
Panel didáctico sobre métodos comunes de arranque de motores trifásicos

Carlos Andrés Escobar Méndez



UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
Facultad de Ingeniería



**Panel didáctico sobre métodos comunes de arranque de
motores trifásicos**

Trabajo de graduación presentado por Carlos Andrés Escobar Méndez
para optar al grado académico de Licenciado en Ingeniería Mecatrónica

Guatemala,

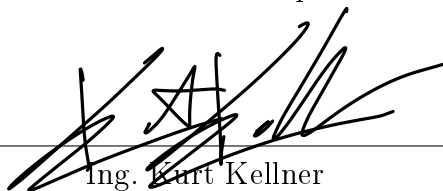
2025

Vo.Bo.:



(f)

M.Sc. Carlos Esquit



(f)

Ing. Kurt Kellner

Quiero agradecer en primera instancia a Dios, por permitirme estar en la universidad que soñé desde pequeño y estudiar la carrera que me puse como objetivo desde los 12 años.

Luego, a mi papá, por demostrarme que hay que ser esforzado y que es necesario pelear por lo que uno desea, Pagarme la U fue de los mejores regalos que me pudiste dar.

A mi mamá, por cuidarme toda mi niñez y adolescencia, dejando por un lado su vida profesional para que fuera la persona que soy hoy en día.

A mi hermana por decirme que sí podía (a veces con sarcasmo), a mis abuelos y tíos que siempre creyeron en mí.

Al Ing. Kurt Kellner, por asesorar mi trabajo de graduación.

A mi exjefe, Luís Acú, por permitirme flexibilidad de horario y la lógica para programar equipos industriales.

Prefacio	I
Índice de figuras	V
Resumen	VI
Abstract	VII
1. Introducción	1
2. Antecedentes	3
3. Justificación	5
4. Objetivos	7
4.1. Objetivo general	7
4.2. Objetivos específicos	7
5. Alcance	8
6. Marco teórico	9
6.1. Fundamentos de motores eléctricos	9
6.2. Dispositivos de maniobra y protección	14
6.3. Métodos de arranque de motores trifásicos	15
6.4. Ventajas y desventajas respecto a cada método	22
7. Proceso de selección de métodos de arranques	24
7.1. Selección de métodos de arranque de motores trifásicos	24
7.2. Dispositivos seleccionados	25
8. Diseño y validación de métodos elegidos	26
8.1. Diseño de diagramas eléctricos y dimensionamiento de equipos	26
8.2. Simulación de los diagramas eléctricos en CADESIMU	34

9. Diseño en CAD del panel didáctico	48
9.1. Modelado de equipos en inventor	48
9.2. Diseño de maletines y disposición de componentes	49
9.3. Integración de dispositivos en el panel	49
10.Pruebas preeliminares y documentación	55
10.1. Ensayos al vacío	55
11.Diseño y fabricación de ACM	62
11.1. Proveedor del ACM	62
12.Construcción, ensamblaje y cableado	65
12.1. Proveedor del maletín	65
12.2. Fondo para montaje de equipos	67
12.3. Cableado de dispositivos	75
13.Evaluación de funcionamiento y dispositivos de seguridad	82
13.1. Evaluación de funcionamiento de los diagramas cableados y diseñados	82
14.Elaboración de guías didácticas	88
14.1. Elaboración de guías de fundamentos	88
14.2. Elaboración de guías de funcionamiento	88
14.3. Elaboración de guías de programación	89
15.Conclusiones	90
16.Recomendaciones	91
17.Referencias	92

1.	Clasificación de motores trifásicos	10
2.	Carcasa de motor de jaula de ardilla	11
3.	Estator y rotor de motor jaula de ardilla	12
4.	Eje de motor jaula de ardilla	12
5.	Cojinete de motor jaula de ardilla	13
6.	Gráfica del torque inicial de un arranque directo	15
7.	Gráfica de aceleración según el tiempo	15
8.	Gráfica de voltaje nominal en el tiempo	16
9.	Gráfica de corriente nominal en el tiempo	16
10.	Gráfica del voltaje inicial en estrella-delta	17
11.	Gráfica de la corriente inicial en estrella-delta.	18
12.	Gráfica del torque inicial en estrella-delta	18
13.	Gráfica de aceleración inicial en estrella-Delta	19
14.	Gráfica de la corriente inicial en arranque suave	20
15.	Gráfica del voltaje inicial en arranque suave.	20
16.	Gráfica de comparación de corriente y torque en arranque directo, estrella-delta y arranque suave.	21
17.	Diagrama de mando y potencia arranque directo	27
18.	Diagrama de mando arranque estrella-delta	28
19.	Diagrama de potencia arranque estrella-delta	29
20.	Diagrama de mando y potencia arrancador suave	30
21.	Diagrama de mando y potencia variador de frecuencia	31
22.	Tabla de cable AWG según amperaje	33
23.	Simulación arranque directo en CADeSIMU función run	35
24.	Simulación arranque directo en CADeSIMU función stop	36
25.	Simulación arranque directo en CADeSIMU función falla.	37
26.	Simulación arranque estrella-delta run-estrella	38
27.	Simulación arranque estrella-delta run-delta	39
28.	Simulación arranque estrella-delta falla	40
29.	Simulación arranque estrella-delta stop	41
30.	Simulación por arrancador suave run forward	42
31.	Simulación por arrancador suave run backward	43

32.	Simulación por arrancador suave falla	44
33.	Simulación por arrancador suave stop	45
34.	Simulación por variador de frecuencia RUN Forward	46
35.	Simulación por variador de frecuencia run backward	47
36.	Panel didáctico maletín 1 - vista frontal	50
37.	Panel didáctico maletín 1 - vista General	51
38.	Panel didáctico maletín 2 - vista frontal	52
39.	Panel didáctico maletín 2 - vista General	53
40.	Panel didáctico maletín 2 provisional - Vista frontal	54
41.	Armado arranque directo al vacío	56
42.	Arrancador suave de 15Hp ATS 22	58
43.	Variador de frecuencia Schenider Easy ATV610	60
44.	Variador de frecuencia Schenider Easy ATV610	61
45.	ACM para el maletín 1 - arranque directo y vdf	63
46.	ACM para el maletín 2 - estrella-delta y arrancador suave.	64
47.	Maletín la bestia - Deltaboxgt	66
48.	Maquinando el fondo	68
49.	Placa maquinada resultado final	69
50.	Varillas instaladas en el maletín	70
51.	Varillas instaladas en el maletín con la placa.	71
52.	Variador de frecuencia instalado en la placa	72
53.	Transformador siemens de 300 VA instalado en la placa	73
54.	Transformador y Variador de Frecuencia instalado	74
55.	Etapas inicial de barrenado e instalación de sockets banana en el ACM	75
56.	Instalación de dispositivos de 22 mm	76
57.	Inicio de cableado de dispositivos de 22 mm.	77
58.	Mitad del proceso de cableado de dispositivos de 22 mm	78
59.	Cableado de señales de control del variador	79
60.	Proceso de cableado final con terminales dieléctricas	81
61.	Funcionamiento correcto run arranque directo	83
62.	Funcionamiento correcto paro arranque directo	84
63.	Funcionamiento correcto del variador de frecuencia	85
64.	Funcionamiento correcto del arranque estrella-delta señal run	86
65.	Funcionamiento correcto del arranque estrella-delta paro	87

En la clase de Automatización Industrial de la Universidad del Valle de Guatemala, existe la oportunidad de mejora en el método de enseñanza de los arranques de motores trifásicos, debido a que en cierta parte se genera una brecha entre la teoría y la aplicación industrial. Dado el uso extensivo de estos motores en la industria guatemalteca, reforzar el conocimiento práctico es esencial.

El objetivo de este proyecto fue reducir esta brecha mediante el diseño, construcción y validación de un panel didáctico funcional. La metodología, basada en principios de Ingeniería Aplicada, incluyó las fases de diseño eléctrico CAD, simulación de seguridad, fabricación modular y validación funcional. El panel fue construido para demostrar y operar los cuatro métodos de arranque más comunes: directo, estrella-delta, arrancador suave y variador de frecuencia.

Los resultados confirmaron la exitosa construcción y el preciso ensamblaje del panel didáctico funcional. Se validó la correcta operatividad y estabilidad de los cuatro métodos de arranque, incluyendo el arranque directo, junto con sus sistemas de seguridad. El panel, gracias a su portabilidad y versatilidad didáctica, se puede consolidar como una herramienta educativa efectiva para complementar la enseñanza práctica y fortalecer el aprendizaje en la industria.

Palabras clave: motores trifásicos, automatización industrial, variador de frecuencia, eficiencia energética.

In the Industrial Automation course at the Universidad del Valle de Guatemala, there is an opportunity for improvement in the teaching method for three-phase motor starting, as it partially creates a gap between theory and industrial application. Given the extensive use of these motors in Guatemalan industry, reinforcing practical knowledge is essential.

The objective of this project was to reduce this gap through the design, construction, and validation of a functional didactic panel. The methodology, based on applied engineering principles, included the phases of CAD electrical design, safety simulation, modular manufacturing, and functional validation. The panel was built to demonstrate and operate the four most common starting methods: direct, star-delta, soft starter, and frequency inverter.

The results confirmed the successful construction and precise assembly of the functional didactic panel. The correct operability and stability of the four starting methods, including direct starting, along with their safety systems, were validated. The panel, thanks to its portability and didactic versatility, can be established as an effective educational tool to complement practical teaching and strengthen learning in the industry.

Keywords: three-phase motors, industrial automation, frequency inverter, energy efficiency.

CAPÍTULO 1

Introducción

El estudio y control de motores eléctricos es fundamental en la industria, esto gracias a su amplia aplicación en sistemas de bombeo, ventilación, ascensores, bandas transportadoras y otras máquinas. Los motores trifásicos, específicamente los de inducción de jaula de ardilla, destacan por ser robustos, con bajo mantenimiento y versátiles, esto los convierte en la opción preferida para varias aplicaciones.

Arrancar correctamente y controlar estos motores es algo crítico, debido a que influye de manera directa en la eficiencia energética y la seguridad del mismo, además la vida útil de los componentes mecánicos y eléctricos van de la mano con la eficiencia. Entre los métodos de arranque más utilizados en la industria se encuentran el arranque directo, el arranque estrella-delta, arranque suave, arranque y control mediante variadores de frecuencia. Cada método ofrece características específicas, tanto ventajas como limitaciones, estas deben ser analizadas y comprendidas para garantizar un correcto funcionamiento.

El presente trabajo tiene como objetivo el diseño, selección y validación de los métodos comunes de motores trifásicos mediante un panel didáctico compuesto por mini paneles. Para esto, se llevó a cabo una investigación acerca de los diversos métodos de arranque, dispositivos de maniobra y protección, así como los parámetros eléctricos y mecánicos a tomar en cuenta.

A continuación, se diseñaron diagramas en Autocad y simulaciones en CADESIMU para validar su funcionamiento. Luego se desarrolló un modelo en CAD del panel didáctico, esto para su posterior fabricación y pruebas preliminares.

La finalidad de este proyecto no es solo demostrar el funcionamiento teórico y práctico de los diversos métodos de arranque, sino también ser un recurso educativo que sea sencillo de comprender y puede fortalecer los conocimientos de control y potencia de los motores trifásicos, promoviendo buenas prácticas de seguridad, eficiencia y mantenimiento.

Se aclara que se emplearon herramientas de inteligencia artificial únicamente como apoyo para mejorar la redacción y organizar la estructura de los capítulos. Dichas herramientas

sirvieron como guía y referencia, sin que se copiara contenido de manera literal.

Weg fortalece con una bancada didáctica para instituciones de Ensino

Exsto encontró deficiencias en la enseñanza promovida por las escuelas en el ámbito industrial, por esto mismo su finalidad y objetivo fue poder mejorar y fortalecer las mismas.

Por esto mismo, Exsto junto al uso de equipos de la marca WEG buscó crear kits de enseñanza para capacitación. Estos kits cuentan con paneles con módulos de arranque suave y por variadores de frecuencia.

El objetivo de Exsto junto a WEG fue “proporcionar experimentos electrotécnicos industriales prácticos, medidas eléctricas y automatización de procesos industriales” [1]. Exsto creó y realizó paneles con varios módulos que cubrían las necesidades de equipos como el arrancador suave, el variador de frecuencia. Esto se realizó bajo estructuras de aluminio donde los paneles tenían su respectivo diagrama para su mejor comprensión.

Dicho lo anterior, lo realizado por Exsto con los equipos WEG pasó a ser parte del programa de Weg STATIC, dando a entender que fue un proyecto exitoso y que ahora se usa para poder transmitir conocimientos en los laboratorios con estos kits [1].

Diseño y construcción de un banco didáctico para pruebas de motores monofásicos

Esta tesis menciona que la principal problemática encontrada en el laboratorio de máquinas eléctricas de la Universidad Politécnica Salesiana sede Guayaquil, no dispone de módulos de pruebas para motores monofásicos. Se comenta que la falta del banco limita las habilidades de los estudiantes para relacionar valores teóricos con los prácticos [2].

Lo que se buscó resolver con este proyecto fue la correcta comprensión y entendimiento de los conceptos teóricos con los prácticos, además de poder ampliar los conocimientos adquiridos en la materia de máquinas eléctricas.

Se buscó lograr esto por medio del diseño y la construcción de un banco didáctico el cual tiene enfoque para poder controlar motores monofásicos. Además, se elaboraron manuales de prácticas para uso de los estudiantes según se menciona en la tesis.

Según lo mencionado en la misma tesis, la fabricación fue exitosa, donde las pruebas dieron resultados positivos. Además se menciona que la aplicación de conocimientos básicos industriales fue exitosa [2].

Banco modular para el control y automatización de motores

Se menciona que los motores eléctricos son herramientas clave y fundamentales en casi todos los procesos que conllevan producción, transporte, ente otros.

Por esto mismo, se enfoque fue la correcta comprensión de los diferentes tipos de arranques en base a su eficiencia, además de la protección y control de los mismos.

Para poder lograr esto se diseñó y se presentó un banco de pruebas en formato modular y flexible, el cual permitía ajustar la potencia del motor requerido por el cliente que lo desee o la marca de los productos planteados [3].

En muchos campos, existe una brecha entre el conocimiento teórico y el conocimiento práctico. La teoría enseña conceptos, principios y la forma de analizar, pero no asegura que se pueda aplicar en la práctica. Por otra parte, el conocimiento práctico es el que permite aplicar lo conocido a un escenario real [4].

Para poder lograr el éxito es necesario poder reducir esta brecha entre el conocimiento teórico y el práctico, ya que el reducirla, indica que se pueden aplicar los conceptos al mundo Real.

En carreras como Ingeniería Mecatrónica, Electrónica, Mecánica-Eléctrica, la automatización es parte de una de las ramas en la cual un individuo se puede desarrollar. La automatización en los últimos 30 años ha tenido un gran salto e impacto en la tecnología y la producción. Desde sistemas que implementan apartados electromecánicos, hasta sistemas que utilizan sensores inteligentes [5].

Expuesto lo anterior, los motores trifásicos son un pilar en la industria y automatización. Estos, son una piedra angular en las operaciones industriales modernas; Los motores trifásicos, tienen una gran importancia en ámbitos tecnológicos, debido a que pueden perjudicar o beneficiar a la producción.

Los motores eléctricos se encuentran en todas partes, pueden estar en refrigeradoras, lavadoras, bandas transportadoras y hasta en maquinaria industrial. Básicamente, los motores eléctricos son la columna vertebral de una operación mecánica. Gracias a que pueden servir para prótesis, hasta alimentar un edificio entero con una bomba de agua.

Añadiendo, para aprender de motores eléctricos y ver su funcionamiento es posible utilizar simuladores para afianzar la teoría, también sirve para impulsar la investigación. Más el uso de simuladores, aunque ofrezca un entorno controlado, no asegura y garantiza que los conceptos queden afianzados [5].

Expandiendo lo anterior, la OIT señala que existen deficiencias en la formación técnica [6]. Los estudiantes egresados de carreras técnicas consideran que no han recibido suficiente información práctica en dispositivos y equipos utilizados comúnmente en la industria.

Por estas razones el presente trabajo de investigación presenta el diseño e implementación de un panel didáctico para los arranques comunes de motores trifásicos. Esto para fortalecer la parte técnica y así los individuos pueden comprender y entender de mejor manera como funciona cada método de arranque.

4.1. Objetivo general

Desarrollar un panel didáctico que facilite la enseñanza de los métodos de arranques de motores trifásicos.

4.2. Objetivos específicos

- Diseñar y realizar los planos eléctricos del panel didáctico.
- Diseñar el prototipo CAD del panel eléctrico para su posterior fabricación.
- Elaborar material didáctico complementario que amplie la información teórica y técnica relacionada con los arranques de motores, tanto ventajas como desventajas.
- Evaluar la funcionalidad y seguridad del equipo por medio del funcionamiento de los equipos de protección.

El presente trabajo tiene como objetivo el diseño, la construcción y validación de un panel didáctico el cual integre los métodos más comunes de la industria respecto a los motores trifásicos. Entre los métodos a integrar se encuentran los siguientes: arranque directo, delta-estrella, arranque suave y arranque y control por medio de variador de frecuencia.

El proyecto consistirá en la elaboración de planos eléctricos, simulaciones, un modelo CAD, material didáctico complementarios y pruebas de funcionamiento de los dispositivos de protección, esto con el fin de proporcionar un recurso práctico a los estudiantes para fortalecer el aprendizaje.

El alcance queda limitado a un prototipo funcional para fines académicos, sin contemplar la implementación industrial del sistema.

6.1. Fundamentos de motores eléctricos

6.1.1. Introducción a motores trifásicos

Los motores son dispositivos que pueden transformar la energía eléctrica a mecánica; Estos son utilizados mayormente para impulsar diversos equipos y son conectados a diversos elementos relacionados a instalaciones eléctricas. Estos pueden ser de corriente continua o corriente alterna. En corriente alterna pueden existir tanto monofásicos como trifásicos.

Respecto a los motores trifásicos (motores de corriente alterna alimentados por 3 fases) pueden ser tanto de inducción o asíncronos [7].

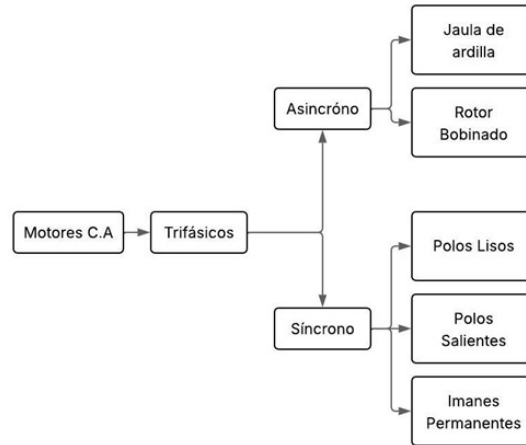
Dentro de la rama de los motores trifásicos, existen una gran variedad, algunos para aplicaciones mas específicas y otros para más aplicaciones generales. Mencionando algunas de las aplicaciones posibles con motores trifásicos tenemos las siguientes: Compresores, Bombas elevadoras de agua, bombas para caudal, ascensores hidráulicos o eléctricos, escaleras mecánicas, aires acondicionados, ventiladores, rampas, portones automáticos, etc [7].

Como se mencionó, estas aplicaciones pueden ser utilizadas tanto en edificaciones, industrias, hospitales, servicios, y otra gran variedad más [7].

6.1.2. Clasificación de motores trifásicos

Dentro de los motores trifásicos anteriormente, se encuentran la siguiente clasificación según la revista científica multidisciplinaria G-nerdo:

Figura 1. Clasificación de motores trifásicos



Nota. La imagen muestra la clasificación de los motores AC, fue obtenida de [8].

Los motores trifásicos utilizados más comunes son los asíncronos, siendo los de Jaula de ardilla los que tienen más presencia en la industria [8].

Por lo tanto, en este proyecto se trabajará en base a los motores asíncronos, específicamente los motores de jaula de ardilla. El principio, el cual se basa en que deben de alimentarse con corriente AC es el mismo tanto para los síncronos como asíncronos, además que los métodos de control tienden a ser con variadores de frecuencia; los cuales permiten asignar el tipo de motor con el que se trabajará para configurar internamente sus parámetros [8].

6.1.3. Construcción de motores trifásicos

Los motores trifásicos jaula de ardilla son ampliamente utilizados en diversas aplicaciones industriales hasta domésticas. Sus partes se dividen en las siguientes a mencionar:

Carcasa: es la estructura externa del motor, esta proporciona soporte y protege a los componentes internos del mismo. Puede estar fabricada tanto en hierro fundido como en acero.

Figura 2. Carcasa de motor de jaula de ardilla



Nota. La imagen muestra la carcasa de un motor de jaula de ardilla, fue obtenida de [9].

Estator: el inductor, llamado estator es la parte fija del motor la cual está compuesta por varias bobinas ya sea de cobre u otro material, esto alrededor de un núcleo de hierro laminado. Estas bobinas crean un campo magnético rotativo el cual es alimentado con corriente alterna.

Rotor: este es la parte móvil del motor dentro del estator. El rotor se conforma por barras de cobre y/u otro material, las cuales están cortocircuitadas en los extremos por medio de anillos conductores. Cuando el estator genera el campo magnético rotativo, corrientes son inducidas a las barras del rotor, por lo mismo se genera un torque que permite que se de el movimiento del motor [10].

Figura 3. Estator y rotor de motor jaula de ardilla



Nota. La imagen muestra el estator y el rotor de un motor de jaula de ardilla, fue obtenida de [11].

Eje: es una barra de metal la cual proviene desde el rotor, esta proporciona un soporte a los elementos giratorios del motor. El eje tiene conexión al rotor y permite el giro dentro del estator.

Figura 4. Eje de motor jaula de ardilla



Nota. La imagen muestra el Eje de un motor de jaula de ardilla, fue obtenida de [12].

Cojinetes: elementos de apoyo para el eje, estos permiten que rota suavemente y reducen la fricción, pueden tanto de bolas o rodillos.

