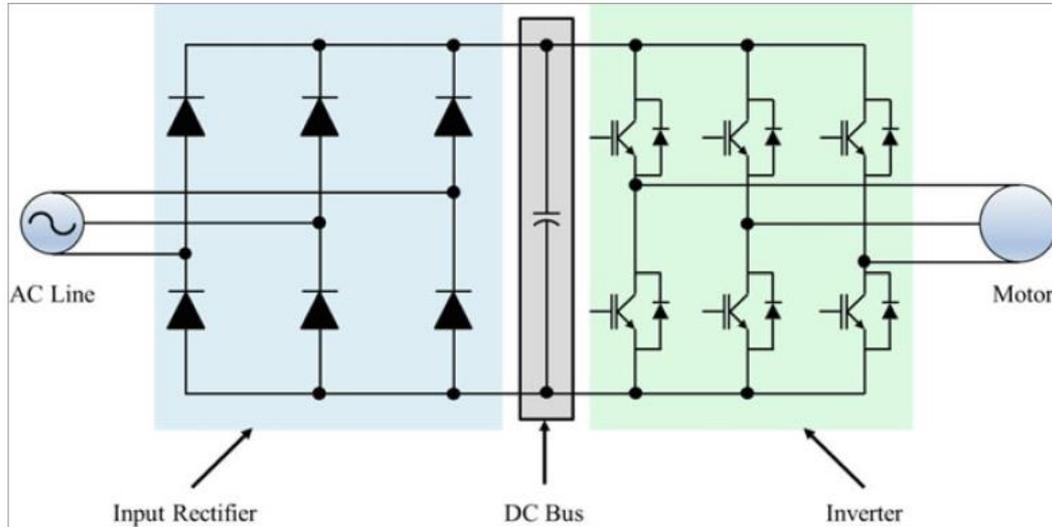
Se emplea para alcanzar el pleno funcionamiento de los motores

Arranque con variador de frecuencia

El VFD es un sistema para controlar la velocidad de rotación de un motor eléctrico

Fundamentación Teórica

Variador de Frecuencia



- Los VFD proporcionan KVA más bajos y ayudan a reducir las fluctuaciones de voltaje y los cortes de energía.
- Proporcionan un factor de potencia alto y no necesitan condensadores de corrección del factor de potencia para conectarse externamente.
- Los VFD proporcionan el control de capacidad de mayor eficiencia, asimismo, evitan tensiones térmicas y mecánicas en motores

Ventajas

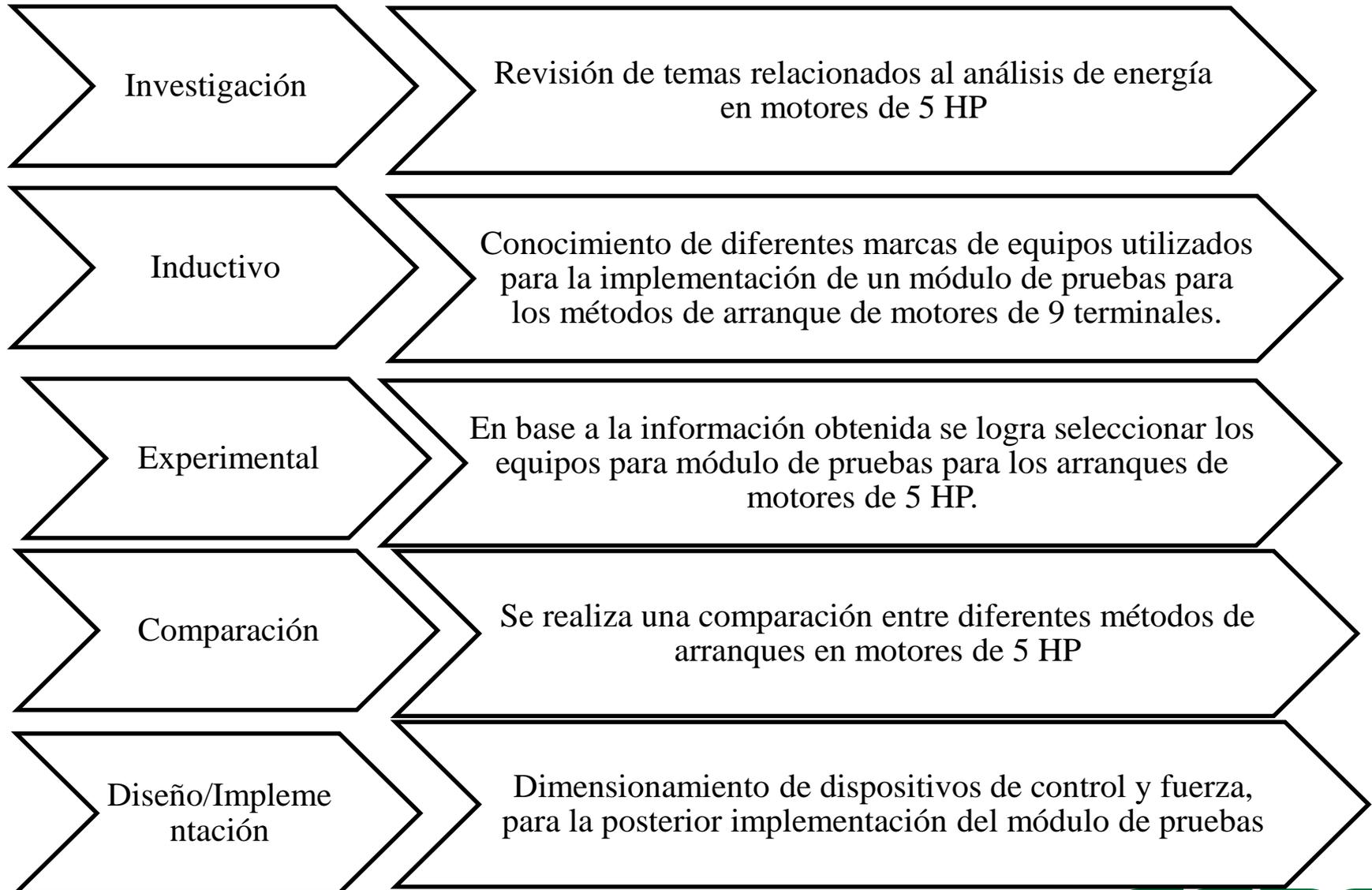
Fundamentación Teórica

EFICIENCIA ENERGÉTICA

La eficiencia energética se refiere a la reducción del consumo de energía por unidad de servicio o cantidad de producto, siempre y cuando no afecte a los niveles de calidad de servicio y vida útil de los equipos a nivel comercial e industrial.