Figura 5. Cojinete de motor jaula de ardilla



Nota. La imagen muestra el cojinete de un motor de jaula de ardilla, fue obtenida de [13].

Ventilador: la mayoría de motores de jaula de ardilla tienden a tener un ventilador montado en el extremo del eje, esto para poder funcionar a una temperatura adecuada. El ventilador, permite que el motor se enfríe y disipe el calor mientras opera.

6.2. Dispositivos de maniobra y protección

Los diversos métodos de arranques de motores trifásicos requieren dispositivos eléctricos, estos pueden controlar y proteger los mismos. Dentro de estos dispositivos se encuentran los más comunes, estos son los siguientes:

Contactores: es un relé electromagnético el cual está diseñado para poder abrir o cerrar un circuito de potencia. Este dispositivo tiene como fin controlar corrientes elevadas tales como las consumidas por un motor eléctrico. Su principal función es controlar una carga grande a distancia y de forma segura, utilizando una señal de control de voltaje menor [14].

Guardamotores: son dispositivos de protección los cuales se usan en sistemas eléctricos para la protección de motores eléctricos en contra de sobrecargas o cortocircuitos. Este dispositivo monitorea la corriente que fluye hacia el motor, y lo desconecta en caso la corriente sea anormal y pueda dañar al motor. El guardamotor abre el circuito cuando la corriente circula por el y es superior a la configurada, esto permite proteger al motor en sobrecargas altas.

Existen guardamotores con protecciones térmicas, lo cual permite monitorear la corriente hacia el motor y abrir el circuito si detecta sobre corriente en cierto tiempo, mientras que los guardamotores con protección magnética, aunque monitorean la corriente, abren el circuito si existe una sobrecarga o cortocircuito [15].

Pulsadores: pueden ser normalmente abiertos o cerrados, y permiten al usuario arrancar o detener un motor, siendo una señal de control.

Luces piloto: permiten indicar diversos estados del sistema según sea su color y su identificación, esto por medio de la iluminación.

Arrancador suave: los arrancadores suaves permiten un aumento de voltaje lento, para poder disminuir los shocks mecánicos y el pico de la demanda eléctrica. Estos dispositivos son sencillos de utilizar, compactos y robustos, los cuales permiten el control del torque, aceleración, desaceleración, comunicación con equipos inteligentes y elección de la curva de corriente de arranque [16].

Variadores de frecuencia: son dispositivos que permiten una combinación fiable y segura para controlar un motor. Según su categoría pueden usarse para diversas aplicaciones, tanto procesos industriales, maquinaria o edificios. Estos dispositivos permiten controlar la velocidad de manera precisa, aumentarla o disminuirla; Permitiendo ahorrar considerablemente costos de energía y favoreciendo a la eficiencia energética, debido a que ahorra energía y reduce costos de energía a largo plazo.

Los variadores de frecuencia reducen la tensión mecánica en el motor, debido a que prolongan la vida útil del mismo y reducen la necesidad de ser reemplazado. El control de velocidad tal como se describió en la sección anterior es otro plus al VFD, debido a que los operarios pueden mantener una velocidad constante y ajustarla según la necesidad. Esto mejora la precisión durante la producción.

El ruido eléctrico reducido es otro factor a tomar en cuenta, debido a que como el motor tiene un control más preciso, se reduce la interferencia electromagnética en otros equipos. Además, permite tener un mayor control en los procesos de producción y reduce el tiempo

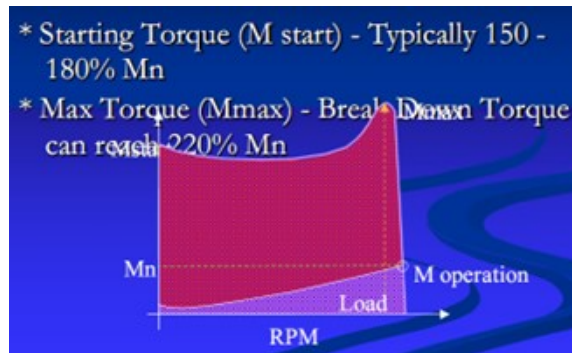
de inactividad y mantenimiento del motor [17].

6.3. Métodos de arranque de motores trifásicos

6.3.1. Arranque directo

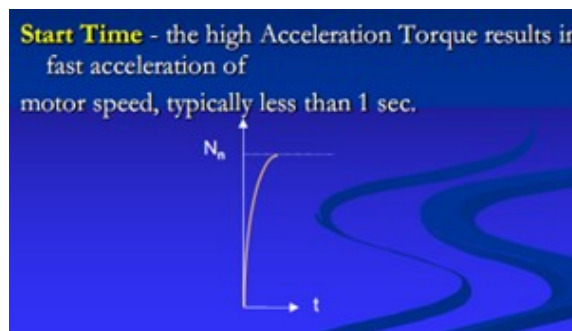
El arranque directo se basa en poder conectar de forma directa el devanado del estator del motor a la red trifásica, esto genera que el torque inicial sea elevado, pero el tiempo de arranque es mucho menor, además que es el método más simple y económico [18].

Figura 6. Gráfica del torque inicial de un arranque directo



Nota. La imagen muestra la curva del torque inicial en Nm, donde típicamente alcanza un valor 150 % a 180 %, mas es posible que la curva alcanza un valor de hasta 220 % Nm [19].

Figura 7. Gráfica de aceleración según el tiempo



Nota. La imagen demuestra qué tan rápido arranca el motor en el tiempo, siendo en este caso en menos de 1 segundo [19].

Como se mencionó previamente, la corriente puede elevarse entre 5 a 8 veces la corriente nominal de arrancar el motor con el voltaje nominal. Es decir, en un arranque directo se puede inducir el voltaje de manera inmediata, dando un tiempo de respuesta menor a 1 s,

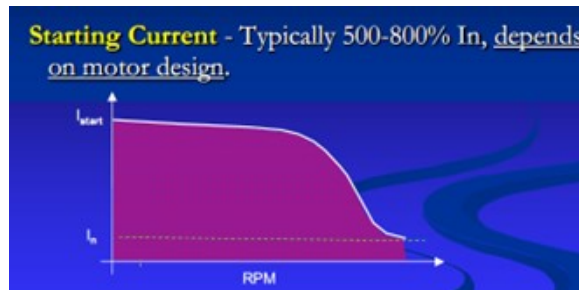
pero sacrificando eficiencia energética, elevando el torque y desgastando los componentes de manera rápida [18].

Figura 8. Gráfica de voltaje nominal en el tiempo



Nota. La imagen demuestra como el voltaje nominal se induce casi de inmediato en el motor respecto al tiempo [19].

Figura 9. Gráfica de corriente nominal en el tiempo



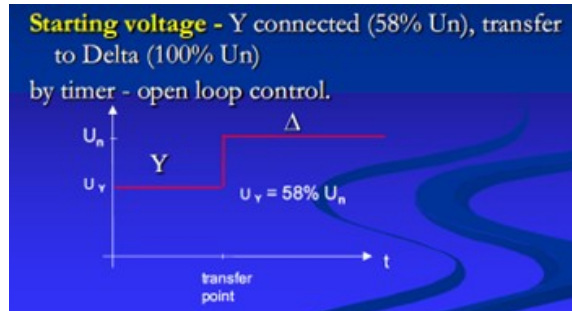
Nota. La imagen muestra la curva de la corriente en el tiempo, donde la misma puede alcanzar valores entre 5 a 8 veces la corriente nominal. [19].

Además, un arranque directo puede generar shock mecánicos, que pueden desgastar o arruinar el sistema según la aplicación.

6.3.2. Arranque estrella-delta

El arranque delta – estrella, se debe realizar configurando la red trifásica en forma estrella, esto permite iniciar con un nivel de voltaje menor, debido a que una configuración delta se caracteriza por tener menor voltaje nominal a una configuración delta.

Figura 10. Gráfica del voltaje inicial en estrella-delta

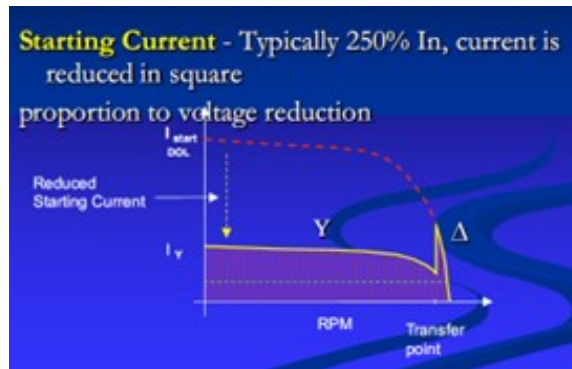


Nota. La imagen muestra la curva del voltaje inicial donde en delta empieza con un voltaje del 58 % del voltaje nominal, mientras que luego de cierto tiempo establecido alcanza 100 % [19].

Luego de tener unos segundos el motor con voltaje en estrella es necesario configurar la red a delta, para poder alcanzar el voltaje nominal del motor, pero con un menor esfuerzo mecánico inicial, menor corriente y mejor eficiencia energética que un arranque directo. Es decir, el arranque estrella delta reduce el impacto en la red eléctrica.

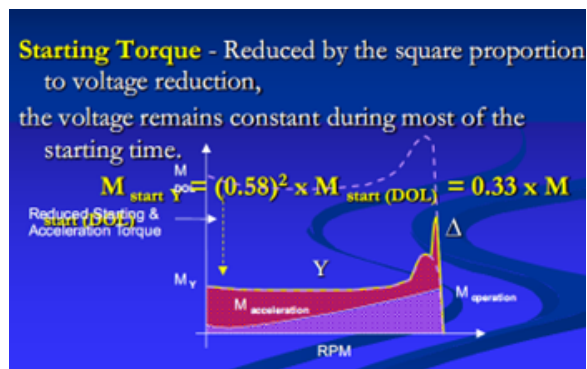
Este tipo de arranque es denominado como descompresión estrella-triángulo, debido a que la corriente de arranque es $1/3$ de la corriente original en delta. Es decir, el arranque estrella-delta permite limitar la corriente de 2 a 3 veces la corriente nominal. Además, permite reducir el torque a $1/3$ del arranque original en delta, lo que permite reducir el esfuerzo mecánico y reducir el shock mecánico, dando como resultado un tiempo de vida mucho mayor a los componentes acoplados y al motor.

Figura 11. Gráfica de la corriente inicial en estrella-delta.



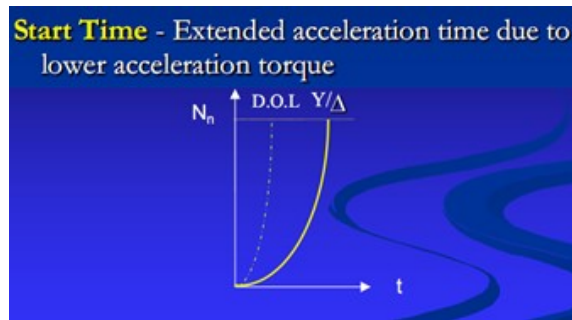
Nota. La imagen muestra la curva de la corriente inicial muestra un valor de un 250 % menos que en configuración delta, y luego cuando la red pasa a configuración estrella aunque se eleva el pico de corriente un poco, no alcanza los valores entre 5 a 8 veces la corriente nominal [19].

Figura 12. Gráfica del torque inicial en estrella-delta



Nota. La imagen muestra la curva del torque en un arranque estrella-delta, donde el valor del torque en estrella es $(0.58)^2$ del torque inicial en configuración directa. El valor del torque incrementa un poco cuando cambia de configuración a delta, pero no llega a ser el torque total presentado en arranque directo [19].

Figura 13. Gráfica de aceleración inicial en estrella-Delta



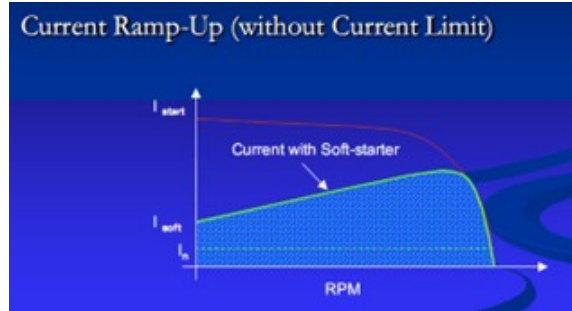
Nota. La imagen muestra la aceleración en el tiempo de un arranque delta-estrella, donde el tiempo de arranque se incrementa, pero para disminuir el impacto mecánico y mejorar la eficiencia energética [19].

También incrementa el tiempo de arranque, esto debido a que se realiza con diversos voltajes [18]. Respecto al arranque directo, el arranque estrella-delta tiende a tener un costo mucho mayor, debido a que utiliza muchos más componentes, pero sigue siendo una solución sencilla y económica debido a que se usan componentes sencillos.

6.3.3. Arranque suave

Un arranque por arrancador suave permite tener una aceleración de forma gradual y un paro controlado sin sobrecargas de la red o desgastes en el motor. Esto se debe a que este método permite regular la tensión que se suministra, debido a que lo realiza de forma paulatina, hasta llegar al voltaje nominal de funcionamiento. Es decir, el arrancador suave limita la corriente de arranque consumida por el motor, además de reducir el torque inicial.

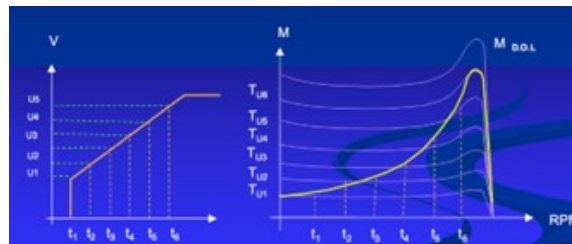
Figura 14. Gráfica de la corriente inicial en arranque suave



Nota. La imagen muestra la corriente en un arranque suave, donde esta es menor que la corriente en estrella-delta y en arranque directo, más sigue siendo un poco mayor a su corriente nominal. La corriente en arranque suave se nivela a su corriente nominal luego de cierto tiempo, cuando alcanza sus RPM máximas [19].

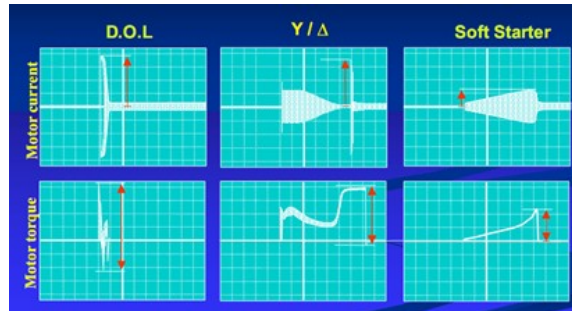
Este tipo de arranque permite optimizar recursos a largo plazo, debido a que el shock mecánico es nulo, además que el motor no sufre picos de corriente o estrés mecánico. Si bien es cierto que es una aplicación que presenta un costo inicial más elevado, a largo plazo genera una mayor eficiencia energética que el arranque directo o el estrella-delta.

Figura 15. Gráfica del voltaje inicial en arranque suave



Nota. La imagen muestra la curva del voltaje en el tiempo, donde empieza en cierto valor y va incrementado por rampas hasta su voltaje nominal [19].

Figura 16. Gráfica de comparación de corriente y torque en arranque directo, estrella-delta y arranque suave



Nota. La imagen muestra la comparación entre la corriente y el torque en los 3 métodos, donde se puede apreciar que a diferencia de los otros 2 métodos, el arranque suave mantiene la corriente progresiva, además que el torque inicial es de la misma manera [19].

Es importante mencionar que, este tipo de arranque permite controlar la aceleración y desaceleración de un motor, mas es necesario programar el arrancador suave y definir que tipo de curva se desea [20].

6.3.4. Arranque y control por medio de variador de frecuencia

El arranque por variador de frecuencia permite convertir corriente alterna a directa, y luego simular una corriente alterna de nuevo a frecuencia variable. Debido a que la velocidad del motor es directamente dependiente de la frecuencia inducida, este además permite controlar a voluntad la velocidad del motor según se desee.

Durante un arranque por variador de frecuencia, el variador incrementa la frecuencia de manera gradual, empezando desde 0 Hz hasta 50 o 60 Hz según sea norma IEC o NEMA. Si se es más específico, un variador de frecuencia permite configurar diversas velocidades instantáneas, controlando el torque y la corriente consumida por el motor.

Además, permite llevar el motor a su voltaje y corriente nominal o menor, generando una eficiencia energética mucho mayor a los 3 métodos previamente mencionados. Este método es el más costoso, debido a que el variador de frecuencia lleva electrónica especializada, además que es necesario capacitarse para poder programar dicho equipo [21].

A largo plazo es el mejor método a nivel de control, debido a que se modula mejor la corriente, el voltaje, la velocidad y el torque; esto se traduce en menor esfuerzo mecánico, control específico de motores y un alargamiento de vida útil en el sistema, debido a que no tiene desgaste acelerado como los otros métodos.

6.4. Ventajas y desventajas respecto a cada método

6.4.1. Arranque directo

- Ventajas:
 - Costo inicial bajo
 - Instalación simple
- Desventajas:
 - Corriente de arranque alta entre 5 a 8 veces la nominal
 - Esfuerzos mecánicos altos
 - Reducción de vida útil de los elementos mecánicos

6.4.2. Arranque estrella-delta

- Ventajas:
 - Costo inicial bajo
 - Menor shock mecánico
 - Reduce la corriente de arranque de 2 a 3 veces la corriente nominal
- Desventajas:
 - Menor torque inicial

No apto para cargas pesadas

Se requiere mas espacio y mas componentes

No todos los motores son aptos para este método de arranque

6.4.3. Arranque suave

- Ventajas:

Control gradual del voltaje

Reduce desgaste mecánico

Prolonga la vida útil

Rampas de aceleración y desaceleración configurable

- Desventajas:

Mayor costo a un arranque estrella-delta y directo

Requiere conocimientos de programación

Limita el control de la velocidad

6.4.4. Arranque y control por medio de variador de frecuencia

- Ventajas:

Control total y preciso de la velocidad

Control del torque

Máxima eficiencia energética a diferencia de los métodos previamente mencionados

Protección contra diversas condiciones

Prolongación de vida útil de elementos mecánicos y del motor

- Desventajas:

Costo inicial elevado

Mayor complejidad en instalación

Puede generar armónicos

En ciertas aplicaciones es necesario utilizar filtros de armónicos

Cómo se puede apreciar, el arranque directo sigue siendo la solución más económica, el estrella-delta es un método intermedio confiable, mientras que los arrancadores suaves y variadores de frecuencia, aunque incrementan el costo, permiten una mejor protección y eficiencia energética a largo plazo.

Proceso de selección de métodos de arranques

7.1. Selección de métodos de arranque de motores trifásicos

Para un correcto diseño y selección de los métodos a utilizar, fue necesario realizar una investigación previa en diversas fuentes de información para poder seleccionar las de mayor influencia.

Una de las fuentes investigadas fue de un fabricante de motores como es DAFA, En su publicación diferentes métodos de arranque del motor eléctrico menciona varios, entre ellos el arranque directo, arranque estrella-triángulo, arranque con variador, arranque suave. Cada método fue analizado y considerado según sus características principales, ventajas, desventajas y sus aplicaciones.

Se consideraron datos relevantes de cada método, como torque inicial, aceleración, eficiencia energética, lo cual serviría como base para diseño del panel.

Adicionalmente, se consultaron fuentes técnicas de fabricantes como Schneider Electric y Donghun motor, con el objetivo de complementar información y garantizar confiabilidad de datos. Esto permitió:

- Comprender las diferencias de los métodos de arranque.
- Identificar que métodos son mas adecuados para su implementación.
- Determinar que parámetros de diseño y qué dispositivos de maniobra y control fueron necesarios.

7.2. Dispositivos seleccionados

Para poder diseñar el panel fue necesario elegir ciertos dispositivos, dentro de los seleccionados se encuentran los siguientes:

- Contactores: permitirán el paso del voltaje para diversos métodos.
- Guardamotor: protegerá al motor de sobrecorrientes.
- Miniautomático: abrirá el circuito de superar la corriente establecida.
- Transformador: permitirá hacer el cambio de voltaje para la alimentación del variador.
- Pulsadores: permitirán encender y apagar el circuito, también dar la señal de mando u otras acciones según la programación del arrancador o variador.
- Arrancador suave: alimentará al motor de manera progresiva y se podrá programar.
- Variador de frecuencia: Permitirá variar la frecuencia del motor, además de alimentarlo y realizar diversas aplicaciones por medio de la programación.
- Cable AWG 18: permitirá conectar a los dispositivos y transmitir el voltaje y la corriente.
- Socket bananas: permitirán colocar cables banana-banana para conectar según lo deseado.
- Cables banana-banana: permitirán la interconexión de diversos equipos.
- Espiga: permitirá transmitir los 120 V de la red para poder alimentar el circuito de control de los métodos de arranque.

Estos componentes, de la mano con la investigación previa, permitirán diseñar, dimensionar y seleccionar los componentes eléctricos, para posteriormente simularlos y proceder a su armado. Esto asegurará que el panel didáctico demuestre los funcionamientos de manera segura y efectiva.

8.1. Diseño de diagramas eléctricos y dimensionamiento de equipos

Realizada la investigación sobre los métodos de arranque de motores y seleccionados tentativamente los dispositivos a utilizar, el siguiente paso consistió en diseñar los diagramas eléctricos del panel didácticos, dimensionando capacidades de los equipos eléctricos necesarios para cada método. Se desarrollo como se detallará a continuación.

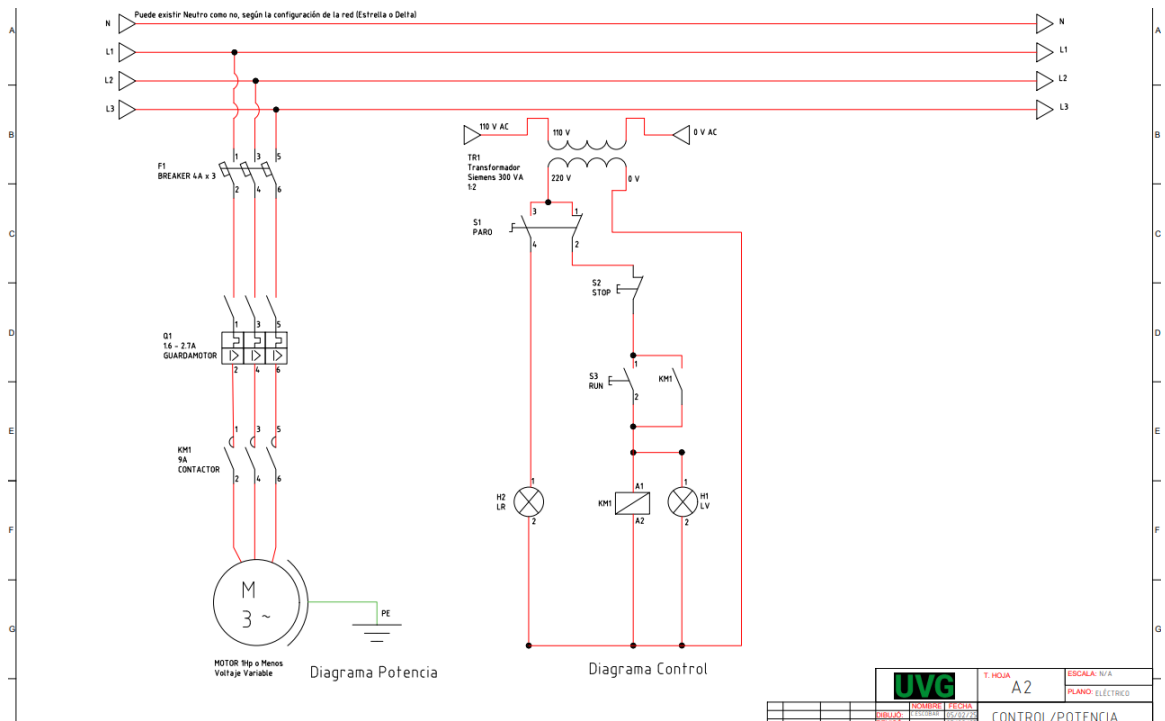
8.1.1. Diseño de Diagramas en AutoCAD

Se realizaron diagramas eléctricos tentativos como base para planificar las conexiones y la distribución de los dispositivos dentro de su panel. Para esto se elaboraron diagramas esquemáticos de cada método de arranque (directo, estrella-delta, suave, VDF), esto para determinar la posición de cada dispositivo. Además se definieron los puntos de conexión y rutas de cableado para cada método, esto considerando la seguridad eléctrica y la facilidad para su posterior montaje.

Es importante mencionar que, para cada método se realizó su diagrama de control y potencia, esto debido a que el control es el encargado de manejar las señales del sistema, mientras que la potencia la encargada de alimentar la parte de fuerza del mismo.

Arranque directo:

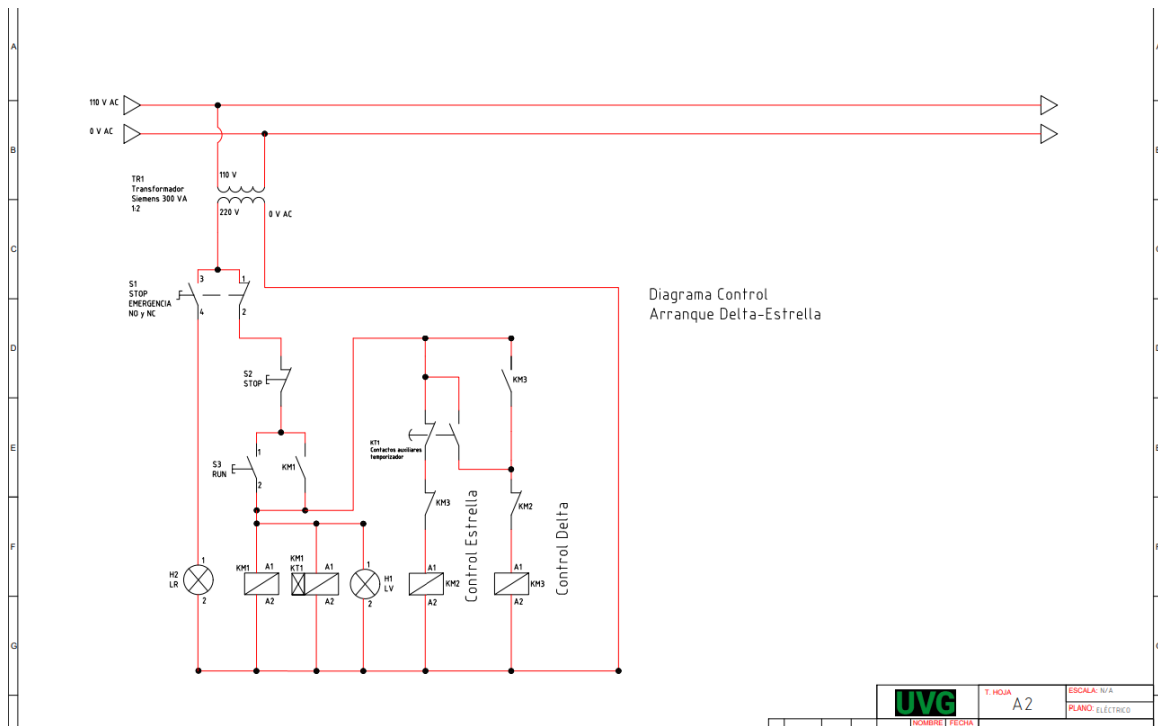
Figura 17. Diagrama de mando y potencia arranque directo



Nota. El presente diagrama tiene como objetivo arrancar un motor vía un arranque directo, donde se utilizan pulsadores para accionar y parar el sistema vía contactor.

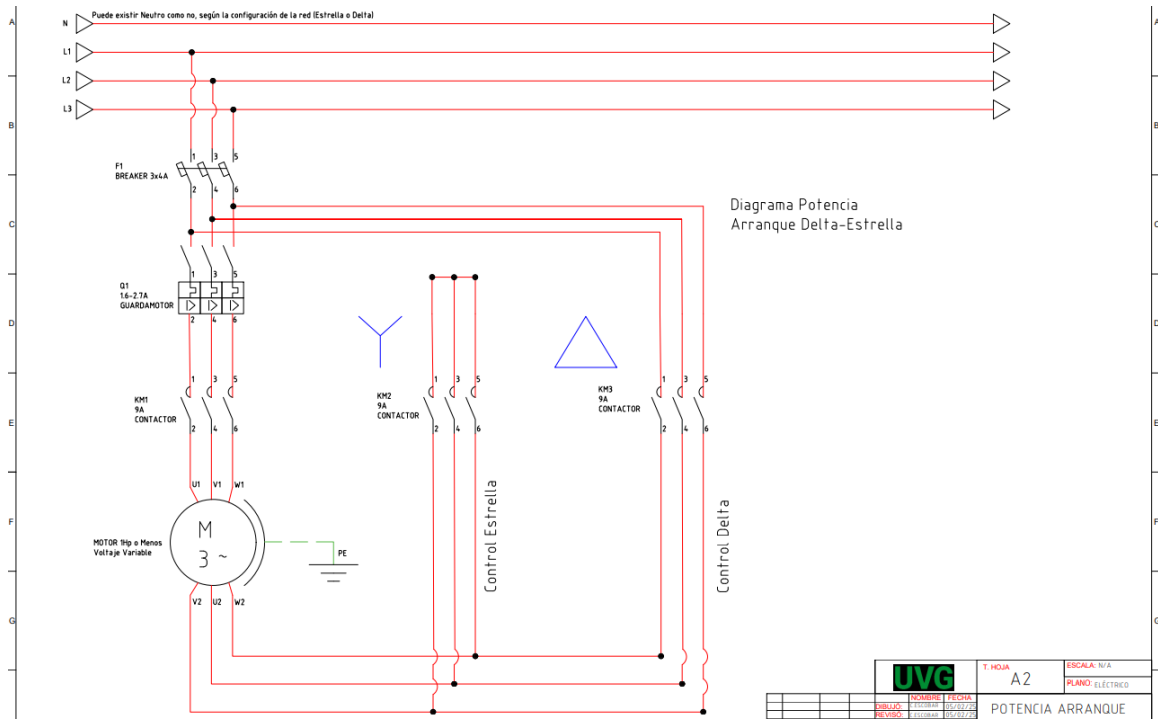
Arranque estrella - delta:

Figura 18. Diagrama de mando arranque estrella-delta



Nota. El presente diagrama tiene como objetivo arrancar un motor vía un arranque estrella-delta, donde al igual que el arranque directo, se acciona vía pulsadores, con la diferencia que existe un dispositivo de control llamado relé con retardo a la desconexión, el cual realiza el cambio de configuración de red de forma automática.

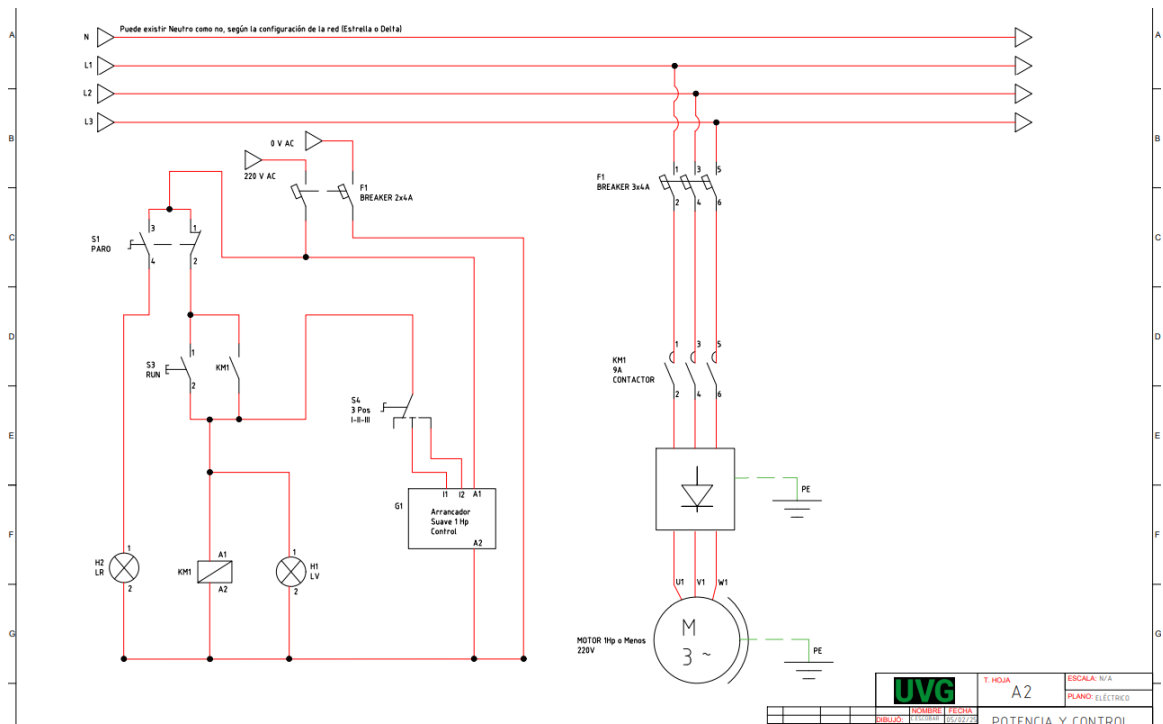
Figura 19. Diagrama de potencia arranque estrella-delta



Nota. El presente diagrama tiene como objetivo de arrancar un motor vía un arranque estrella-delta, en este caso corresponde al diagrama de potencia, la cual cambia su configuración luego del tiempo de retardo para realizar el arranque. La intención de realizar este cambio en la configuración de red, es debido a que se desea arrancar en un voltaje menor, reduciendo la corriente de arranque.

Arranque por arrancador suave:

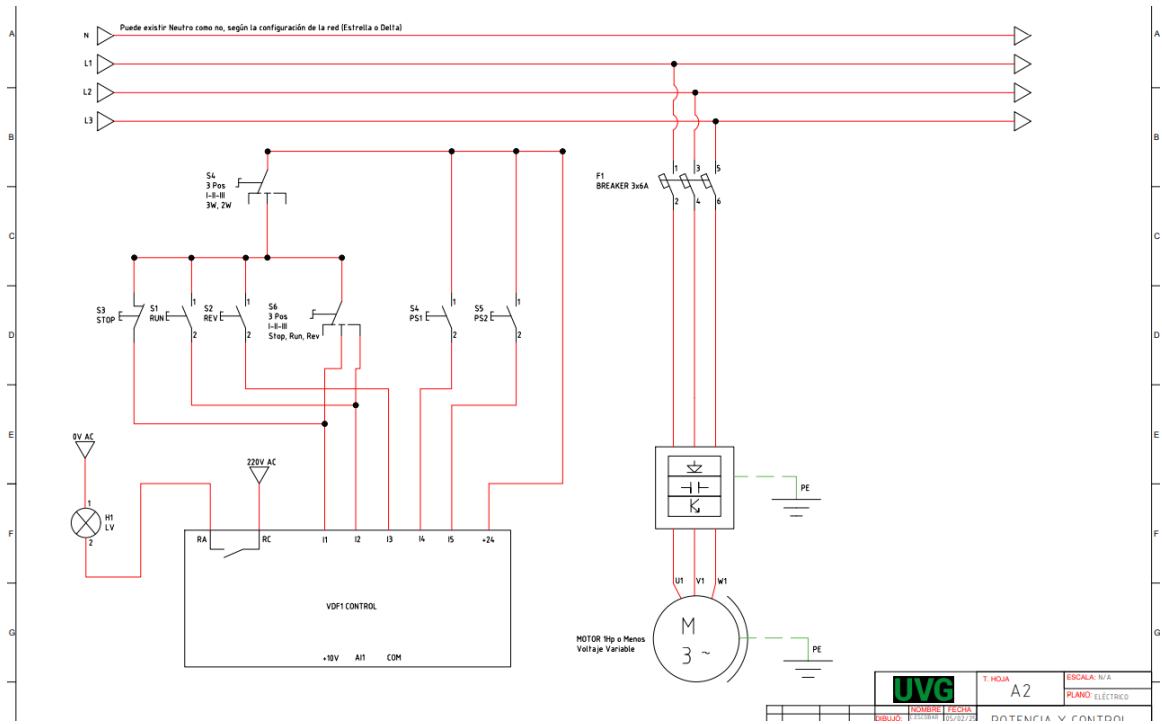
Figura 20. Diagrama de mando y potencia arrancador suave



Nota. El presente diagrama tiene como objetivo arrancar un motor vía arrancador suave, el cual como se puede apreciar, se puede arrancar tanto con selector como con botones, esto según la programación que se le haya asignado al mismo.

Arranque por variador de frecuencia:

Figura 21. Diagrama de mando y potencia variador de frecuencia



Nota. El presente diagrama tiene como objetivo arrancar un motor vía variador de frecuencia, cabe mencionar que se puede alimentar al variador por medio de 2 fases, pero el torque disminuiría.

En este diagrama se dejaron las conexiones preestablecidas para poder realizar los arranques según la programación realizada, ya sea por botones o selectores.

8.1.2. Dimensionamiento de equipos eléctricos

Con los diagramas definidos y los equipos a utilizar, fue necesario dimensionar los equipos y dispositivos para garantizar que cada componente pueda soportar la corriente nominal y los picos de arranque de los motores, para ello se tomó ciertas consideraciones en cada componente a continuación:

- Contactores: estos se seleccionaron según la corriente nominal del motor a utilizar, como el motor no supera 1 Hp, seleccionar un contactor de 9A a máximo 440 V es mas que suficiente para que soporte la corriente, como voltaje.
- Guardamotors y miniautomáticos: estos se utilizaron para proteger al motor frente a sobrecorrientes y cortocircuitos, se empleará la marca Scheider Electric y se dimensionó un miniautomático de 3 polos x 4A, debido a que si existe un cortocuito este abrirá el contacto, también se eligió un guardamotor para proteger al motor frente a sobrecorrientes, debido a que si la corriente supera la corriente definida en el guardamotor de 1.6-2.2A, también abrirá el circuito. Es importante mencionar que, estos dispositivos soportan durante cierto tiempo la corriente del arranque directo y delta estrella, debido a que tienen cierta curva de disparo para evitar que se accionen cuando existen picos de arranque pequeños.
- Arrancador suave y variador de frecuencia: Estos servirán para configurar los parámetros de torque, corriente según el motor a utilizar, además se podrá controlar el voltaje de suministro al arrancar y evitar sobrecargas en la puesta en marcha. Se utilizará un variador ATV320 de 1 Hp y un arrancador suave Altistart 22 de 1 Hp de la marca Schneider Electric.
- Transformador y conductores: Estos se dimensionaron para asegurar que la tensión suministrada fuera la correcta y no existiera peligro de sobrecalentamiento o en el pero caso, que se queme el componente. Para esto se utilizó la tabla de AWG y el calibre mínimo deberá de ser No. 18, esto debido a que soporta hasta 2.3 Amperios, y el transformador deberá de ser de al menos 300 VA para que no existan caídas de tensión.

Figura 22. Tabla de cable AWG según amperaje

AWG	Diameter [Inches]	Diameter [mm]	Area [mm ²]	Resistance [Ohms / 1000 ft]	Resistance [Ohms / km]	Max Current [Amperes]	Max Frequency for 100% skin depth
0000 (4/0)	0.46	11.684	107	0.049	0.16072	302	125 Hz
000 (3/0)	0.4096	10.40384	85	0.0618	0.202704	239	160 Hz
00 (2/0)	0.3648	9.26592	67.4	0.0779	0.255512	190	200 Hz
0 (1/0)	0.3249	8.25246	53.5	0.0983	0.322424	150	250 Hz
1	0.2893	7.34822	42.4	0.1239	0.406392	119	325 Hz
2	0.2576	6.54304	33.6	0.1563	0.512664	94	410 Hz
3	0.2294	5.82676	26.7	0.197	0.64616	75	500 Hz
4	0.2043	5.18922	21.2	0.2485	0.81508	60	650 Hz
5	0.1819	4.62026	16.8	0.3133	1.027624	47	810 Hz
6	0.162	4.1148	13.3	0.3951	1.295928	37	1100 Hz
7	0.1443	3.66522	10.5	0.4982	1.634096	30	1300 Hz
8	0.1285	3.2639	8.37	0.6282	2.060496	24	1650 Hz
9	0.1144	2.90576	6.63	0.7921	2.598088	19	2050 Hz
10	0.1019	2.58826	5.26	0.9989	3.276392	15	2600 Hz
11	0.0907	2.30378	4.17	1.26	4.1328	12	3200 Hz
12	0.0808	2.05232	3.31	1.588	5.20864	9.3	4150 Hz
13	0.072	1.8288	2.62	2.003	6.56984	7.4	5300 Hz
14	0.0641	1.62814	2.08	2.525	8.282	5.9	6700 Hz
15	0.0571	1.45034	1.65	3.184	10.44352	4.7	8250 Hz
16	0.0508	1.29032	1.31	4.016	13.17248	3.7	11 k Hz
17	0.0453	1.15062	1.04	5.064	16.60992	2.9	13 k Hz
18	0.0403	1.02362	0.823	6.385	20.9428	2.3	17 kHz
19	0.0359	0.91186	0.653	8.051	26.40728	1.8	21 kHz
20	0.032	0.8128	0.518	10.15	33.292	1.5	27 kHz
21	0.0285	0.7239	0.41	12.8	41.984	1.2	33 kHz
22	0.0254	0.64516	0.326	16.14	52.9392	0.92	42 kHz
23	0.0226	0.57404	0.258	20.36	66.7808	0.729	53 kHz
24	0.0201	0.51054	0.205	25.67	84.1976	0.577	68 kHz
25	0.0179	0.45466	0.162	32.37	106.1736	0.457	85 kHz
26	0.0159	0.40386	0.129	40.81	133.8568	0.361	107 kHz
27	0.0142	0.36068	0.102	51.47	168.8216	0.288	130 kHz

Nota. La imagen muestra la tabla AWG para cables, donde indica el calibre y el amperaje. En este caso se seleccionó el calibre 18, el cual soporta 2.3 amperios, el cual es mas que suficiente para este panel.

Durante el procesodo de dimensionamiento se realizaron verificaciones cruzadas entre los diagramas y los cálculos de dimensionamiento, esto para garantizar la seguridad del sistema.

8.2. Simulación de los diagramas eléctricos en CADESIMU

Con los diagramas eléctricos realizados en AutoCAD, se procedió a realizar la validación mediante simulación en software, en este caso CADESIMU. Esta herramienta permitió comprobar el funcionamiento lógico del control y la potencia diseñada. Además, se lograron observar ciertos errores de diseño, por lo que fue una gran ayuda para corregir los errores o funcionamientos no deseados.