Metodología

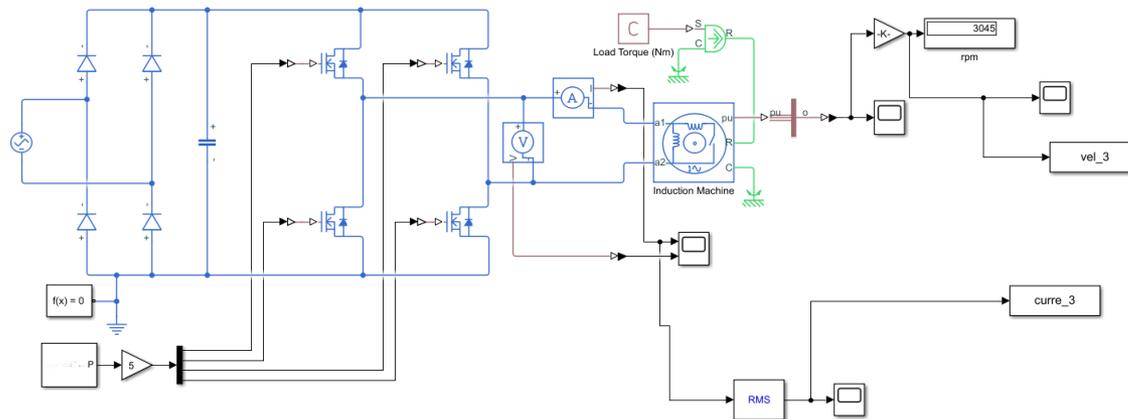
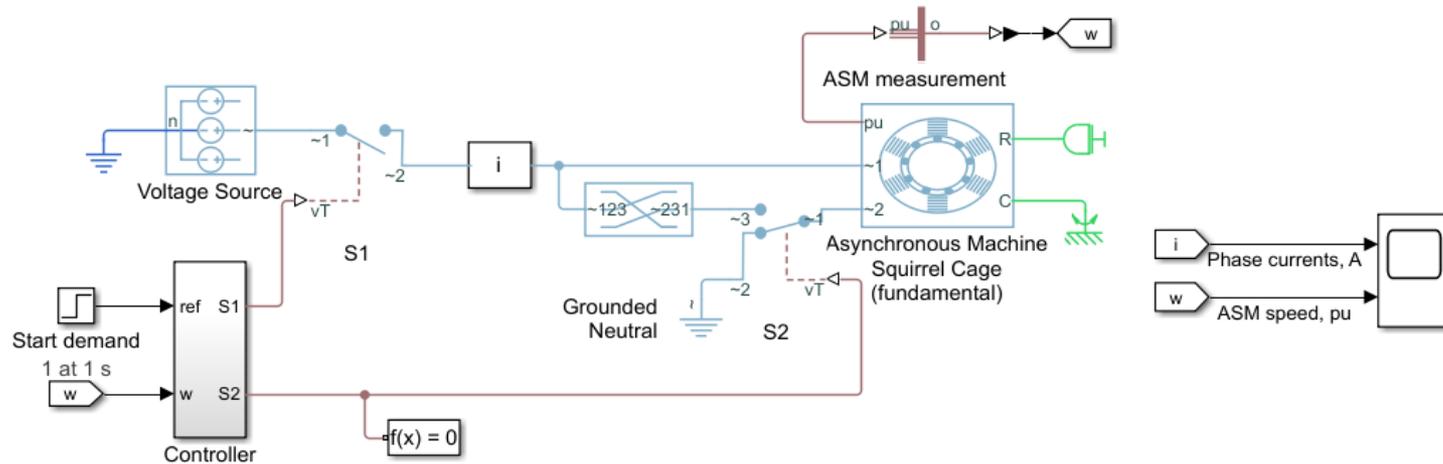


DESCRIPCIÓN DE MÉTODOS PROPUESTOS

Arranque	Configuración de bobinas		Variador	Tiempo de funcionamiento	
	Y	YY		Y	YY
1	X	X		10 seg	10 seg
2		X			10 seg
3	X			10 seg	
4		X	X		10 seg

Tipo	Potencia		In		Factor de potencia cos f	Velocidad nominal rpm
	HP	kW	220 V A	440 V A		
1LA7 112- 2AY60	5	3.73	16	8	0.86	3480

SIMULACIÓN DE ESCENARIOS EN SOFTWARE ESPECIALIZADO



SIMULACIÓN DE ESCENARIOS EN SOFTWARE ESPECIALIZADO

Prueba #	Corriente de arranque(A)			
	Y-YY automático	YY	Y	YY con VFD
1	23	80	24	14

Comprobación Hipótesis

¿La implementación de un módulo de control permitirá determinar los consumos energéticos en motores de 5HP?

Para la comprobación de la hipótesis se realiza un análisis de las mediciones obtenidas de los diferentes arranques propuestos, Y-YY automático, Y largo, doble estrella y arranque con variador de frecuencia. Para lo cual, se realiza el conexionado del diagrama de control y fuerza. En cada escenario se cuantifican algunos parámetros como, corriente, voltaje y potencia durante cada tipo de arranque.

Diseño del módulo de pruebas

Diseño de diagramas

- En este sentido se diseñan los diagramas de control y fuerza para cada tipo de arranque seleccionado.

Simulación y programación en software

- En base al diseño de diagramas se simula la lógica de control y fuerza en CADeSIMU.
- Una vez comprobado el funcionamiento se programa la lógica de control en el software de Siemens