La simulación se realizó de la siguiente manera:

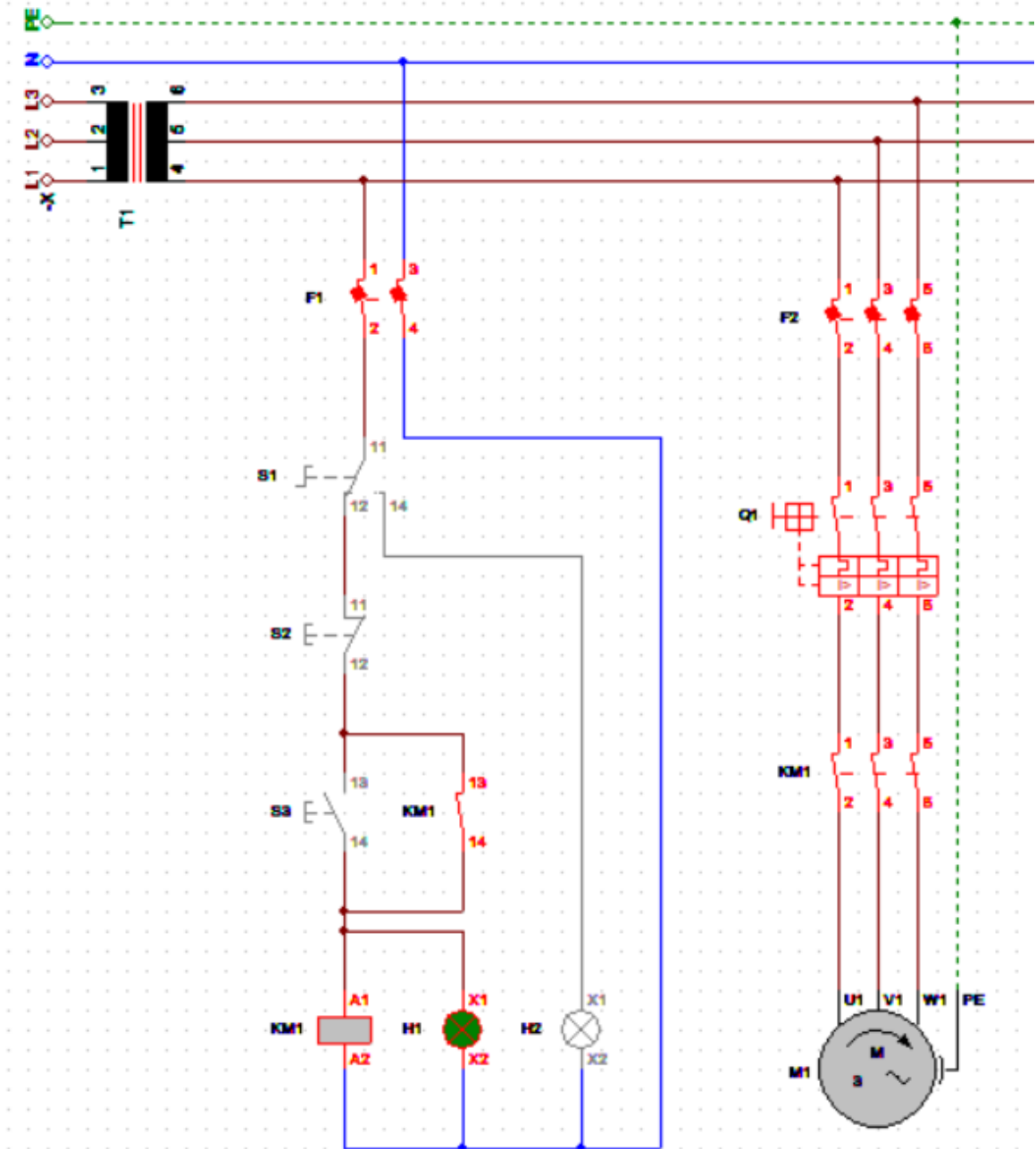
- Modelado de Circuitos: en CADESIMU los diagramas realizados en autocad se incorporaron a al software de simulación, tomando en cuenta dispositivos como contactores, guardamotores, pulsadores, relés, luces piloto, etc.
- Pruebas de arranque: se realizaron diversas simulaciones individuales para cada método de arranque, esto para observar el comportamiento del motor y si el control estaba bien planteado.
- Validación de protecciones: se verificó la respuesta de los paros de emergencia, esto para asegurar el corte de energía en caso que exista alguna situación adversa.
- Evaluación de maniobras de control: se probaron los pulsadores y las señales que estos conllevaban, así asegurando las conexiones, y los señales de run y stop según lo diseñado. Lo observado en esta etapa fue lo siguiente:
- Los diagramas fueron corregidos para su correcto funcionamiento según cada arranque.
- Se identificaron ajustes necesarios para el funcionamiento deseado.

Es decir, la simulación en CADESIMU permitió controlar y observar la etapa de validación de los diagramas diseñados, esto para reducir errores en la implementación física y así asegurando mayor seguridad en cada método de arranque.

A continuación se mostrará cada diagrama simulado, donde se dará una breve explicación de lo realizado.

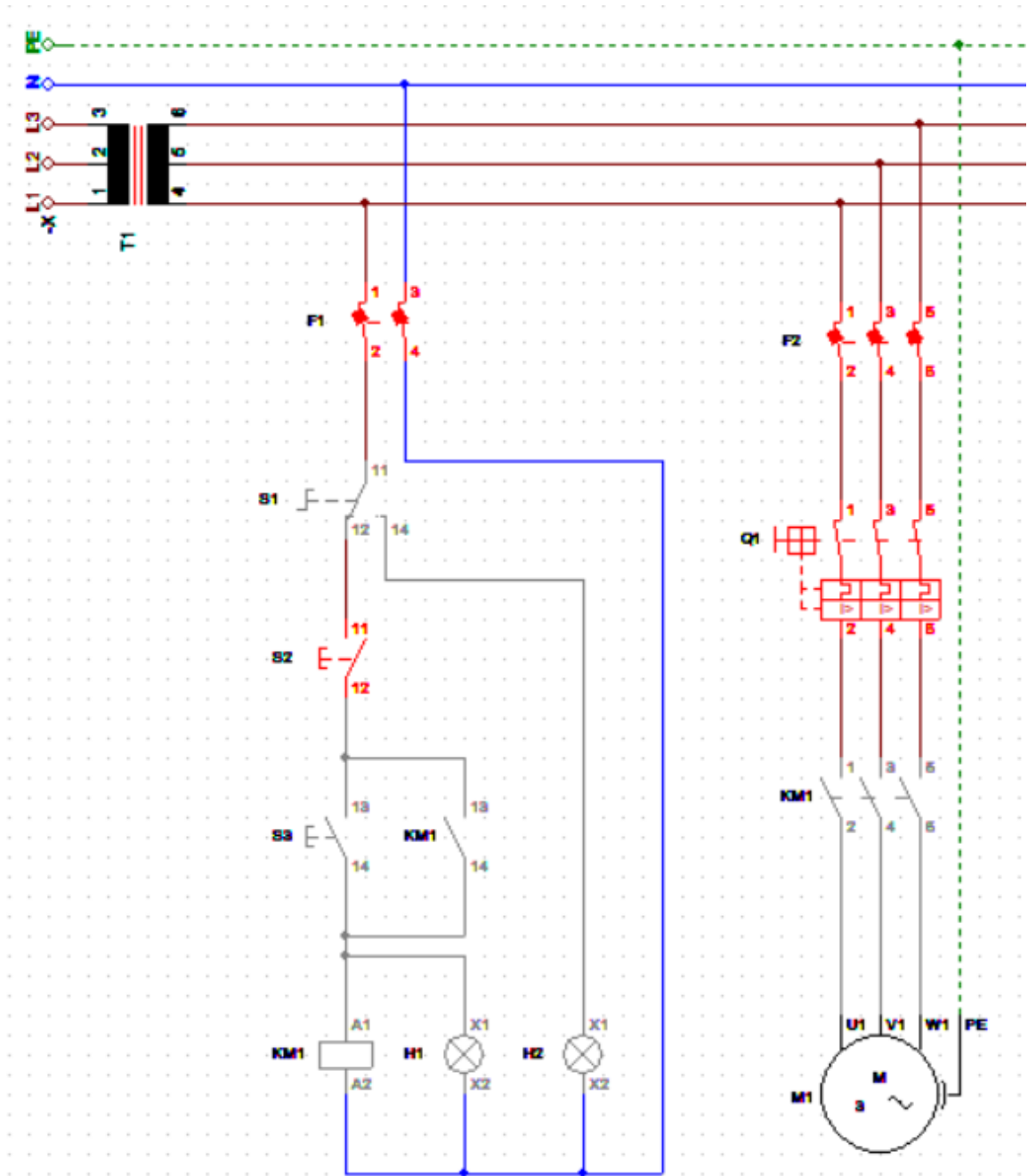
8.2.1. Arranque directo

Figura 23. Simulación arranque directo en CADeSIMU función run



Nota. El diagrama presentado muestra el funcionamiento del arranque directo diseñado, donde al presionar el pulsador Run, enclava el contactor lo que permite que el motor arranque. La Luz piloto verde es un indicador del funcionamiento en marcha.

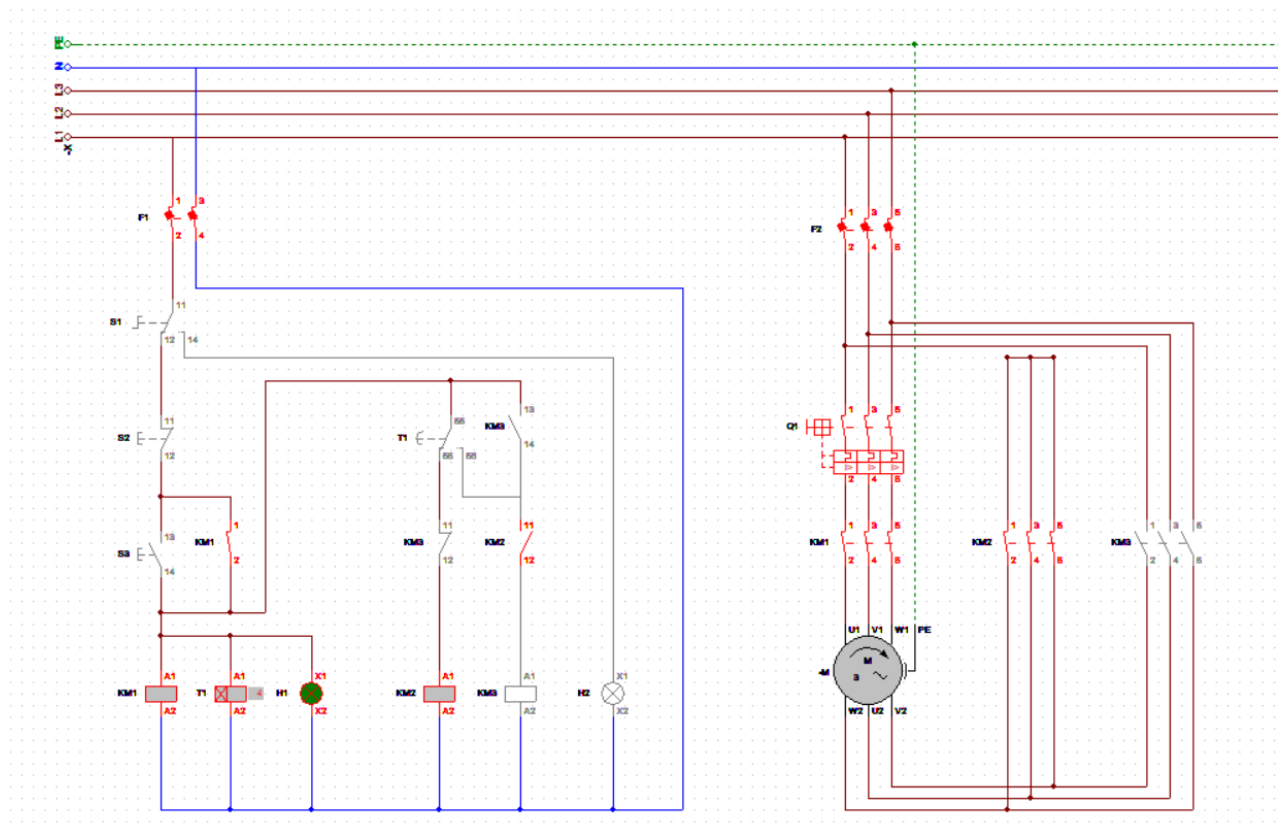
Figura 25. Simulación arranque directo en CAdESIMU función falla



Nota. El diagrama presentado muestra el funcionamiento del arranque directo diseñado, donde al presionar el paro de emergencia, al ser un contacto NC, abre el circuito de mando, impidiendo que la potencia llegue al motor por los contactores.

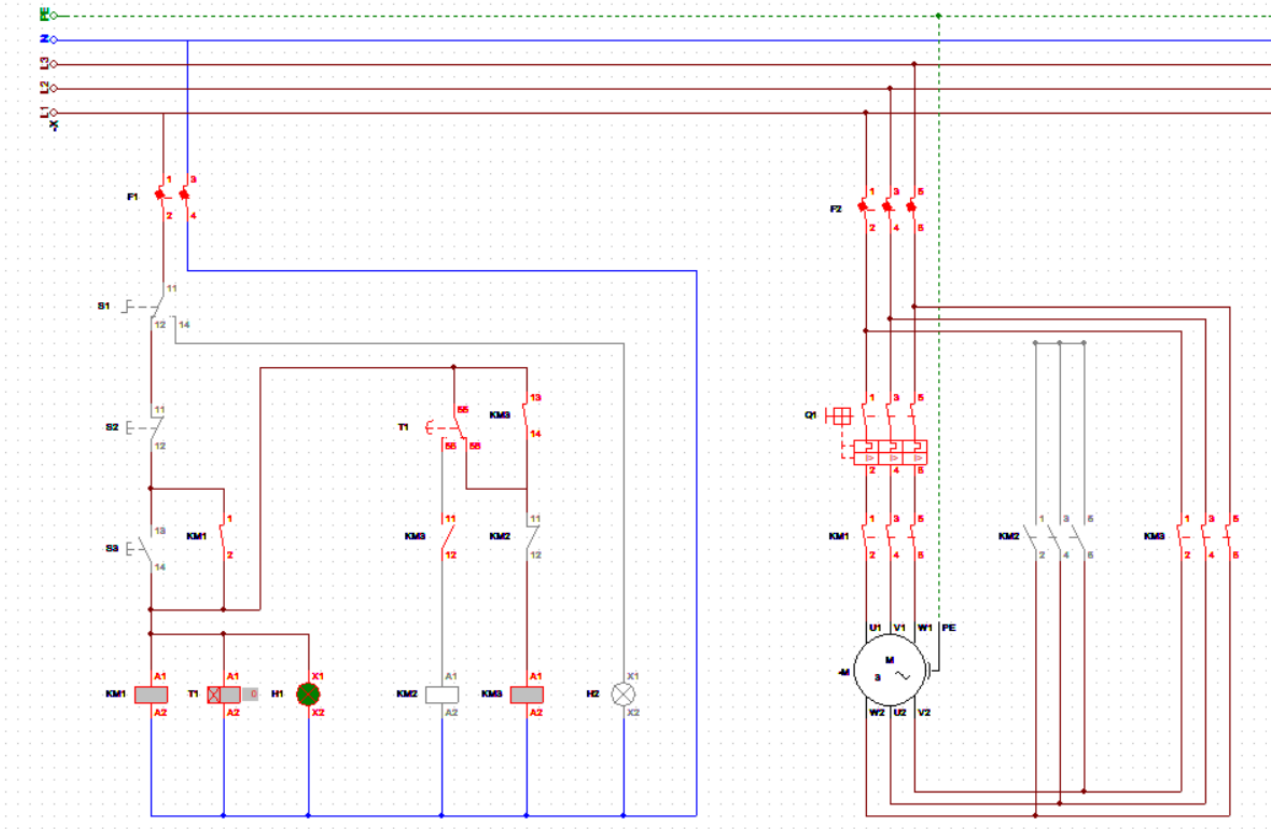
8.2.2. Arranque estrella-delta

Figura 26. Simulación arranque estrella-delta run-estrella



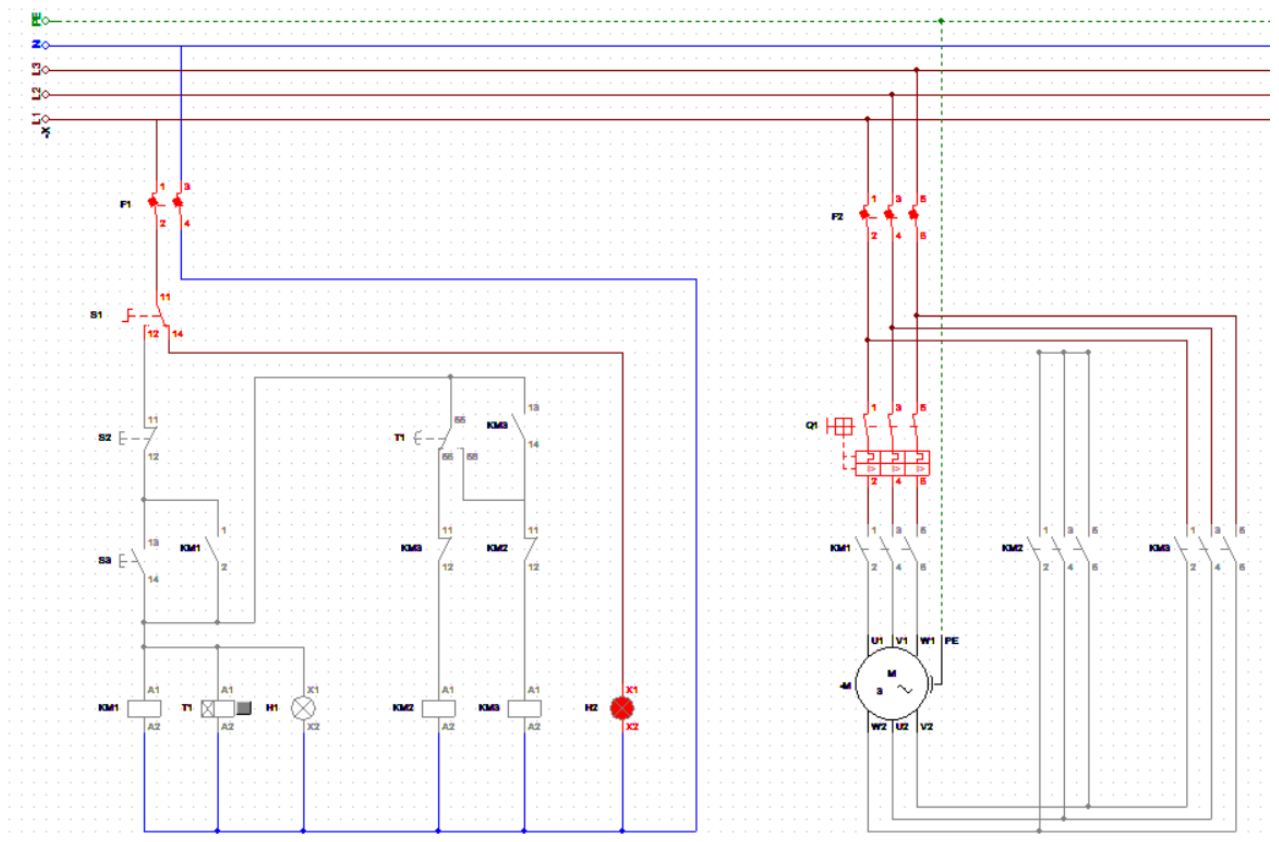
Nota. El diagrama presentado muestra el funcionamiento del arranque estrella-delta, donde al presionar run, el relé con retardo a la desconexión empieza el conteo, mientras el motor es arrancador en configuración estrella, donde se le induce menor voltaje de arranque.

Figura 27. Simulación arranque estrella-delta run-delta



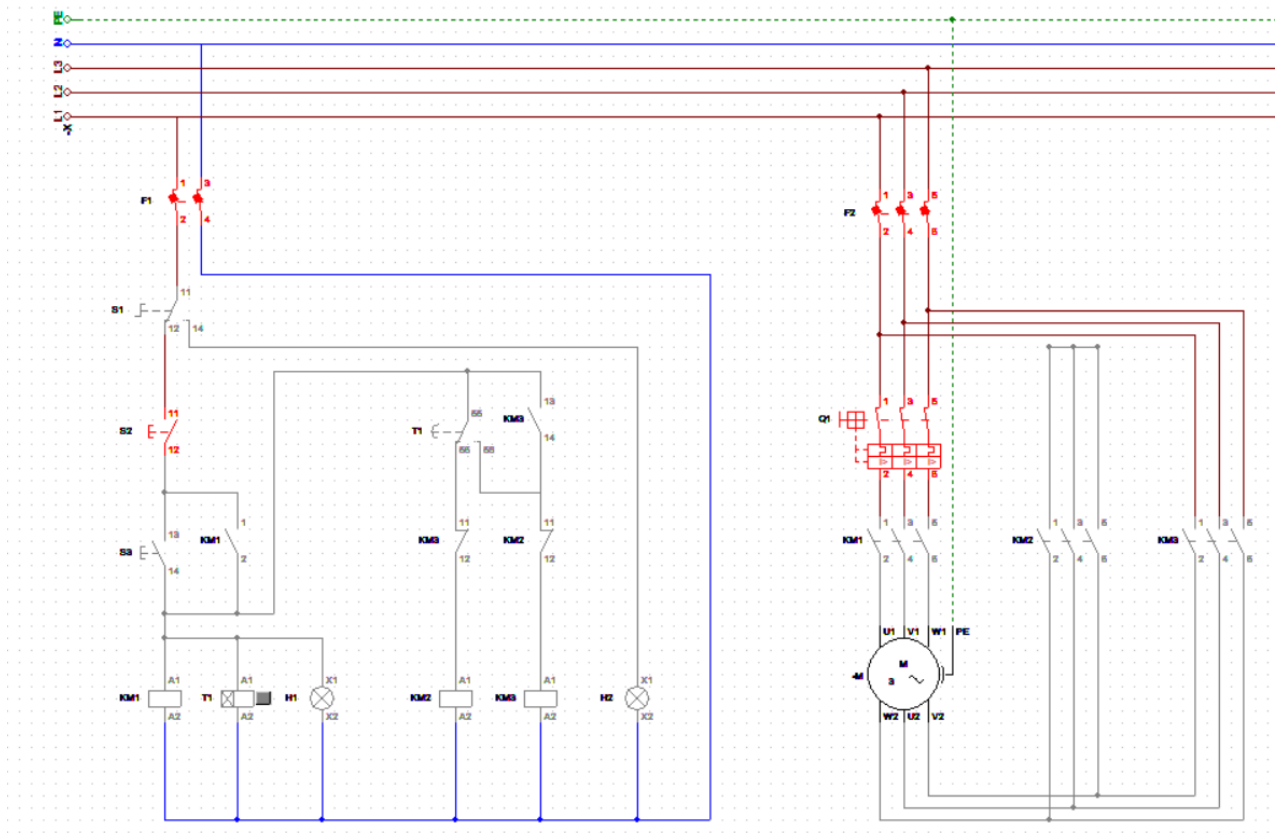
Nota. El diagrama presentado muestra el funcionamiento del arranque estrella-delta, donde el relé con retardo a la desconexión ha cumplido el tiempo asignado, permitiendo la conexión del motor en configuración delta.