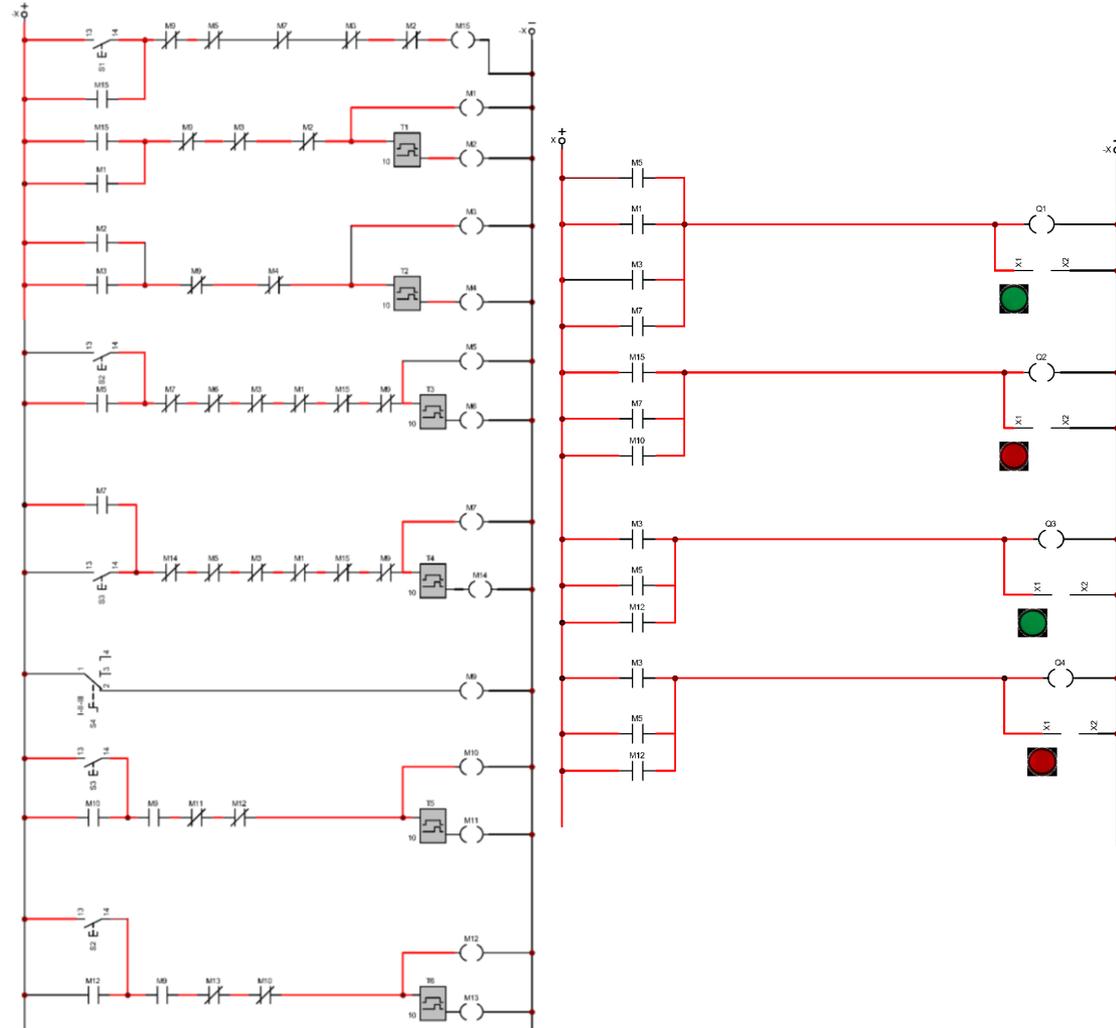
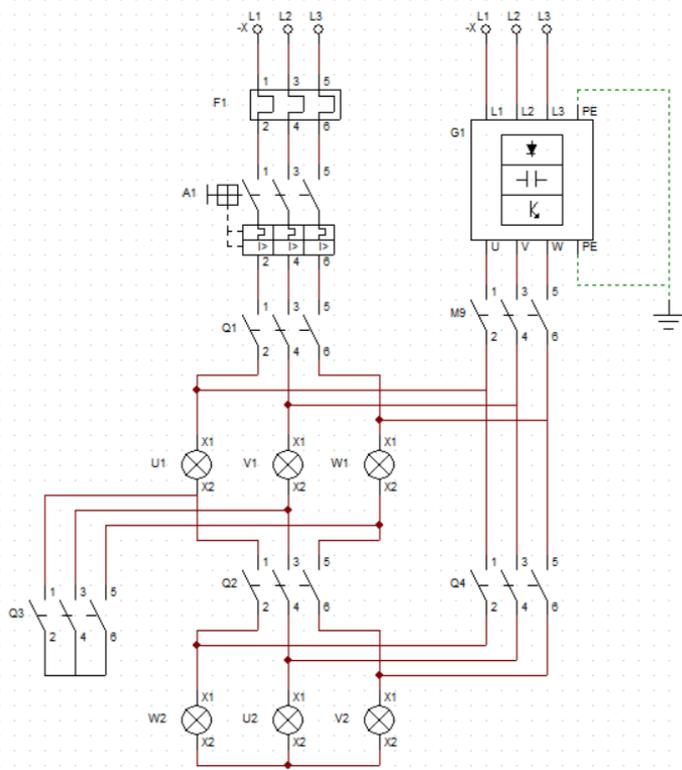
Ensamblaje y pruebas de funcionamiento

- Se procede a ensamblar el módulo de pruebas con los dispositivos anteriormente dimensionados.
- Una vez ensamblado se procede a realizar las pruebas para el análisis energético

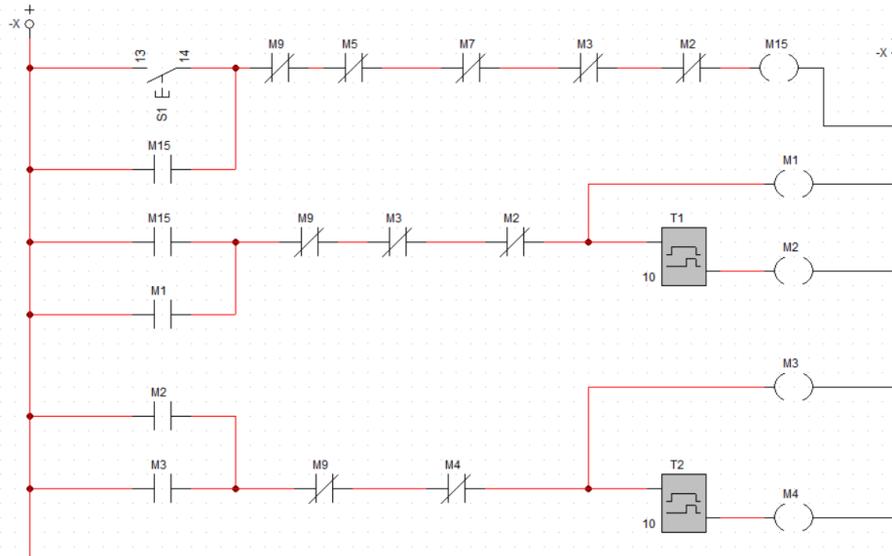
Dimensionamiento de contactores

- En base a la corriente nominal del motor se procede a calcular la capacidad de los contactores y las protecciones para el módulo de pruebas.

Diagrama de control y fuerza de módulo de pruebas



Arranque estrella extendida (Y)– doble estrella (Y-Y) automático



$$M15 = (S1 + M15) * \overline{M9} * \overline{M5} * \overline{M7} * \overline{M3} * \overline{M2}$$