Figura 28. Simulación arranque estrella-delta falla



Nota. El diagrama presentado muestra el funcionamiento del arranque estrella-delta, donde al presionar el paro de emergencia NC, se abre el circuito, impidiendo que los dispositivos de potencia se accionen.

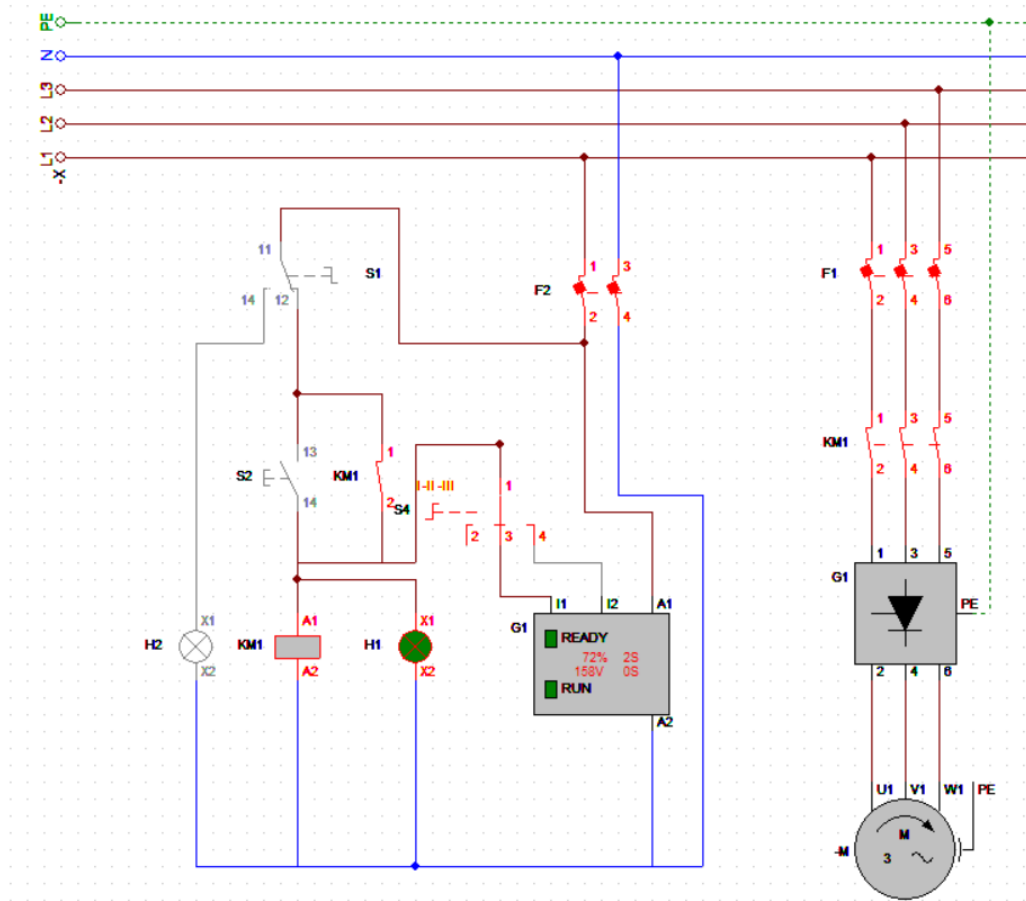
Figura 29. Simulación arranque estrella-delta stop



Nota. El diagrama presentado muestra el funcionamiento del arranque estrella-delta, donde al presionar el botón de stop NC, el circuito se abre temporalmente, desenclavando los contactores.

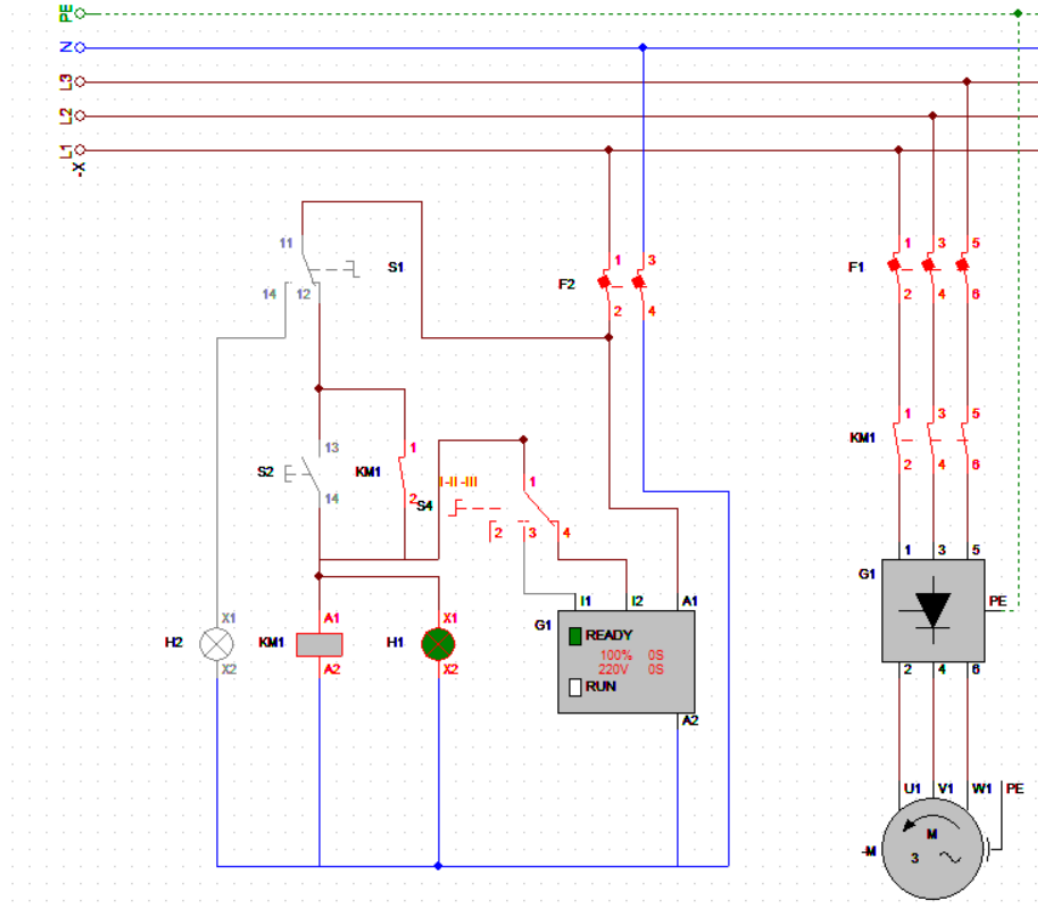
8.2.3. Arranque por arrancador suave

Figura 30. Simulación por arrancador suave run forward



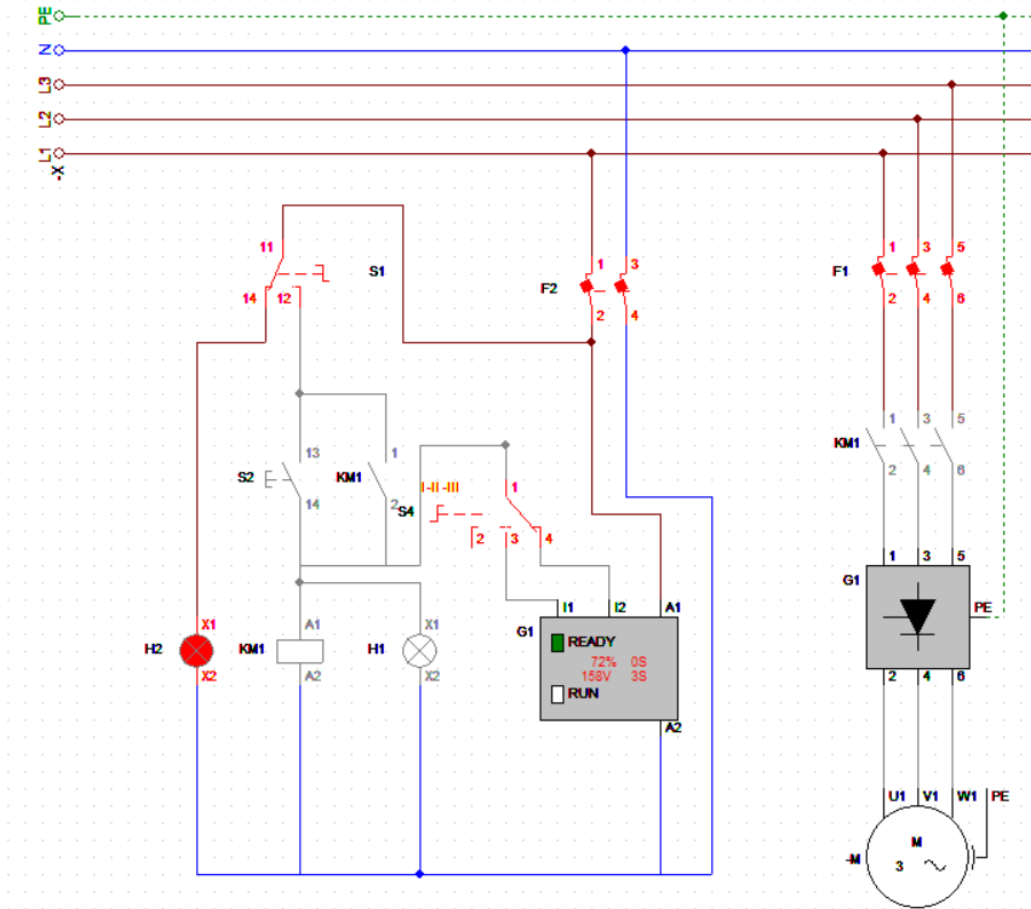
Nota. El diagrama presentado muestra el funcionamiento del arranque por Arrancador Suave, donde se puede observar en la imagen que el voltaje tiene cierto porcentaje, lo cual hace alusión a la rampa de voltaje del mismo arrancador. También se puede observar la dirección de giro del motor hacia la derecha, confirmando que se puede dar dirección vía arrancador suave.

Figura 31. Simulación por arrancador suave run backward



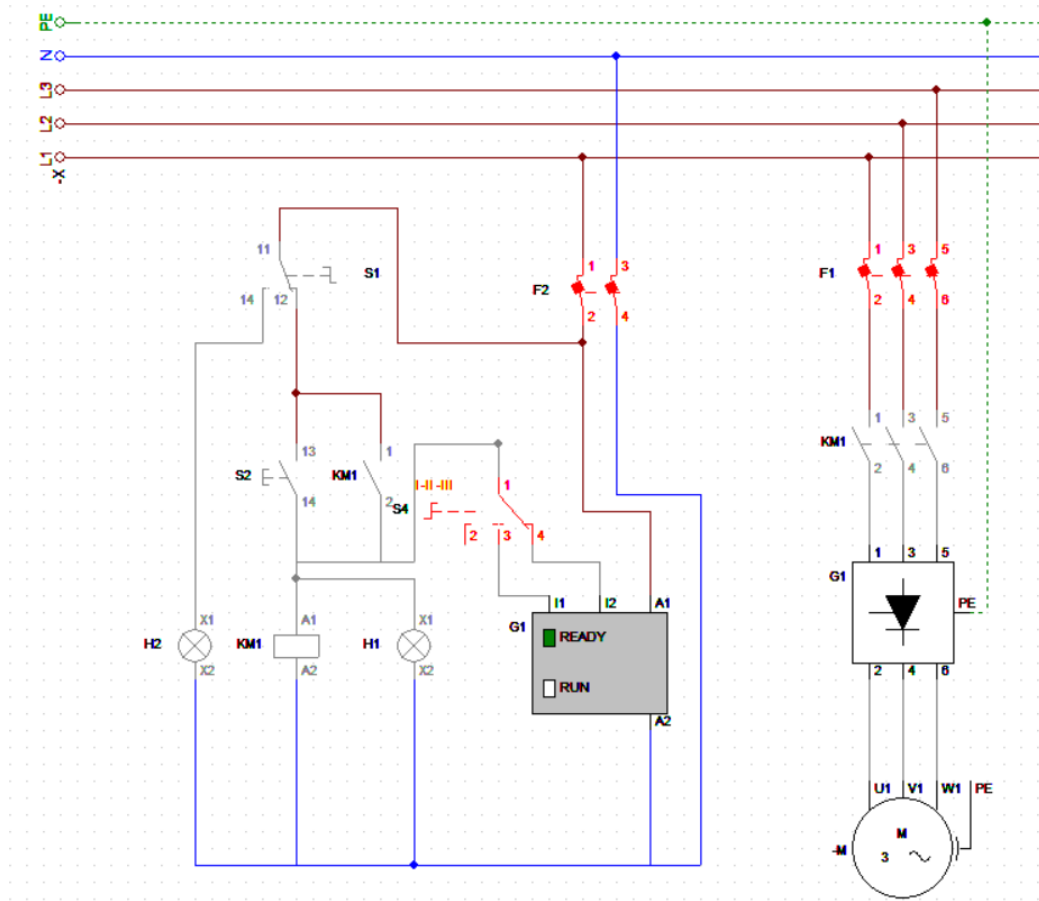
Nota. El diagrama presentado muestra el funcionamiento del arranque por arrancador suave, donde se puede observar en la imagen que el voltaje tiene cierto porcentaje, en este caso su total, debido a que ya pasó el tiempo de arranque definido. Además, el giro es a la izquierda, demostrando la versatilidad del equipo sin cambiar el cableado.

Figura 32. Simulación por arrancador suave falla



Nota. El diagrama presentado muestra el funcionamiento del arranque por arrancador suave, donde al presionar el paro de emergencia, al ser NC abre el circuito, desconectando la potencia de la red. Es importante mencionar que, debido a que el arrancador suave retiene energía unos segundos luego de desconectar la red.

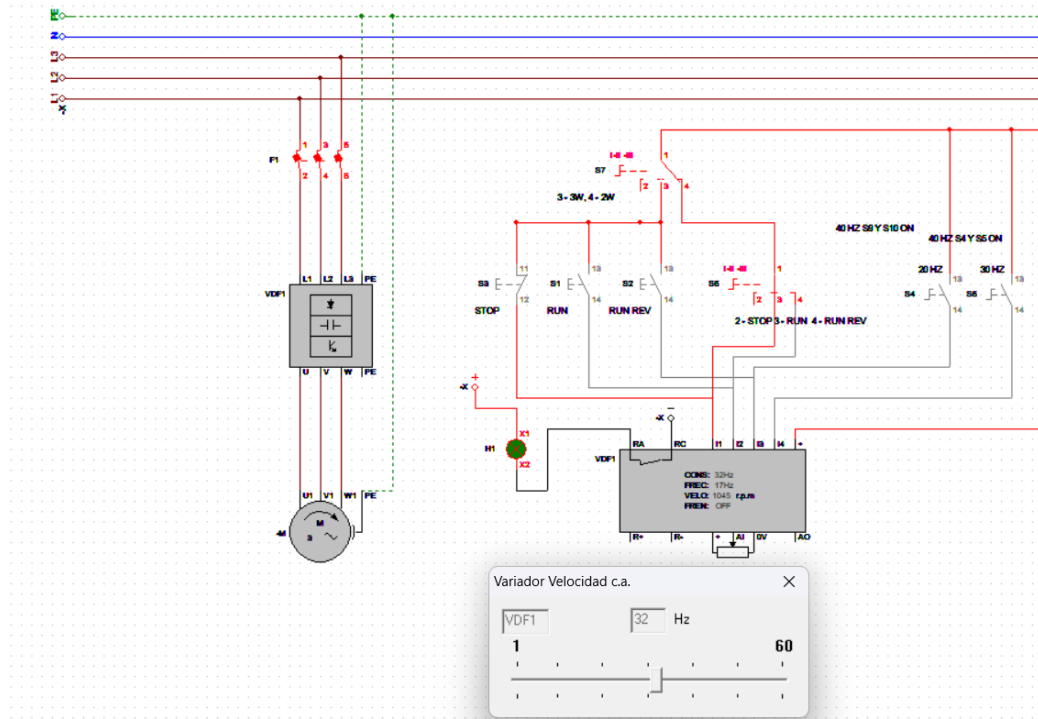
Figura 33. Simulación por arrancador suave stop



Nota. El diagrama presentado muestra el funcionamiento del arranque por arrancador suave, donde al regresar el selector a la posición 0, desconecta de forma momentanea el mando de la potencia, generando que el arrancador tenga la orden de arranque.

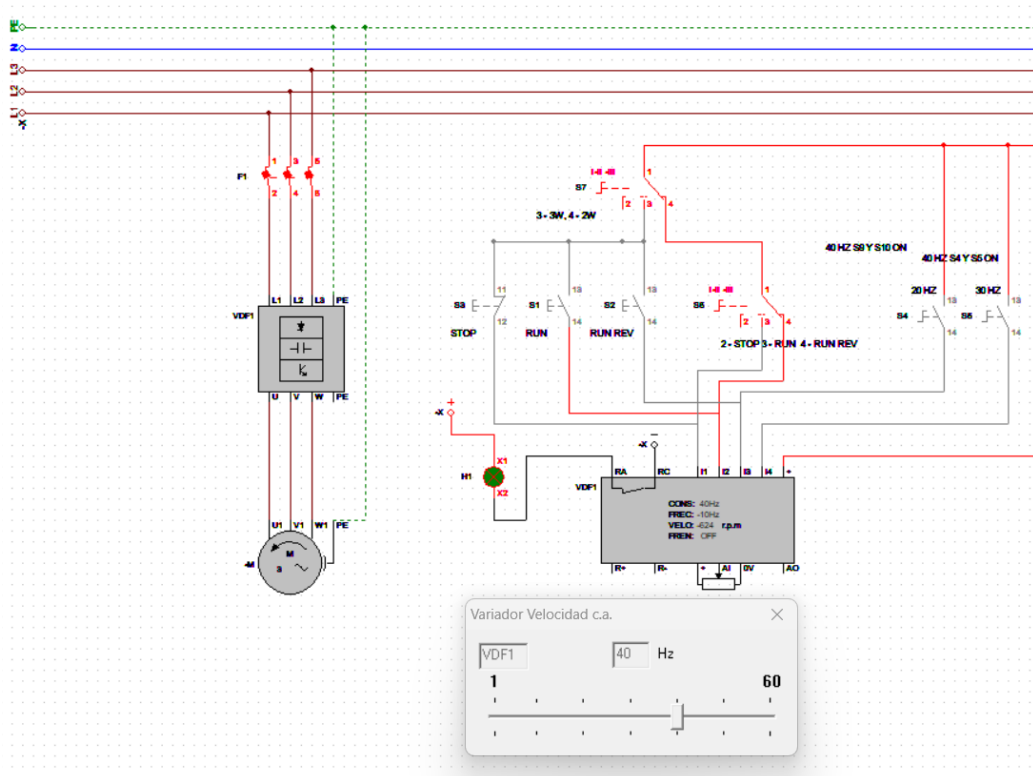
8.2.4. Arranque por variador de frecuencia

Figura 34. Simulación por variador de frecuencia RUN Forward



Nota. El diagrama presentado muestra el funcionamiento del arranque por variador de frecuencia, donde se utilizó un arranque de 2 hilos, permitiendo que el motor gire a la derecha. Además, se puede observar que se seteó la frecuencia a 32 hZ, permitiendo el control preciso de la velocidad.

Figura 35. Simulación por variador de frecuencia run backward



Nota. El diagrama presentado muestra el funcionamiento del arranque por Variador de Frecuencia, donde se utilizó un arranque de 2 hilos, permitiendo que el motor gire a la izquierda. Además, se puede observar que se seteó la frecuencia a 40 hZ, permitiendo el control preciso de la velocidad.

Diseño en CAD del panel didáctico

Con los diagramas eléctricos validados por medio de simulación y los equipos dimensionados, se procedió al diseño del panel didáctico. Donde la idea principal es realizar cuatro paneles pequeños que en conjunto formen el panel como tal. Estos paneles pequeños estarán dentro de un maletín para proteger a los equipos y así también que el mismo sea sencillo de transportar.

La herramienta principal para diseñar el panel y sus componentes fue inventor, donde por medio de la hoja de datos de los fabricantes se diseñaron los dispositivos en 3D y el maletín donde estarán los equipos.

9.1. Modelado de equipos en inventor

Se modelaron los equipos en inventor, tanto los componentes eléctricos como los elementos mecánicos y de acople, esto para poder lograr lo siguiente:

- Asegurar la compatibilidad dimensionar de cada dispositivo dentro del espacio que se dispone.
- Identificar problemas de montaje previos a la fabricación.
- Visualizar espacio para el cableado interior.

Es importante mencionar que, algunos equipos eléctricos ya tenían su diseño CAD hecho, por esto mismo se utilizaron los mismos ya diseñados para agilizar tiempo.

9.2. Diseño de maletines y disposición de componentes

Como se mencionó previamente, los maletines tienen como finalidad ser transportables, resistentes y didácticos, siendo así un mini panel. Durante su diseño y elección se tomó en cuenta lo siguiente:

- Ergonomía: los dispositivos de control o accionadores, fueron ubicados en la parte frontal para poder acceder de manera sencilla a ellos y buscar un parecido a un gabinete en la realidad.
- Distribución: los equipos de potencia se colocaron en posiciones que faciliten la comprensión, es decir, no se colocaron uno lejos del otro, sino que se buscó mantener una secuencia lógica para su comprensión.
- Dispositivos ocultos: se reservó espacio interior para cableado y equipos no visibles, tales como el transformador o las bases adhesivas.