$$M1 = (M15 + M1) * \overline{M9} * \overline{M3} * \overline{M2}$$

$$M2 = M1 * T1$$

$$M3 = (M2 + M3) * \overline{M9} * \overline{M4}$$

$$M4 = M3 * T2$$

Arranque estrella extendida (Y)– doble estrella (Y-Y) automático

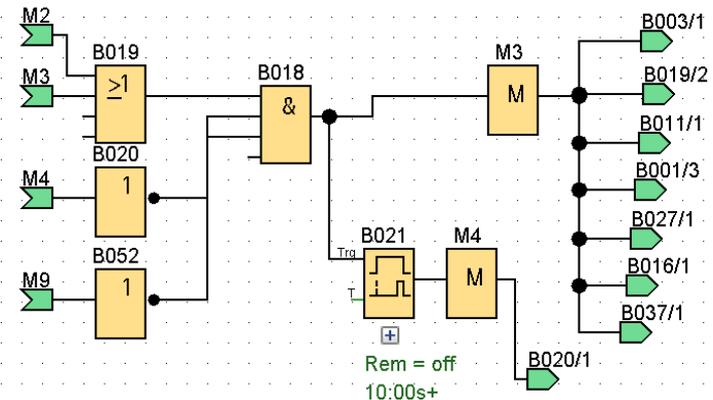
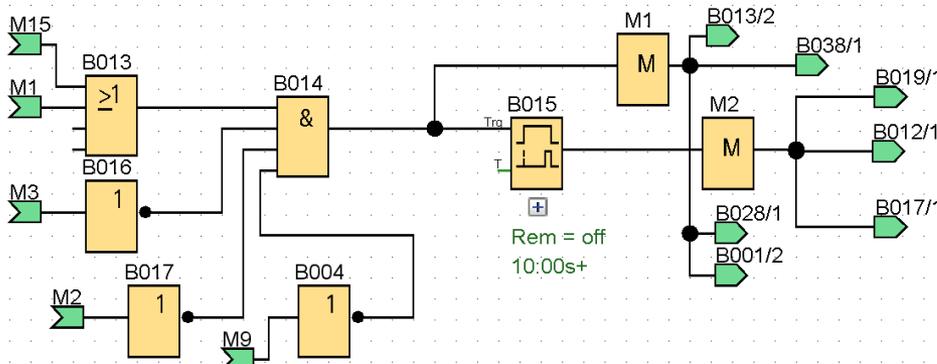
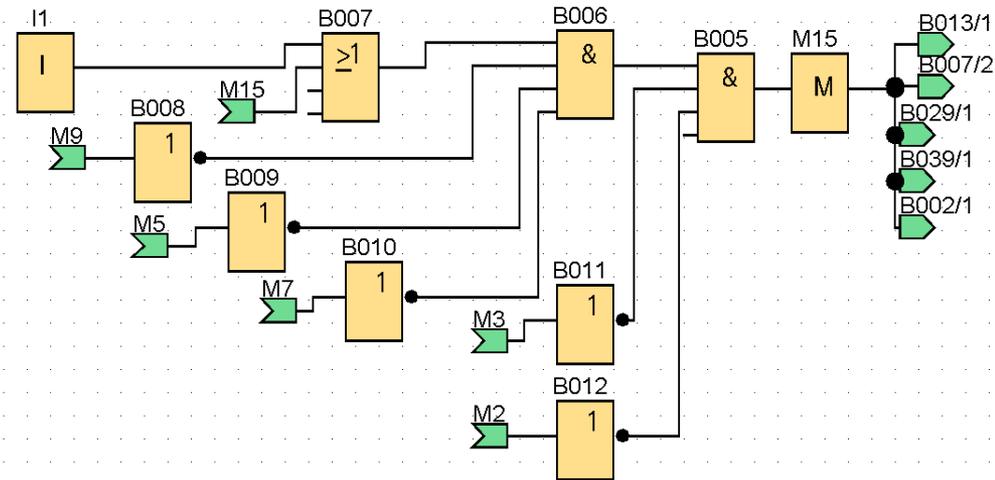
$$M15 = (S1 + M15) * \overline{M9} * \overline{M5} * \overline{M7} * \overline{M3} * \overline{M2}$$

$$M1 = (M15 + M1) * \overline{M9} * \overline{M3} * \overline{M2}$$

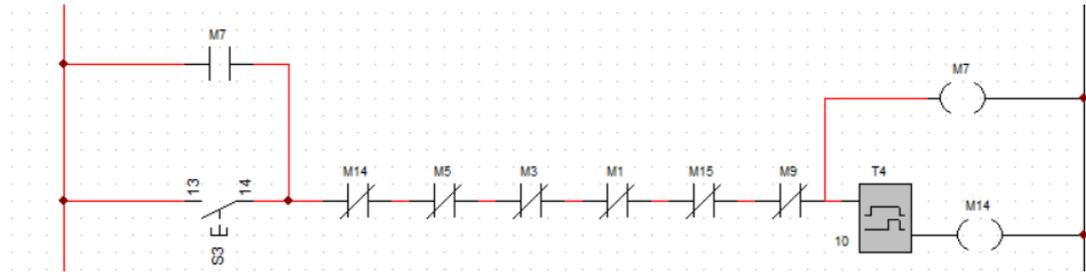
$$M2 = M1 * T1$$

$$M3 = (M2 + M3) * \overline{M9} * \overline{M4}$$

$$M4 = M3 * T2$$

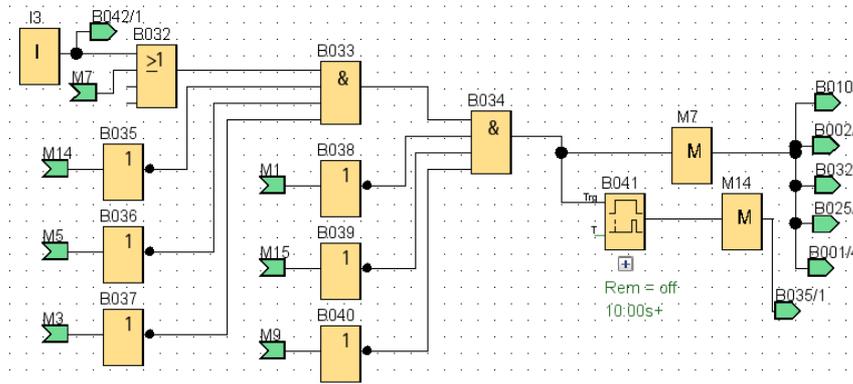


Arranque Y largo

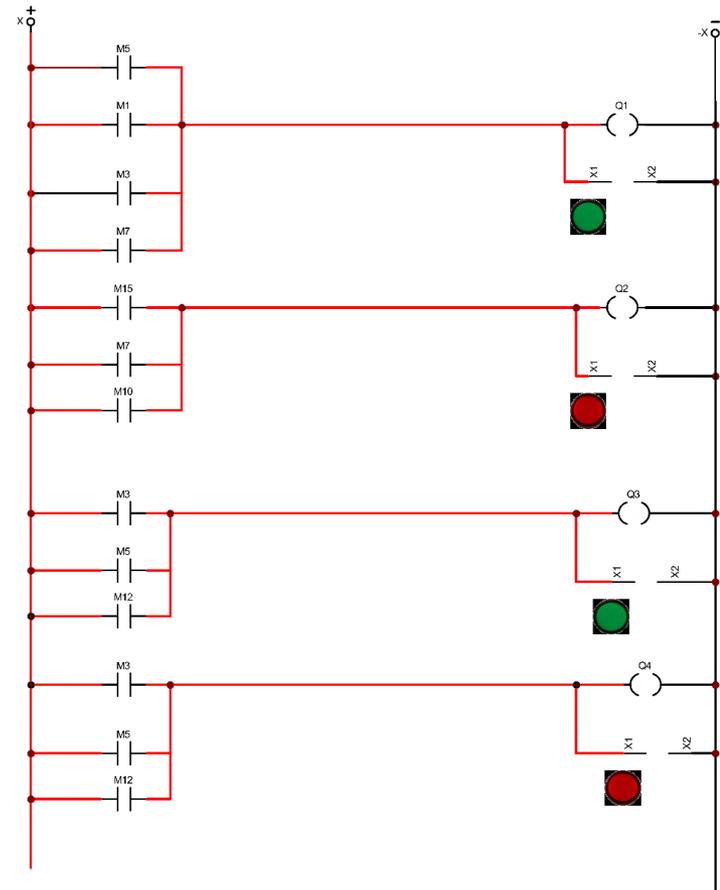
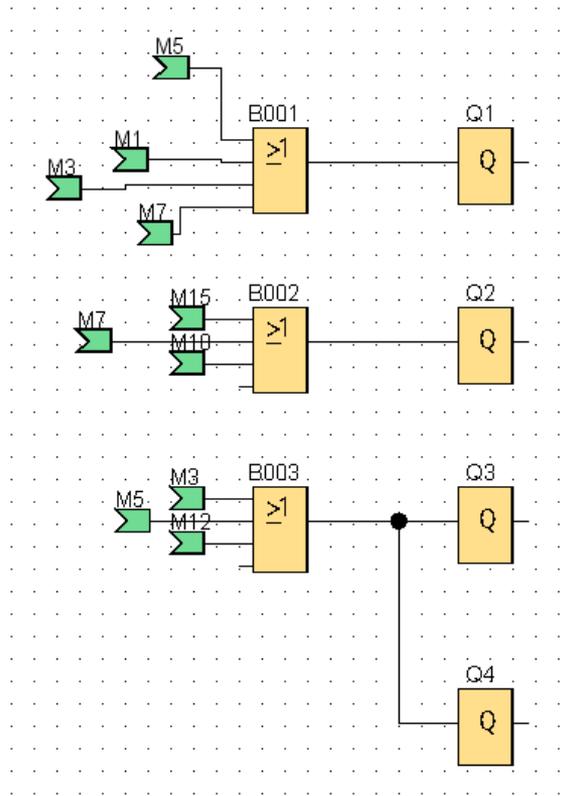


$$M7 = (S3 + M7) * \overline{M14} * \overline{M5} * \overline{M3} * \overline{M1} * \overline{M15} * \overline{M9}$$

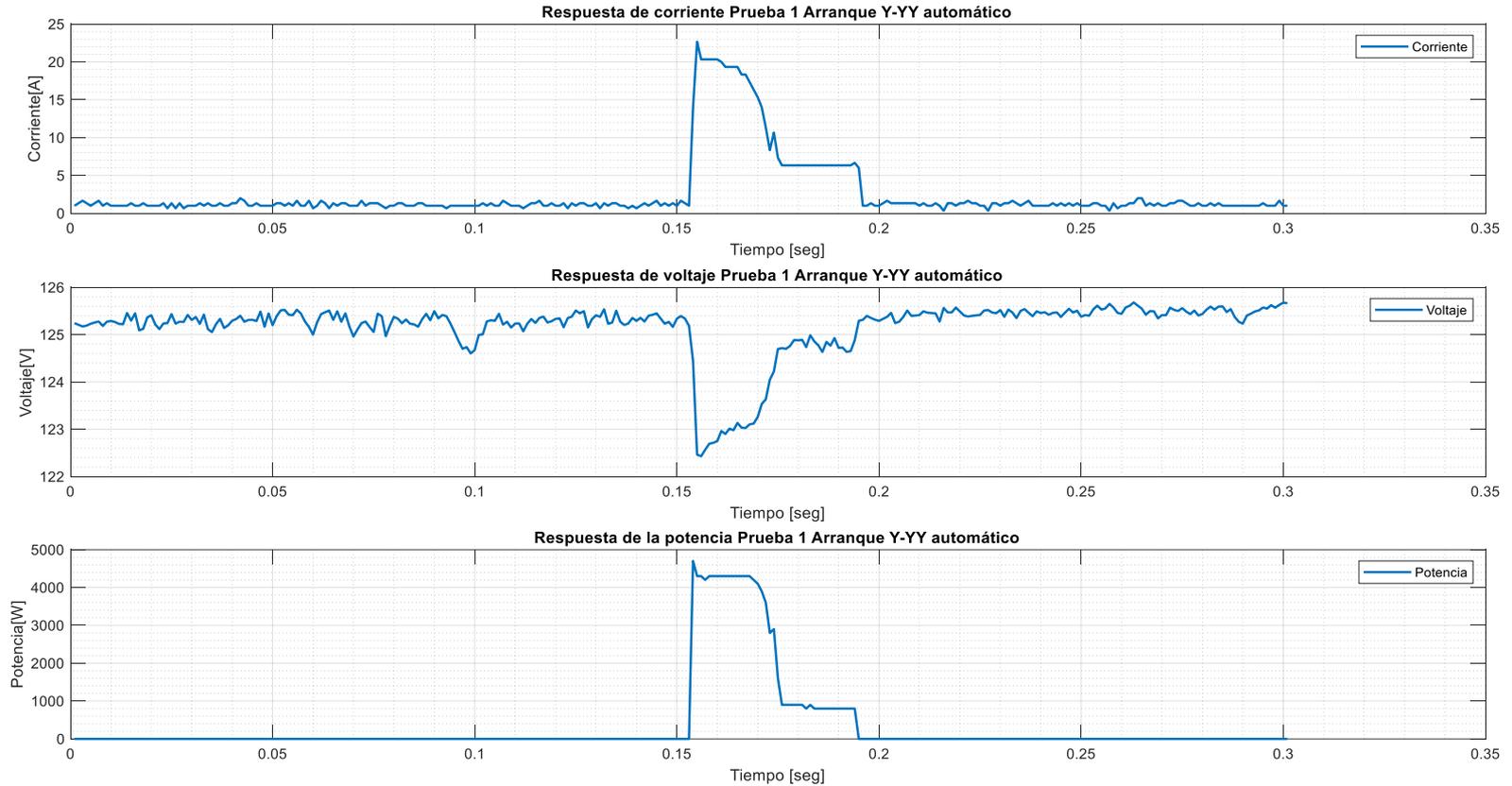
$$M14 = M7 * T4$$



Control de salidas LOGO



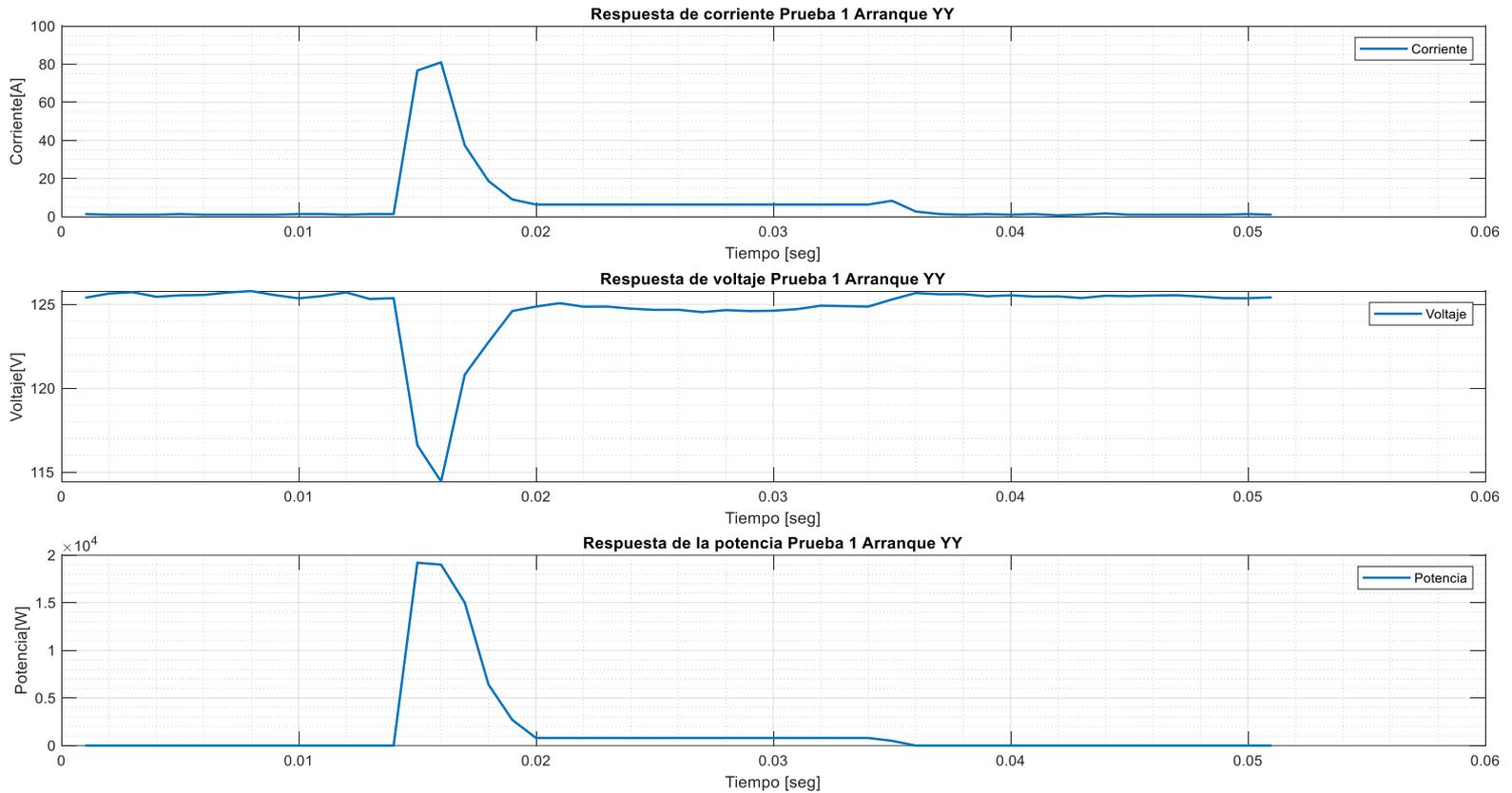
Análisis Energético de arranque Y-YY automático