9.3. Integración de dispositivos en el panel

Luego de la definición de cada elemento en el panel junto a sus orificios, se procedió al ensamblado por medio de inventor, esto logró afianzar lo siguiente:

- Se establecieron los espacios para cableado entre los diversos equipos, permitiendo que los espacios fueran suficientes para los cables necesarios.
- Las conexiones al estudiante se dejaron en forma de socket banana, lo que permite modificar en cierta manera la configuración del sistema.
- El diseño permite la posibilidad de cambiar las señales de control por medio de cables banana banana, lo que permite que el panel sea flexible

El resultado del ensamble 3D, servirá para la posterior fabricación física y permitirá a los estudiantes comprender visualmente la relación entre los diagramas eléctricos y como están dispuestos en la realidad.

Figura 36. Panel didáctico maletín 1 - vista frontal



Nota. En esta imagen se puede observar el panel CAD del método de arranque directo en vista general y variador de frecuencia. Se diseñaron 2 métodos en un mismo gabinete para poder optimizar recursos, además de aprovechar el espacio de la maleta.

Figura 37. Panel didáctico maletín 1 - vista General



Nota. En esta imagen se puede observar el panel CAD del método de arranque directo en vista general y variador de frecuencia. Se presenta la vista general de cómo se vería ya ensamblado en la realidad.

Figura 38. Panel didáctico maletín 2 - vista frontal



Nota. En esta imagen se puede observar el panel CAD del método estrella-delta y arrancador suave. Se presenta la vista general de cómo se vería ya ensamblado en la realidad.

Figura 39. Panel didáctico maletín 2 - vista General

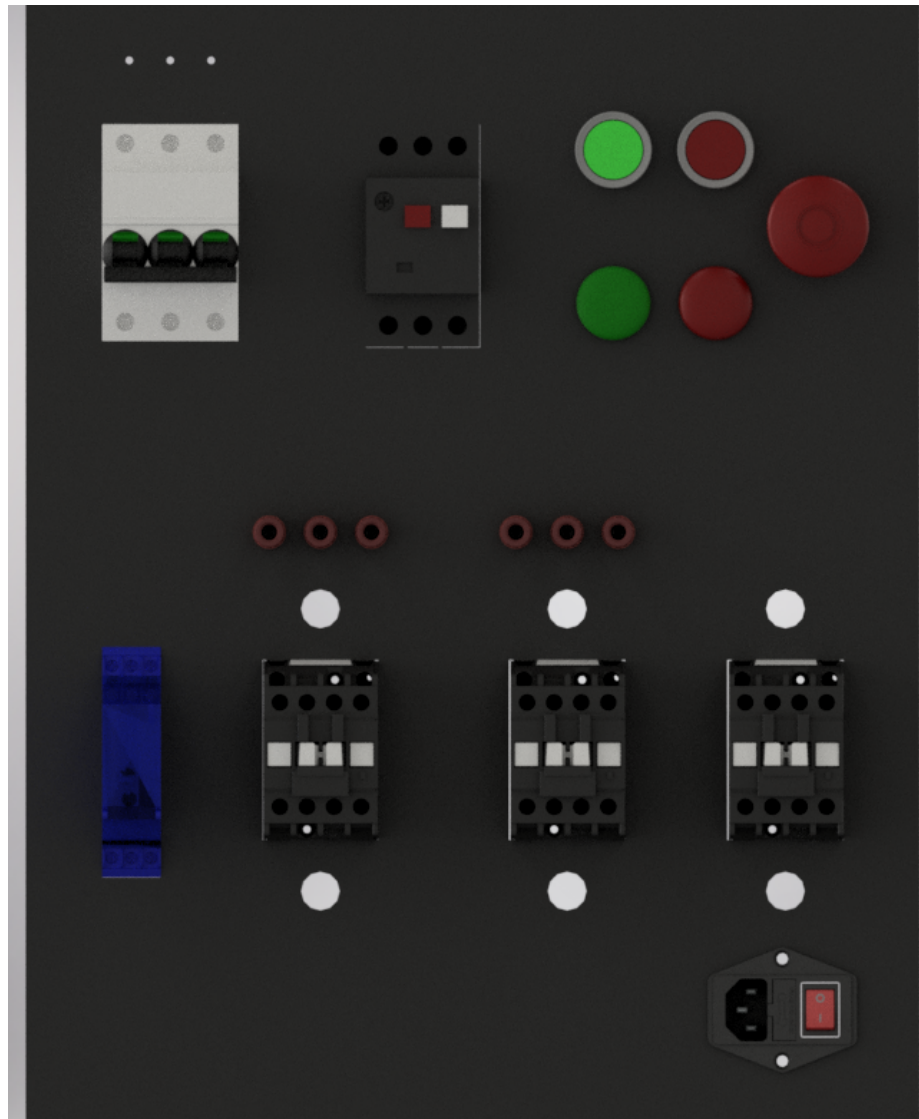


Nota. En esta imagen se puede observar el panel CAD del método estrella-delta y arrancador suave. Se presenta la vista general de cómo se vería ya ensamblado en la realidad.

La idea inicial era armar los 2 maletines, pero por temas de importación, no fue posible conseguir el arrancador suave, por lo que se simuló por medio del ATV610.

Por otra parte, por temas que no se controlaron, el acrílico que llevaba el maletín 2 se quebró, ya que cada ACM costaba 500Q, el presupuesto se elevó demasiado y por esto mismo se diseñó un prototipo en base al presupuesto restante, pero el funcionamiento es el mismo que el maletín 2.

Figura 40. Panel didáctico maletín 2 provisional - Vista frontal



Nota. En esta imagen se puede observar el panel CAD del método estrella-delta. Se presenta la vista frontal de cómo se vería ya ensamblado en la realidad.

Pruebas preliminares y documentación

Previamente a realizar el armado físico del panel, fue necesario realizar una serie de pruebas preliminares las cuales permitan validar tanto el diseño eléctrico, la simulación como la interacción de los dispositivos de control.

10.1. Ensayos al vacío

Los primeros ensayos se realizaron sin una carga mecánica, esto con el objetivo de poder comprobar que el funcionamiento era correcto, además que no se arriesgaba nada mecánico, es decir, se realizó en condiciones seguras. En esta fase:

- Se probaron los circuitos de mando, verificando que los pulsadores y señales de control funcionaran según a lógica planteada.
- Se simularon arranques mediante diversas configuraciones como arranque directo, delta-estrella, arrancador suave y variador de frecuencia, para poder ver el comportamiento adecuado.
- Se evaluó el funcionamiento de las protecciones eléctricas, como los miniautomáticos, verificando que se accionan cuando superan su corriente o manualmente.

Expandiendo lo anterior, se realizaron pruebas de los 4 métodos propuesto como se mencionó:

10.1.1. Arranque directo

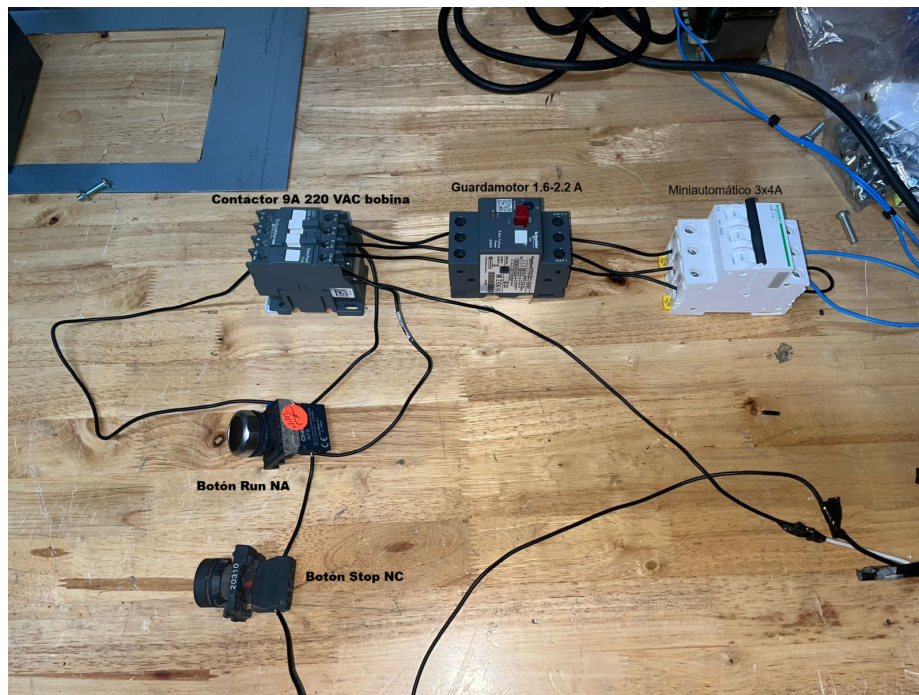
En primer lugar se probó el arranque directo, utilizando pulsadores para los comandos de run y stop. Para su correcto funcionamiento fue necesario implementar un autoenclavamiento, de manera que el comando de run mantuviera el circuito activo sin necesidad de mantener presionado el botón. El pulsador de stop, al ser normalmente cerrado (NC), cumple la función de desenclavar el circuito y detener el arranque.

Durante la prueba se pudo comprobar que:

- Al presionar el pulsador de run (NO), el contactor se activa y alimenta el motor.
- El contacto auxiliar del mismo contactor mantiene la bobina energizada, garantizando la continuidad del arranque.
- Al presionar el pulsador stop (NC), el circuito de mando se abre y el contactor se desactiva, interrumpiendo el arranque del motor.

Este método resultó ser el más sencillo y directo, cumpliendo con el objetivo de validar la secuencia básica de arranque y paro mediante pulsadores y contactor.

Figura 41. Armado arranque directo al vacío



Nota. La imagen muestra el armado del arranque directo al vacío sin carga, esto para poder comprobar el correcto funcionamiento del mando.

10.1.2. Arranque estrella-delta

En este método se implementó el circuito delta-estrella el cual se realizó por medio de un relé temporizado con retardo a la conexión, esto para poder gestionar el cambio de voltaje del motor. El tiempo de retardo se configuró para 5 segundos, esto permitió que el motor inicialmente arrancara en estrella inicialmente, transcurrido ese tiempo la configuración pasa a estrella, realizando el cambio de forma automática, reduciendo la corriente de arranque.

El circuito incluyó las siguientes funciones:

- El pulsador run (NO) para arranque del motor, con auto enclavamiento para energizar la bobina.
- El pulsador stop (NC) para detener el arranque.
- Un pulsador para paro de emergencia (NC), el cual desenergiza el circuito principal para seguridad.
- La luz piloto verde, indica el enclavamiento de arranque (run).
- La luz piloto roja, indica que el paro de emergencia está activo.

Al realizar la prueba, el funcionamiento fue el esperado. Al presionar Run, el motor inició en estrella, luego del tiempo de 5 segundos, el relé permitió el cambio automático a configuración delta; Cuando se presiona stop se interrumpe el arranque, cuando se presiona el paro se ilumina la luz piloto roja y se desenergiza el motor.

10.1.3. Arranque suave

En este método de arranque suave se utilizó un arrancador suave Altistart 22 de 22 Hp marca Schneider, pero el dispositivo original del panel es un Altistart 01. Este dispositivo permite aplicar cierto voltaje al motor de manera progresiva al momento del arranque, esto reduce de manera significativa la corriente de arranque, evitando que existan esfuerzos mecánicos de manera brusca.

Figura 42. Arrancador suave de 15Hp ATS 22



Nota. La imagen muestra el arrancador suave ATS22, el cual es multivoltaje.

El control se realizó mediante un selector de 3 posiciones, esto para run, stop y reverse, donde no es necesario un auto enclavamiento debido a que el selector ya auto enclava.

Al mover el selector hacia la derecha, el arrancador empieza a incrementar de manera gradual el voltaje del motor hasta alcanzar su voltaje nominal. Durante este proceso la corriente es limitada y el motor acelera de manera suave. Al regresar el selector al centro, el motor se detiene.

Al mover el selector hacia el lado izquierdo sucede el mismo comportamiento, pero con el giro invertido.

El botón de paro, genera una condición de falla y activa la luz piloto roja. Cuando el motor se encuentra en funcionamiento normal, la luz piloto verde se encuentra encendida. Este dispositivo permite reducir esfuerzo mecánicos y protege al motor, como a la carga acoplada.

Es importante mencionar que, se utilizó un arrancador suave Altistart 22 por que es el que se encontraba en stock donde se realizaron las pruebas, más tiene el mismo funcionamiento

del Altistart 01, pero con mayor potencia.

10.1.4. Arranque y control por medio de variador de frecuencia

Para la implementación del arranque mediante Variador de Frecuencia se utilizó un variador Easy Altivar 610 de la marca Schneider de 1 Hp. Este permite un control completo sobre la velocidad, el torque, la aceleración y desaceleración, voltaje, corriente, rpm de un motor trifásico. Este variador cuenta con las siguientes características:

- 3 Salidas a relé, una salida con un contacto NA y NC, y otras dos con NA.
- 3 Entradas análogas, una para voltaje 0-10, -10 a 10 y X a Y mA, hasta 20 mA.
- 2 Salida análoga.
- 6 Entradas digitales programables.

El Variador de Frecuencia (VFD) Altivar 610 (ATV610) ha sido seleccionado para este módulo didáctico por razones que priorizan la experiencia de aprendizaje del estudiante, a pesar de su diseño primario para aplicaciones de Torque Variable (como bombas y ventiladores).

El factor decisivo en la elección del ATV610 es su Terminal de visualización gráfica y su interfaz de usuario con rueda de navegación. A diferencia de otros variadores de entrada de la marca que solo incluyen keypads LED numéricos, el ATV610 permite una programación de parámetros y diagnóstico significativamente más sencillos y visuales. Esto acelera la curva de aprendizaje, ya que los estudiantes pueden navegar por los menús, visualizar estados y diagnosticar fallos con texto descriptivo, facilitando la comprensión de la lógica de programación del variador.

En términos de costo-beneficio para la enseñanza, el ATV610 ofrece esta crucial funcionalidad didáctica a un precio más accesible que otros modelos de alto rendimiento (como la línea Altivar Process), que también poseen pantallas avanzadas, pero con un sobre costo debido a características de control más especializadas.

Figura 43. Variador de frecuencia Schenider Easy ATV610



Nota. La imagen muestra el variador de frecuencia usado, en Voltaje 480V

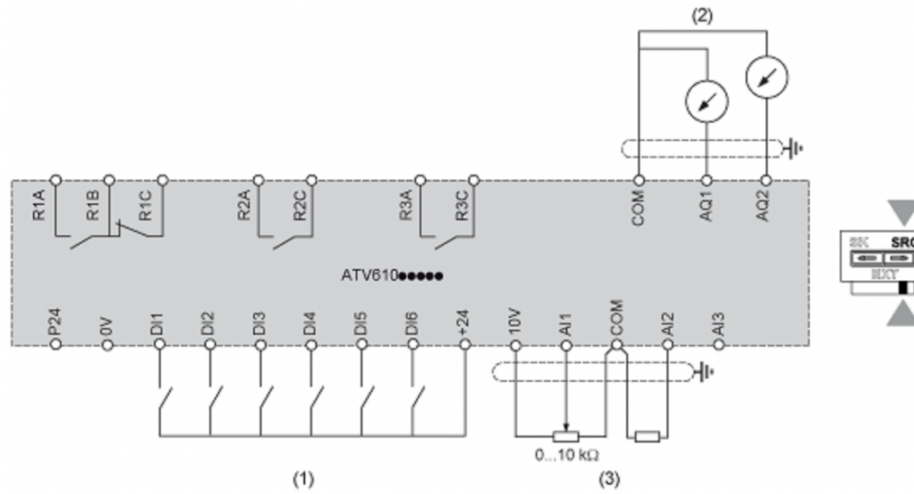
Con estas configuraciones es posible diversos arranques y variaciones de frecuencia, por esto mismo se determinó que cada entrada deberá ser con banana banana, permitiendo una flexibilidad en la forma en que se arranca el variador.

Durante las pruebas se realizaron distintos esquemas de arranque:

- Control en 2 hilos y 3 hilos, usando selectores y pulsadores.
- Variación de frecuencia mediante potenciómetro (0-10 V), entrada análoga 1.
- Variación de frecuencia mediante fuente externa (-10 a 10 V), entrada análoga 2.
- Variación de frecuencia con perilla interna del ATV610.
- Velocidades predefinidas mediante programación del variador
- Control de velocidad con botones +/-.

Para cada método de realización se realizó una guía, donde se definen los parámetros a configurar. Cada método funcionó de manera correcta, demostrando que un variador de frecuencia aunque tenga un costo inicial, puede controlar el arranque, la velocidad del motor de manera precisa, segura y eficiente. Las luces piloto sirvieron para indicar el estado del funcionamiento del motor y las condiciones de falla.

Figura 44. Variador de frecuencia Schenider Easy ATV610



Nota. La imagen muestra el diagrama de configuración del Easy ATV610.

Para poder diseñar la parte estética de los paneles didácticos, fue necesario realizarla como sketch en inventor, específicamente en los ensambles para que se pudieran visualizar en el archivo .iam.

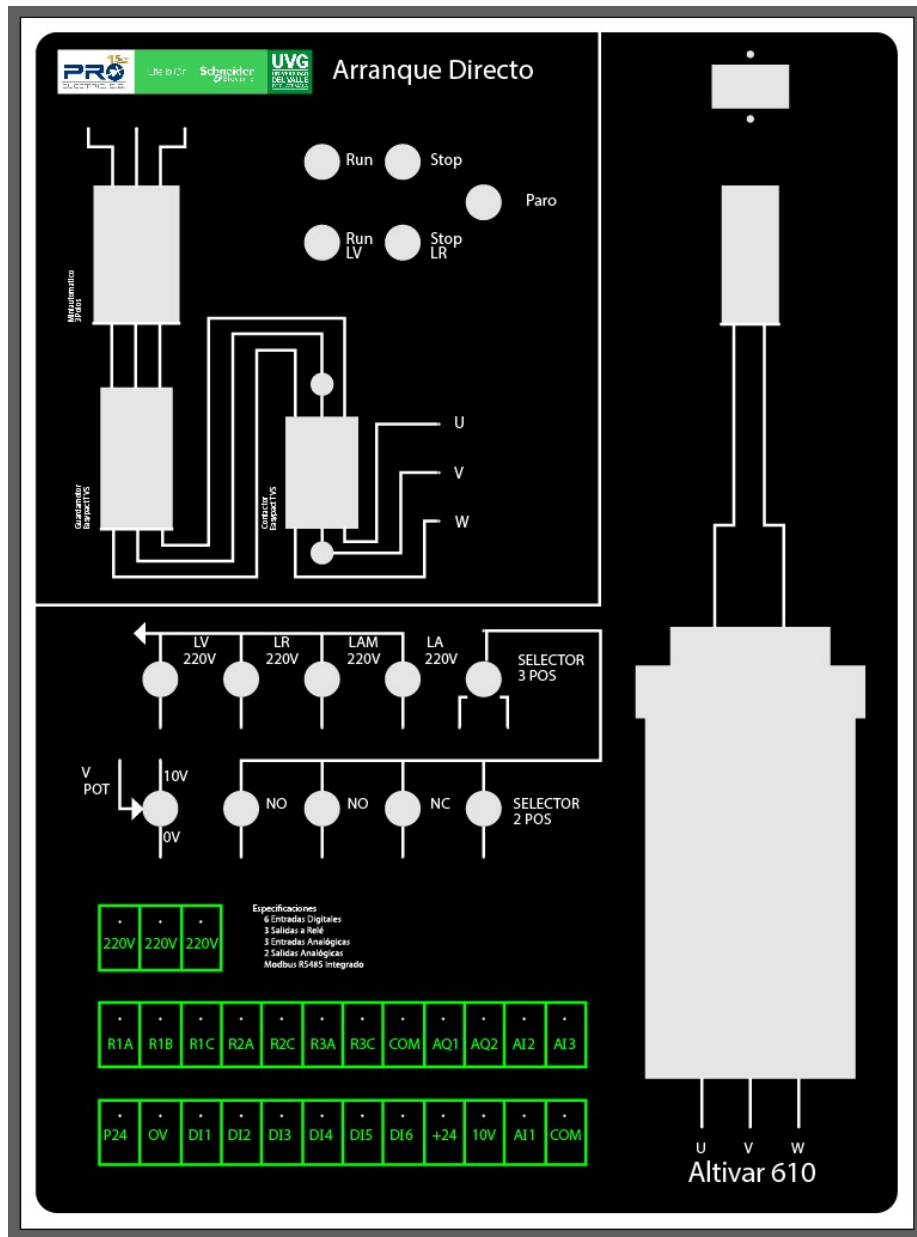
11.1. Proveedor del ACM

El fabricante pedía como requerimiento un plano con dimensiones del acrílico ACM, por esto mismo se envió la información requerida a Impresiones ACM. Su contacto es el siguiente: 3570 8045, asesor Marco.

Para poder fabricar el ACM fue necesario que el proveedor realizara el diseño en photoshop, esto definiendo el tamaño del ACM, tanto alto por ancho.