Análisis Energético de arranque Y-YY automático

Prueba #	Corriente máxima (A)	Voltaje durante arranque (v)	Potencia (W)	Energía (Wh)
1	22.66	122.43	4700	14.49
2	23.66	122.79	4400	13.48
3	23.33	122.78	4700	13.25

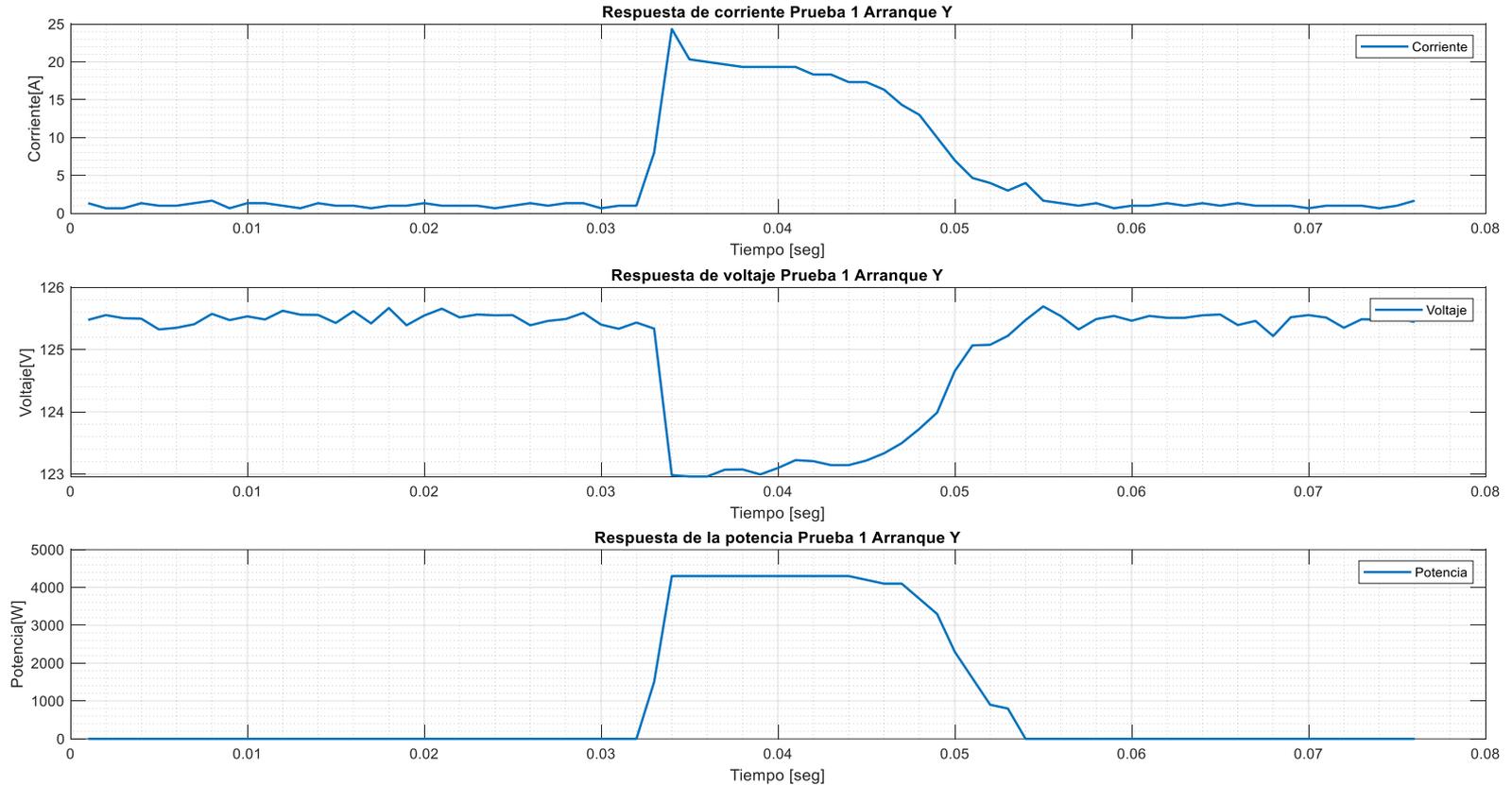
Análisis Energético de arranque YY



Análisis Energético de arranque YY

Prueba #	Corriente máxima (A)	Voltaje durante arranque (V)	Potencia (W)	Energía (Wh)
1	81	114.44	19200	10.49
2	85.33	114.03	19500	9.77
3	86.33	114.20	19000	9.81