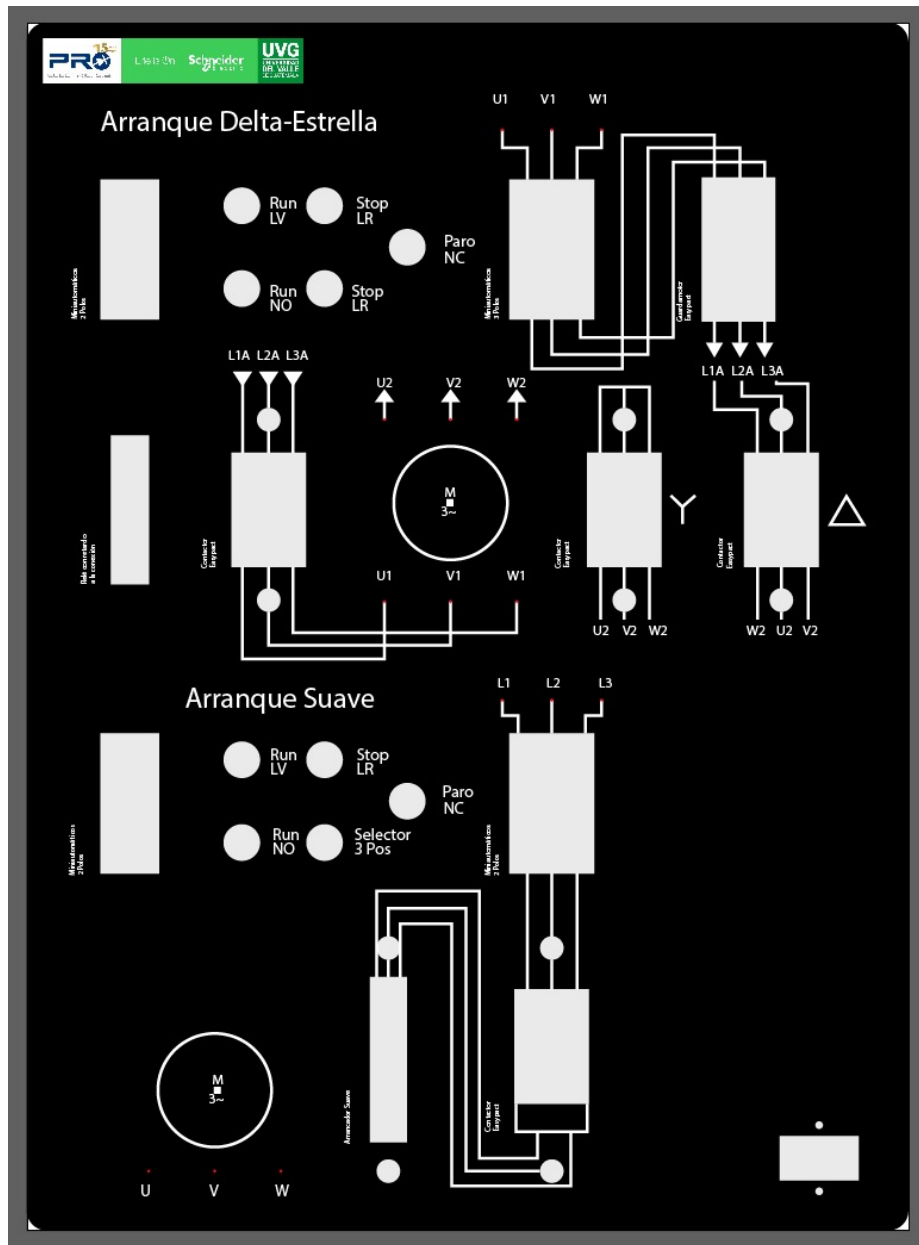
los diseños realizados por el proveedor fueron los siguientes, en base a los diseños previamente enviados:

Figura 45. ACM para el maletín 1 - arranque directo y vdf



Nota. La imagen muestra el diseño realizado por el proveedor para su fabricación en ACM

Figura 46. ACM para el maletín 2 - estrella-delat y arrancador suave.



Nota. La imagen muestra el diseño realizado por el proveedor para su fabricación en ACM

Dicho lo anterior, el costo total de las 2 placas de ACM fue alrededor de Q1000.00, por lo que la fabricación en ACM es de un costo elevado.

12.1. Proveedor del maletín

Los maletines elegidos están diseñados para llevar armamento o elementos que requieran cuidado. Dado a que los elementos industriales requieren especial cuidado, se tomó esta opción. Las dimensiones son 72 cm de altura y 52 de ancho, esto en medidas internas.

El proveedor fue Deltaboxgt en Instagram, donde se compraron 2 maletines de un valor de Q1975.00 cada una, dando un total de Q3950.00. El modelo comprado a la fecha del 2025 fue "la bestia".

Figura 47. Maletín la bestia - Deltaboxgt



 DELTABOXGT

 DELTA BOX

MODELO

DB - 12

LA BESTIA



USOS

- Equipos de video y audio
- Cámaras fotográficas profesionales y lentes
- Drones profesionales
- Equipo audiovisual en general
- 2 Capas de foam precortado

VALOR

Q1,975

ENVÍO GRATIS Y PAGO CONTRA ENTREGA

Nota. La imagen muestra el maletín elegido de la página deltabox.

El diseño de estos maletines didácticos se ejecutó completamente en el software Autodesk Inventor para asegurar un ensamblaje preciso y la optimización de los espacios internos. Todas las tolerancias y dimensiones finales se basaron rigurosamente en el modelo virtual para garantizar la compatibilidad de los componentes.

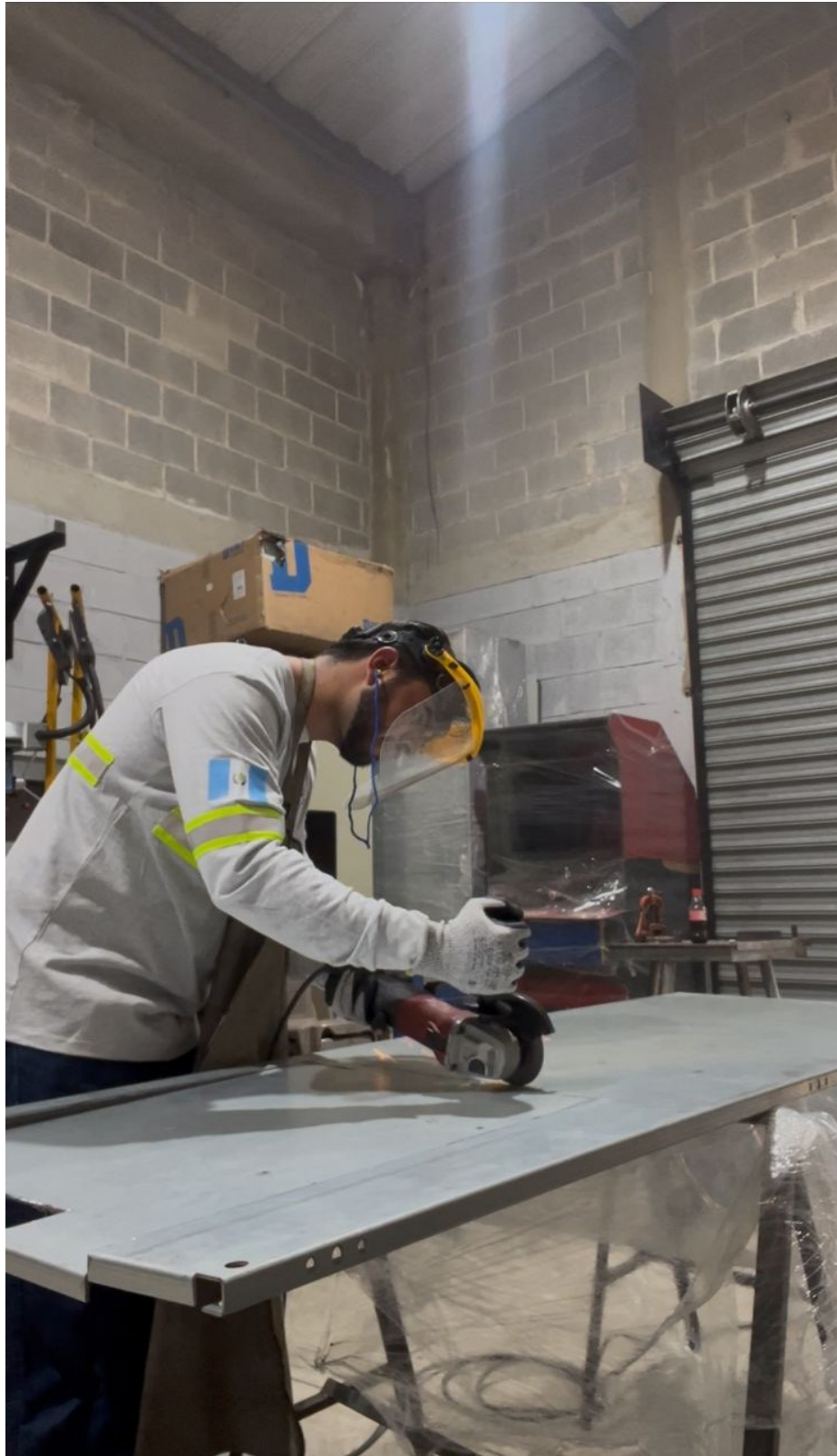
12.2. Fondo para montaje de equipos

12.2.1. Diseño de fondo

Para garantizar la correcta fijación y la integridad estructural de los dispositivos internos (como variadores y transformadores) durante el transporte y la operación, fue necesario diseñar una base sólida. Se optó por utilizar una placa de panel de gabinete industrial como fondo de montaje, material reconocido por su resistencia mecánica y su idoneidad para soportar equipos de control.

El dimensionamiento de esta placa se realizó de manera precisa: se utilizó la espuma interna original del maletín como plantilla para definir la forma exacta del contorno, la cual luego fue transferida al panel y cortada con una pulidora para obtener las dimensiones finales y asegurar un ajuste perfecto dentro del maletín.

Figura 48. Maquinando el fondo



Nota. La imagen muestra el proceso de maquinado de la placa del fondo.

Figura 49. Placa maquinada resultado final



Nota. La imagen muestra la placa luego del proceso de maquinado con la pulidora.

12.2.2. Ensamble de fondo

Para poder montar la placa en el fondo del gabinete para que sirva de soporte, fue necesario colocar varillas de 3/8. Se perforó la parte trasera del maletín, donde se colocó tuerca y del lado frontal se colocó otra para evitar que se moviera.

Figura 50. Varillas instaladas en el maletín



Nota. La imagen muestra las varillas instaladas en el maletín con sus roscas para evitar el movimiento de las mismas.

Luego de las varillas instaladas en el maletín, fue necesario abrir agujeros en la placa con barreno, donde la dificultad fue tomar las medidas para que las varillas encajaran con los agujeros hechos.

Figura 51. Varillas instaladas en el maletín con la placa.



Nota. La imagen muestra la placa instalada en base a las varillas colocadas.

Para la finalización de la preparación de la placa de montaje, se ejecutó un proceso de limado y desbastado en todas las aristas y orillas. Esta medida se implementó como un estándar de seguridad industrial esencial, previniendo posibles cortes o abrasiones en el personal técnico que manipule o extraiga la placa en el futuro para labores de mantenimiento o modificación.

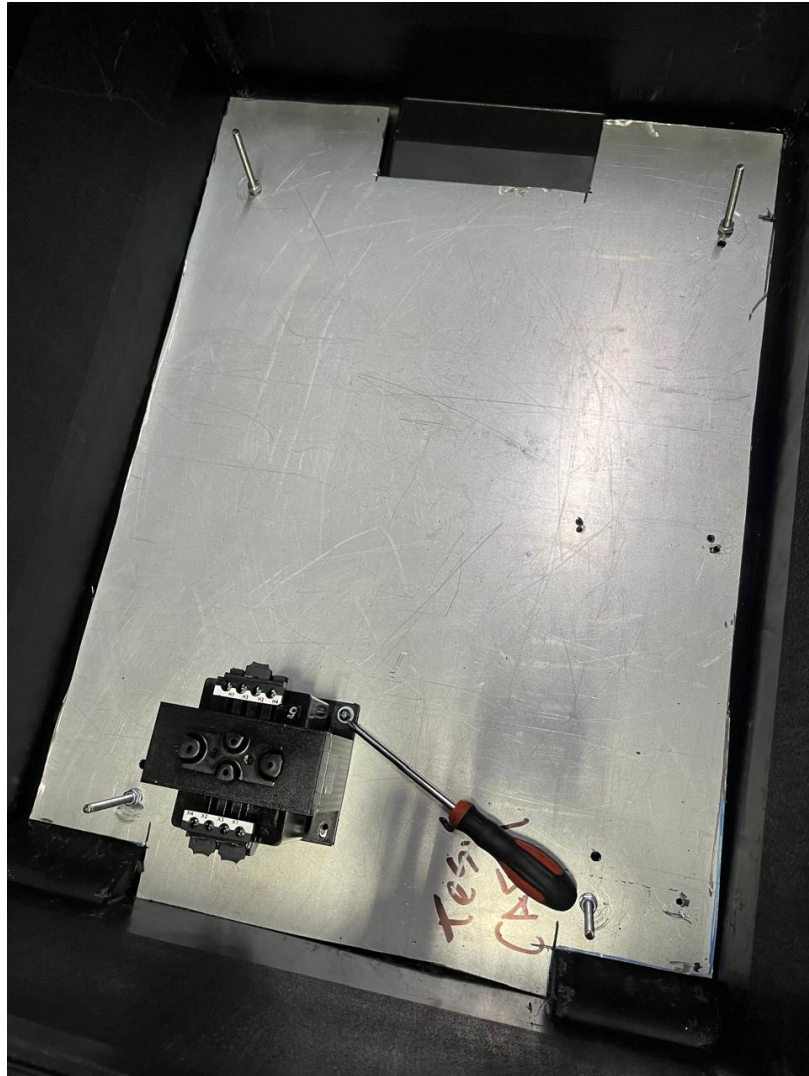
Una vez instalada la placa y asegurada por las varillas de soporte, se procedió a marcar las posiciones exactas de montaje para los principales componentes: el Transformador Siemens de 300 VA y el Variador de Frecuencia Altivar 610 de 1 Hp. Se realizó el barrenado de la placa en los puntos marcados y, a continuación, se aplicó el proceso de machuelado en cada orificio. Esto permitió crear una rosca interna precisa para asegurar una fijación mecánica firme y directa con tornillos de 3/16", que son los adecuados para los agujeros de montaje preexistentes en las carcasas de ambos equipos.

Figura 52. Variador de frecuencia instalado en la placa



Nota. La imagen muestra el variador de frecuencia instalado en la placa.

Figura 53. Transformador siemens de 300 VA instalado en la placa



Nota. La imagen muestra el transformador de 300 VA instalado en la placa.

Verificado que los tornillos sostienen a los elementos de gran tamaño, se procedió a instalar los 2 elementos en la placa.

Figura 54. Transformador y Variador de Frecuencia instalado



Nota. La imagen muestra el transformador y el variador instalado en la placa.

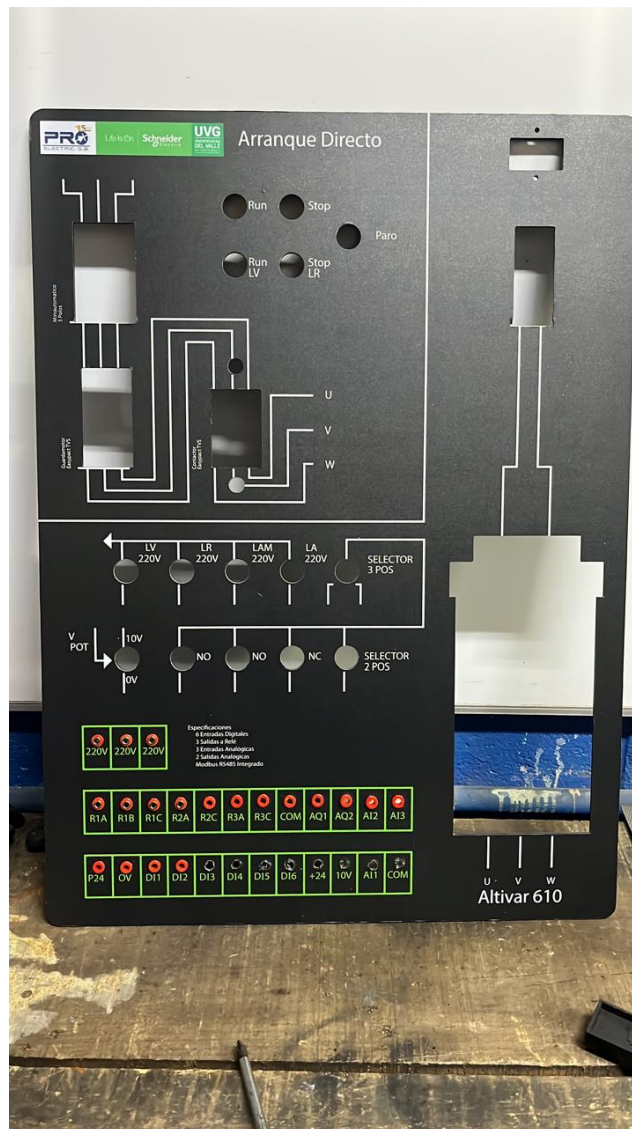
12.3. Cableado de dispositivos

12.3.1. Ensamblaje en ACM

Luego de la instalación de la placa, como de los dispositivos que debían ir instalado en el fondo, se procedió al ensamblado de los dispositivos que van colocados en el ACM.

En primer punto se realizó el barrenado para los agujeros de los sockets Banana, luego se instaló cada socket banana en el ACM.

Figura 55. Etapa inicial de barrenado e instalación de sockets banana en el ACM

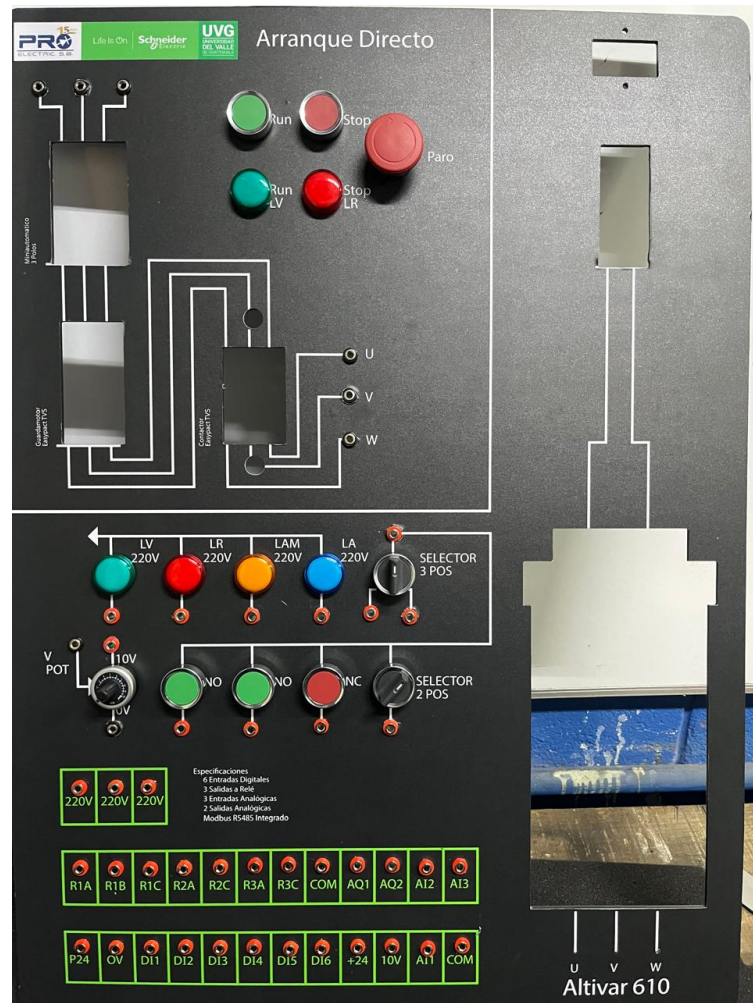


Nota. La imagen muestra la primera etapa de instalación, donde se barrenó e instalaron los sockets banana.

Luego de los sockets banana se instalaron las luces piloto, selectores y botones, estos entraron a la perfección gracias a que se diseñó un agujero de 22 mm, el cual es la medida estandar de los mismos.

Cabe mencionar que, no fue necesario utilizar pegamento o algo similar, debido a que estos dispositivos de 22 mm traen una tuerca en la parte trasera, para ajustarlo a la superficie con agujero.

Figura 56. Instalación de dispositivos de 22 mm

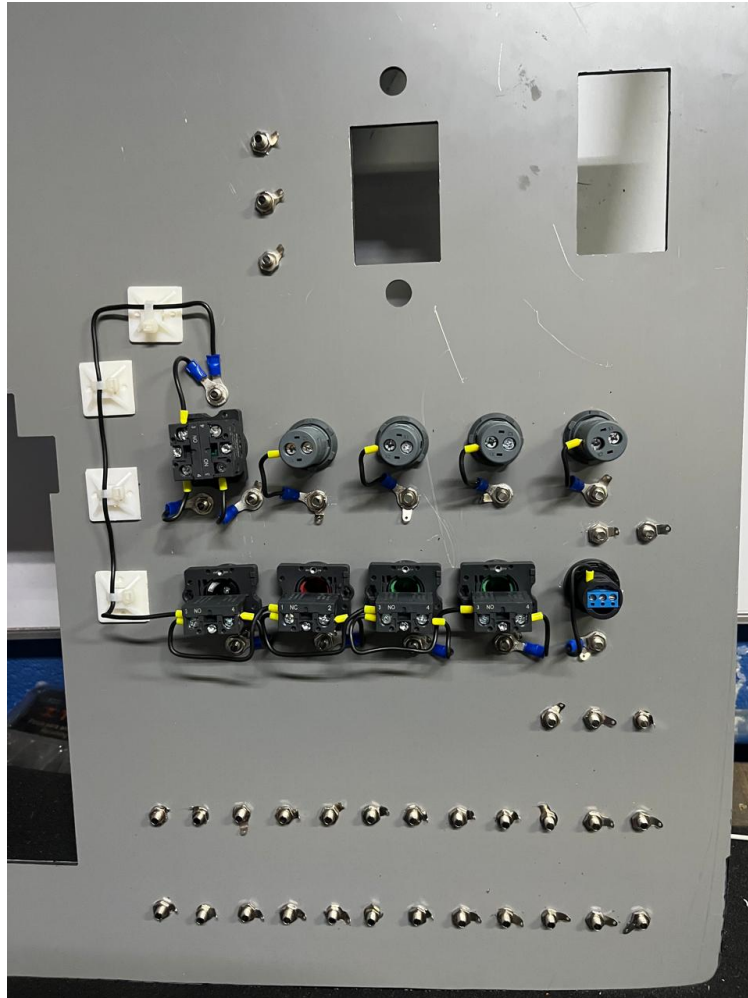


Nota. La imagen muestra la instalación de los dispositivos de 22 mm en el ACM.