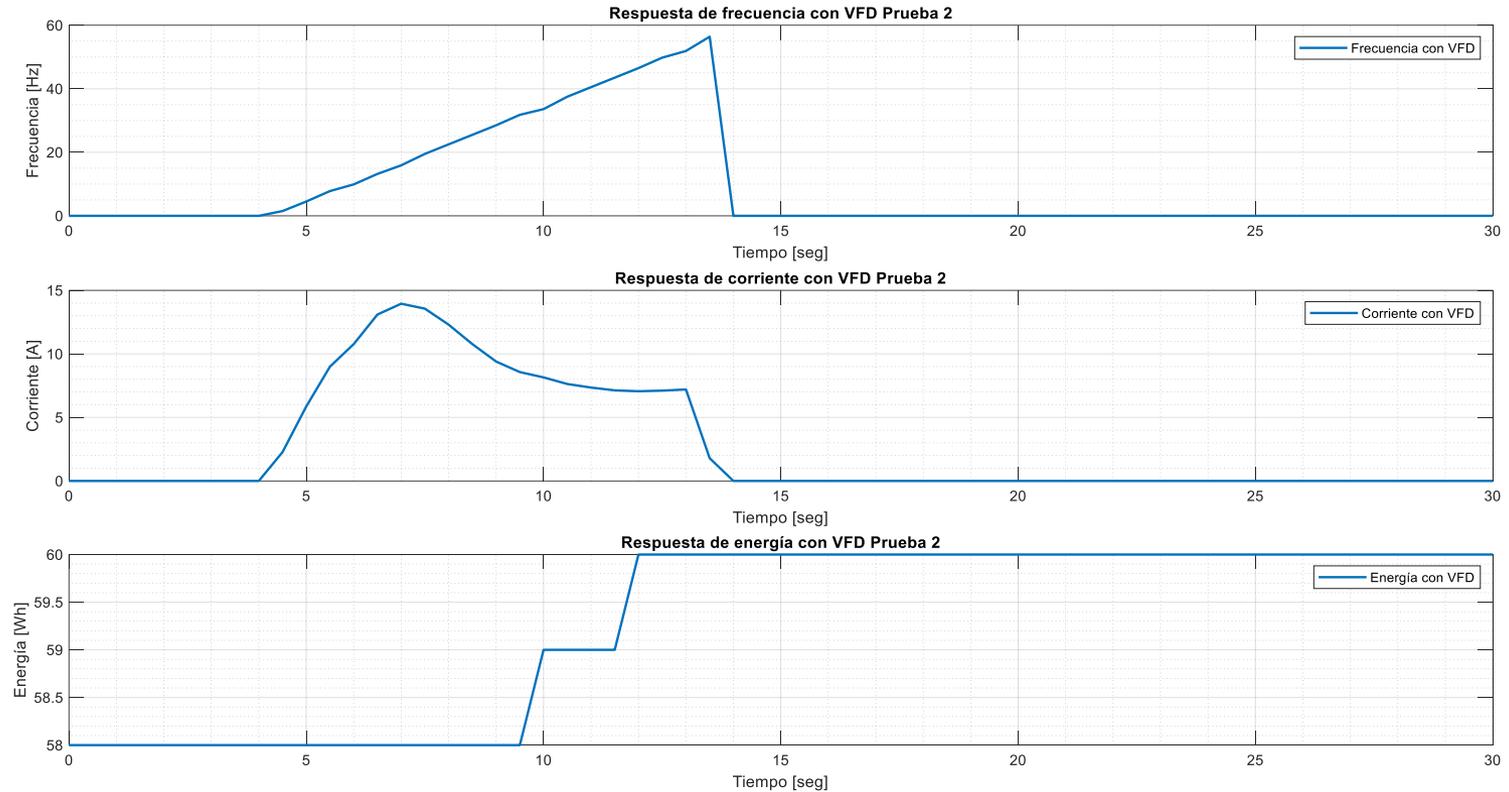
Análisis Energético de arranque Y largo



Análisis Energético de arranque Y largo

Prueba #	Corriente máxima (A)	Voltaje durante arranque (V)	Potencia (W)	Energía (Wh)
1	24.33	122.96	4300	10.42
2	23.66	122.78	4300	9.87
3	23	122.79	4300	10.35

Análisis Energético de arranque YY con variador de frecuencia

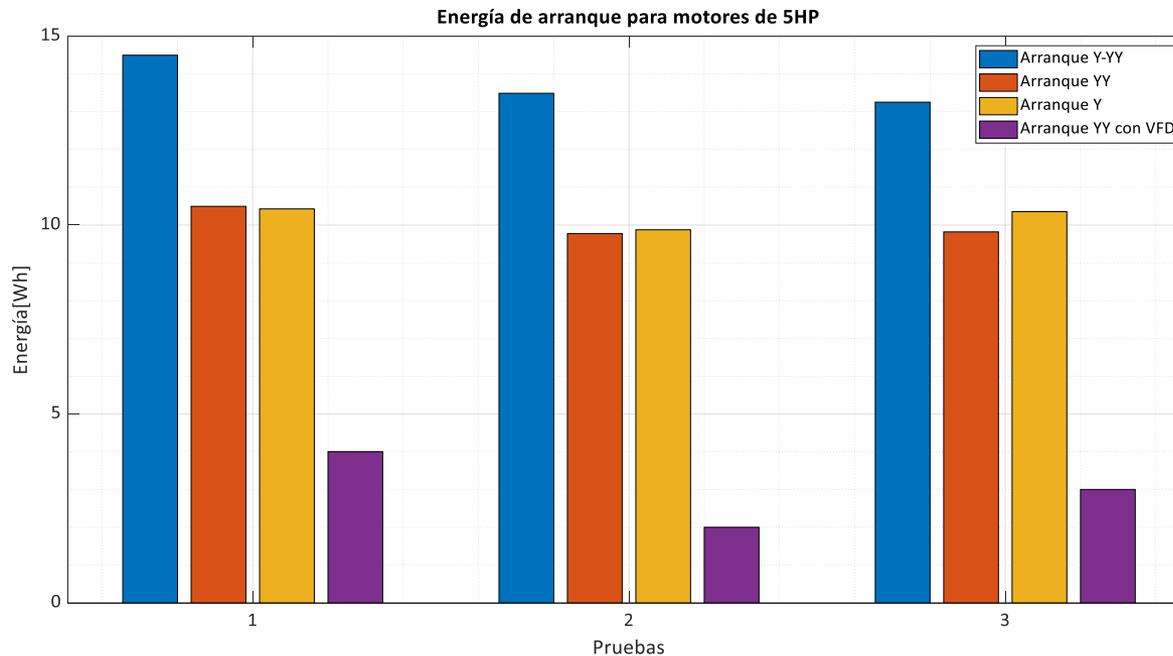


Análisis Energético de arranque YY con variador de frecuencia

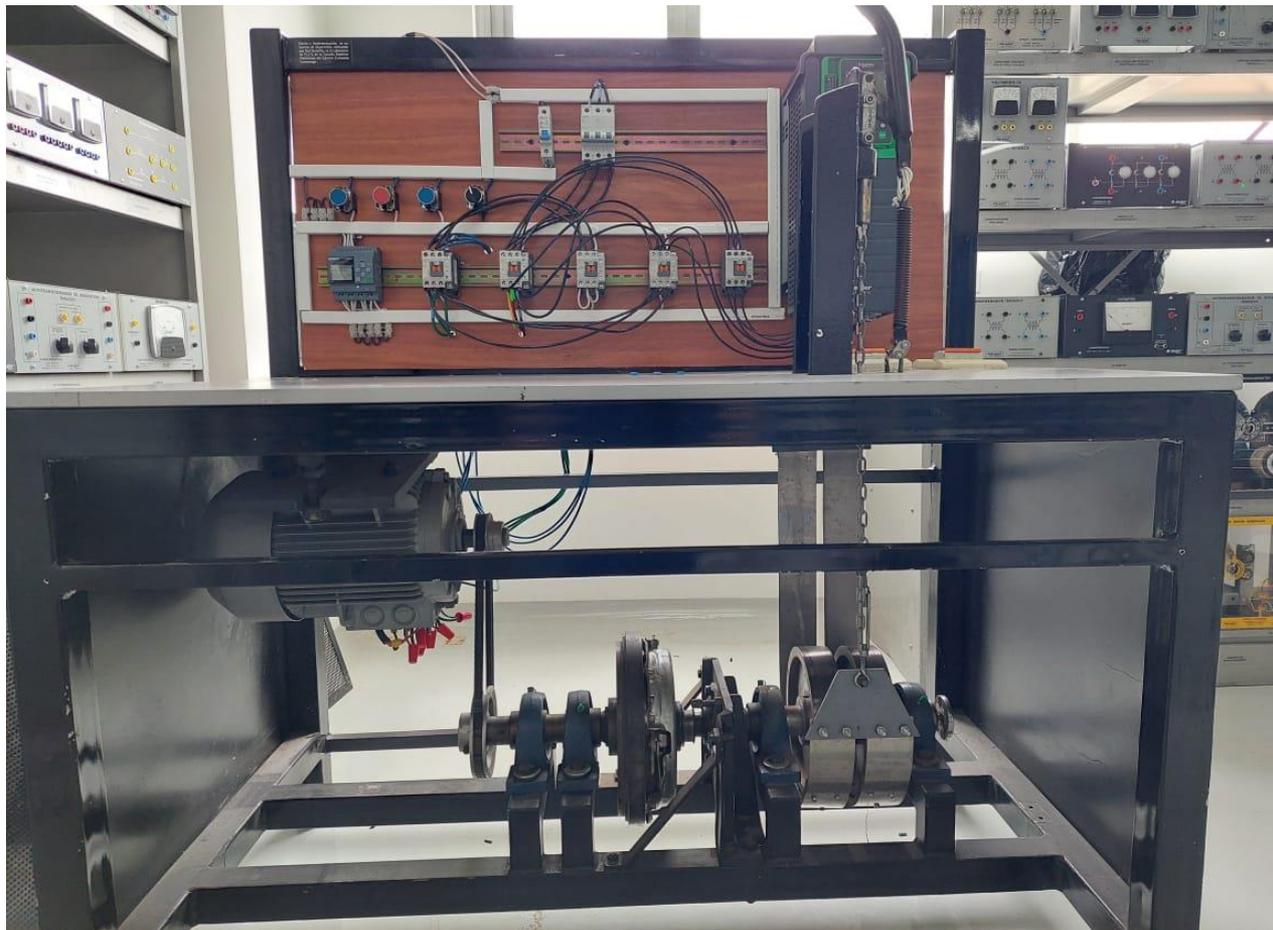
Prueba #	Frecuencia máxima (Hz)	Corriente durante arranque (A)	Energía (Wh)
1	61	28.02	58
2	56.40	13.95	60
3	58.20	16.74	63

Comparación de análisis energético de todos los métodos de control contemplados

Prueba #	Corriente de arranque (A)			
	Y-YY automático	YY	Y	YY con VFD
1	22.66	81	24.33	28
2	23.66	85.33	23.66	13.95
3	23.33	86.33	23	16.74



Implementación del módulo en el laboratorio



Conclusiones



- Es esencial elegir un método de control adecuado, de acuerdo a las características del motor, cuando se requiera arrancarlo ya que la corriente de arranque puede elevarse momentáneamente entre el 400% y el 1000% de la corriente nominal lo que también puede provocar una caída de tensión la cual puede afectar a máquinas que comparten la misma red.
- Para los motores de 9 terminales, los cuales se emplearon en esta investigación, existen 4 tipos de arranque, arranque Y-YY automático, arranque en doble estrella (YY), arranque estrella extendida (Y largo) y arranque con variador de frecuencia. En este sentido, las principales diferencias entre los arranques descritos es la corriente que describe cada uno de estos.

Conclusiones



- En términos de magnitud de corriente de arranque, el método de control que presento la menor corriente fue el arranque con variador de frecuencia con una magnitud promedio de 19.56 A, seguido del arranque Y-YY automático con un valor de 23.21 A. Asimismo, a estos le sigue el arranque Y largo con una magnitud de 23.66 A, y por último se ubica el arranque YY con un valor de 84.22 A.
- El ahorro energético que describe el arranque YY con el variador de frecuencia es el menor, a comparación de los otros métodos de control. Por el contrario, el arranque Y – YY automático es el método que consume una mayor cantidad de energía. Por lo tanto, se puede decir que el arranque con variador de frecuencia representa un ahorro de 4.92 veces mayor a comparación con el arranque Y-YY automático.

Conclusiones



- Las simulaciones de los métodos de control mediante software especializado es una opción muy útil, debido a que, esta permite tener una noción del comportamiento real de los métodos de control propuestos en esta investigación. En este sentido, la corriente de arranque para el método de control Y-YY automático es de 23 A, la corriente para el arranque YY fue de 80 A. El método Y describió una corriente de 24 A y el arranque con variador de frecuencia adoptó una corriente de 14 A. Estos valores fueron consecuentes con los resultados obtenidos producto de la experimentación práctica.

Recomendaciones



- Es necesario poseer el conocimiento básico de automatización y control para realizar las conexiones necesarias para la puesta en marcha del motor de 9 terminales trifásico.
- Los manuales de los dispositivos empleados para el módulo de control propuesto en esta investigación son esenciales para comprender el funcionamiento de los dispositivos. De esta forma se evita posibles accidentes por falta de conocimiento

Bibliografía

Abboud, M. M., Lenells, M., & Cijvat, P. (2015). *Simulation of 3ph Induction Motor in Matlab with Direct and Soft Starting Methods*. 42.

Alberca Gálvez, B., Miguel Bach Balcázar Ortiz, L., De Fátima Asesor, M., & Becerra Manuel

Alberto, A. (2018). Análisis comparativo de las corrientes de arranque del motor trifásico hasta una potencia de 5HP con circuito de relés(contactor) y circuito electrónico(SCR) en la universidad señor de Sipán. In *Pimentel – Perú*.

AMCA. (2011). *Energy Efficiency Classification for Fans* (p. 17).

Atv, V. De. (2020). *Altivar Process Manual de instalación*.



Calcina Sotelo, A. F. (2016). *Optimización Del Funcionamiento De Un Motor De Inducción Para El Ahorro De Energía Eléctrica En El Laboratorio Uncp* [Universidad -Nacional del Centro de Perú]. http://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/UNCP/3928/Calcina_Sotelo.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Cevallos, I., & Santo, D. (2020). *Diseño e implementación de un módulo didáctico para prácticas de red Profibus y Profinet con PLCs s71500 aplicado a motores trifásicos*. Universidad Politécnica Salesiana.

Darwin, L. (2013). *Distorsión armónica producida por variadores de frecuencia para mejorar el desempeño de motores eléctricos trifásicos en el Laboratorio de Automatización Industrial de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica* [Universidad Técnica de Ambato]. <http://repo.uta.edu.ec/bitstream/handle/123456789/5301/Mg.DCEv.Ed.1859.pdf?sequence=3>

GRACIAS