12.3.2. Cableado de control

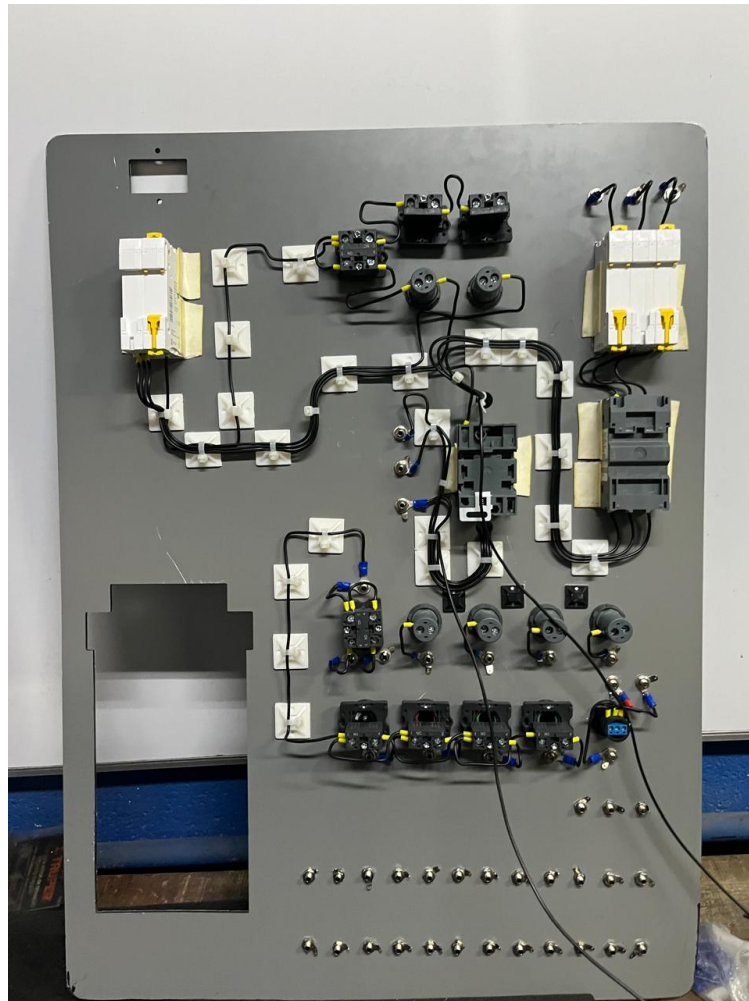
Una vez instalados los dispositivos de 22 mm, se procedió al cableado de los mismos, donde se utilizó un cable de calibre 18, junto a bases adhesivas y cinchos plásticos, esto con el objetivo de tener la parte eléctrica lo mas ordenado posible.

Figura 57. Inicio de cableado de dispositivos de 22 mm.



Nota. La imagen muestra el inicio del cableado de los dispositivos de 22 mm.

Figura 58. Mitad del proceso de cableado de dispositivos de 22 mm

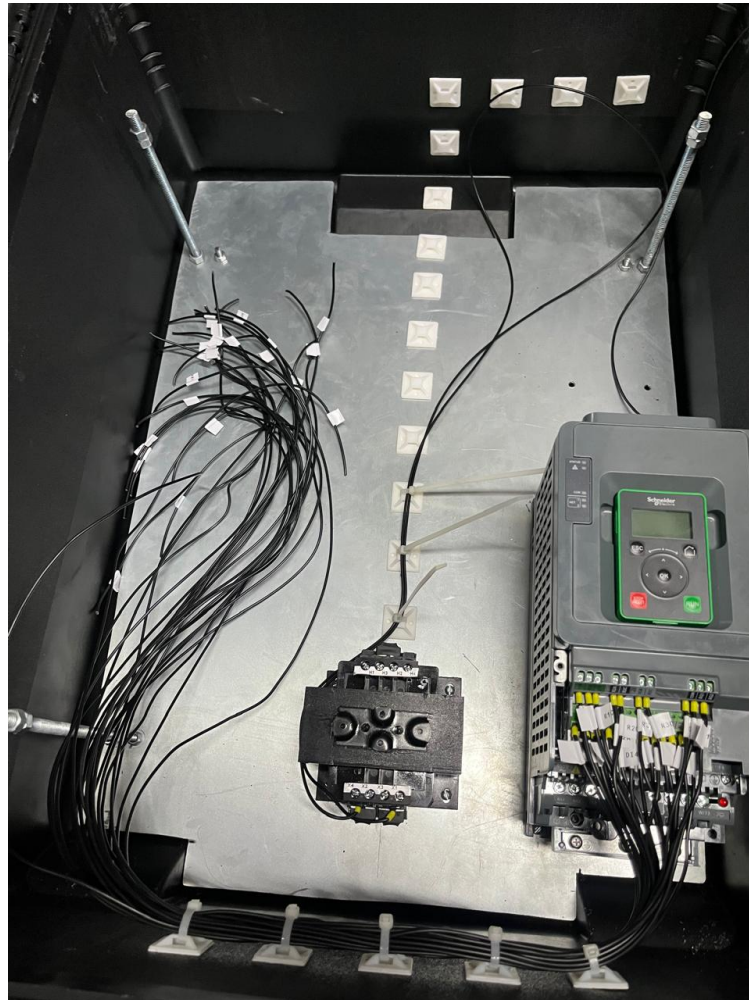


Nota. La imagen muestra la mitad del cableado de los dispositivos de 22 mm.

Una vez cableado los dispositivos de control de 22 mm, se procedió a cablear las entradas del variador, como los voltajes de potencia del transformador, para ello se procuró cablear lo mas ordenado posible, utilizando bases adhesivas y cinchos plásticos.

Es importante mencionar que, para cada señal del variador de frecuencia, se utilizó una etiquetadora donde se colocó el nombre de la señal tanto al inicio del cable, como al final del mismo.

Figura 59. Cableado de señales de control del variador



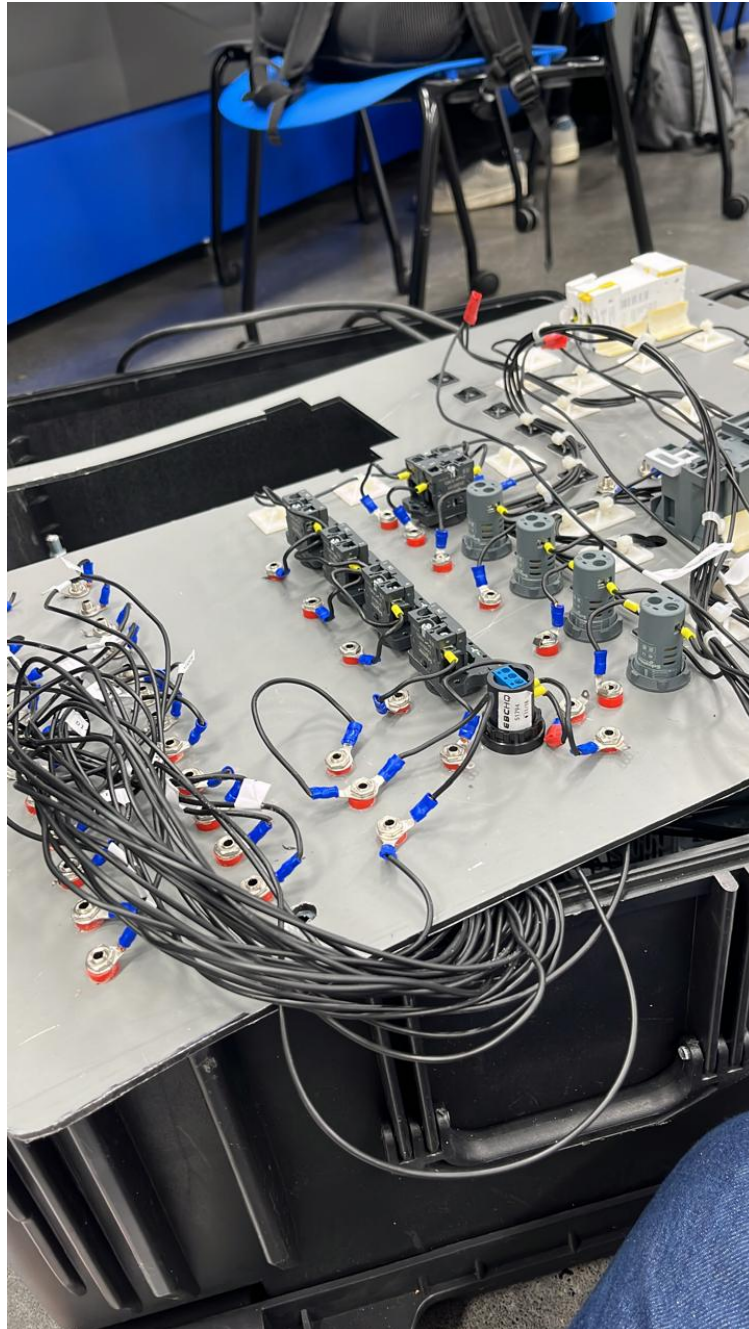
Nota. La imagen muestra el proceso de cableado del variador de frecuencia.

12.3.3. Cableado de banana-banana

Se encontró que el ACM al dañarlo, tiene una capa de aluminio por debajo, lo que puede causar cortos en caso de no aislar correctamente los sockets banana. Por esto mismo, se utilizaron piezas de plástico dieléctricas para aislar las terminales banana, con el objetivo de tener una señal limpia y así evitando cortos circuitos.

Cabe mencionar que, se midió continuidad con un multímetro profesional, para verificar que ningún socket banana tuviera continuidad con otro o con el ACM en su respectivo caso. Para la conexión entre los cables del variador de frecuencia y los sockets se usaron terminales tipo argolla calibre 14.

Figura 60. Proceso de cableado final con terminales dieléctricos



Nota. La imagen muestra el proceso de cableado final con las terminles dieléctricas

Evaluación de funcionamiento y dispositivos de seguridad

13.1. Evaluación de funcionamiento de los diagramas cableados y diseñados

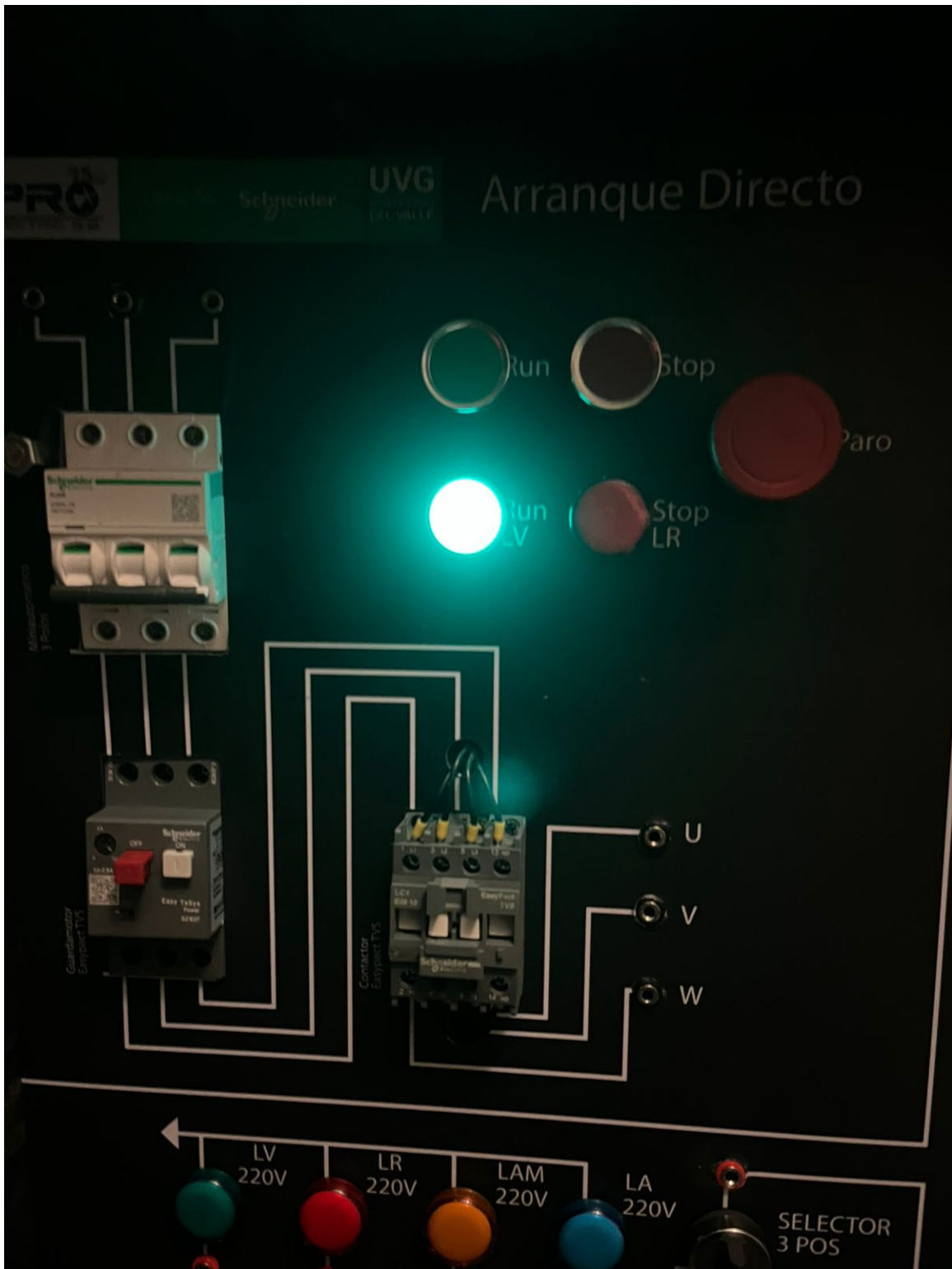
Una vez cableado y verificado que no existiera corto o continuidad entre terminales, se procedieron a las pruebas de funcionamiento de los diagramas diseñados y construidos.

13.1.1. Evaluación de funcionamiento arranque directo

Se probó el circuito construido del arranque directo, el cual funcionó tal y como se diseñó y se simuló en CADeSIMU. Tanto la señal de Run, Stop y Paro de emergencia funcionaron correctamente.

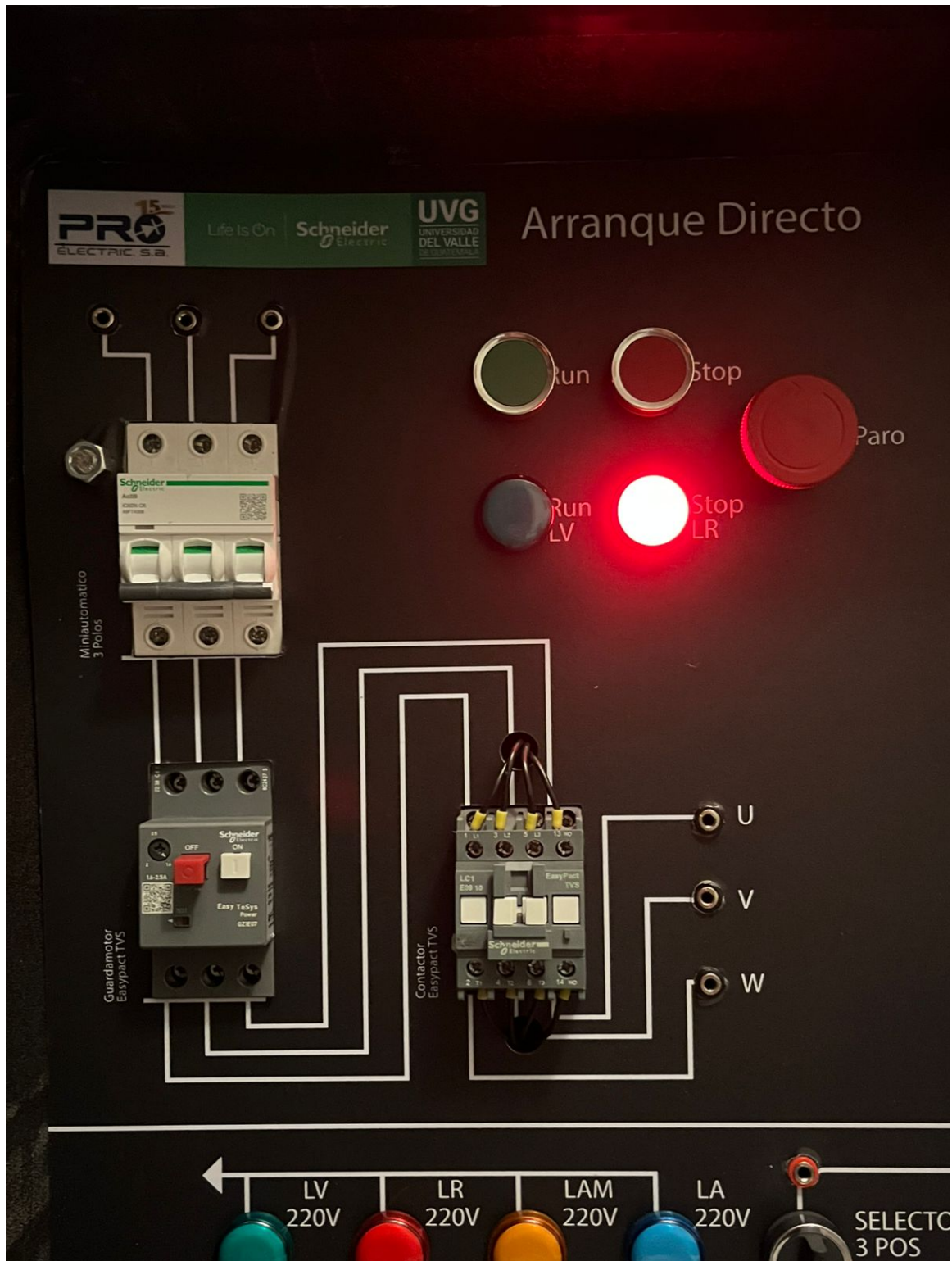
Haciendo énfasis en el paro de emergencia, cuando está presionado cumple con objetivo, el cual es desconectar el control de la potencia, evitando que el usuario accione mientras esté presionado.

Figura 61. Funcionamiento correcto run arranque directo



Nota. La imagen muestra el correcto funcionamiento de la señal de Run del arranque directo, enclavando el contactor y encendiendo la luz piloto verde según lo diseñado.

Figura 62. Funcionamiento correcto paro arranque directo



Nota. La imagen muestra el correcto funcionamiento de la señal de paro de emergencia, desconectando el contactor de potencia, además que por medio de su contacto auxiliar NA, enciende la luz piloto roja que indica que está en paro.

13.1.2. Evaluación de funcionamiento variador de frecuencia

Se probó el circuito construido del variador de frecuencia, esto en los modos de programación propuestos. Se obtuvo un resultado exitoso, debido a que los sockets banana permiten interconectar de diversas formas las entradas del variador.

Esto permite una versatilidad a la hora de usar el variador de frecuencia, debido a que si se tienen mayores conocimientos, se puede utilizar la conexión deseada.

Figura 63. Funcionamiento correcto del variador de frecuencia



Nota. La imagen muestra el correcto funcionamiento del variador de frecuencia, donde en modo de prueba se asignó 1800 RPM para la simulación, donde el variador permite variar la velocidad correctamente.

13.1.3. Evaluación de funcionamiento estrella-delta

Se probó el circuito construido del arranque estrella-delta, esto para verificar que el relé con retardo a la conexión accione los contactores según el tiempo configurado. Se obtuvo un resultado exitoso, donde los contactores se activan según el tiempo configurado en el relé con retardo a la conexión.

Además, el paro de emergencia funcionó correctamente en este arranque, debido a que evita que se vuelva a accionar el sistema mientras esté presionado, además de alertar que está en paro con su contacto auxiliar NA, el cual va conectado a la luz piloto roja.

Figura 64. Funcionamiento correcto del arranque estrella-delta señal run



Nota. La imagen muestra el correcto funcionamiento del arranque estrella-delta, realizando el cambio de contactores según el tiempo configurado con el relé con retardo a la conexión.

Figura 65. Funcionamiento correcto del arranque estrella-delta paro



Nota. La imagen muestra el correcto funcionamiento del arranque estrella-delta, operando correctamente el paro de emergencia, iluminando la luz piloto de señal y evitando que se accione el sistema mientras esté presionado.

Elaboración de guías didácticas

Comprobado el correcto funcionamiento de los dispositivos de control como los de seguridad del panel didáctico, se procedió a realizar guías didácticas las cuales tienen como objetivo complementar la información del arranque presentado y cómo utilizar el panel diseñado.

14.1. Elaboración de guías de fundamentos

Según los diagramas seleccionados, se investigaron tanto las ventajas como las desventajas del método propuesto, esto para que el estudiante pueda comprender el porqué del mismo, además en qué situación puede usar dicho arranque.

También se abordó vía eficiencia energética, debido a que en cada guía de fundamentos, se explican parámetros clave como el voltaje de arranque, corriente de arranque y torque, donde a la hora de diseñar un sistema de arranque de motores es crucial considerarlo.

14.2. Elaboración de guías de funcionamiento

En base al panel elaborado, se realizaron guías de funcionamiento del panel. En primer punto se tomó en cuenta si el panel funciona correctamente, por esto mismo los primeros pasos de las guías es comprobar que el funcionamiento está correcto, de cumplirse esto se puede proseguir al uso del panel como explica la guía o según se desee.

14.3. Elaboración de guías de programación

Debido a que el variador de frecuencia requiere programación según ciertos criterios, es necesario leer el manual para poder llevar a cabo esta programación, pero de no conocer el como utilizar un manual, podría provocar mayor confusión.

Por esto mismo se realizaron guías de programación para el variador ATV610, donde las mismas permiten la fácil programación sin necesidad de extraer toda la información de manual. Es importante mencionar que estas guías no sustituyen el manual, sino mas bien están orientadas para arranques sencillos.

- Selección de métodos de arranque: la investigación realizada permitió identificar y analizar los diversos métodos de arranques de motores trifásicos, siendo arranque directo, estrella-delta, arranque suave y arranque por variador de frecuencia. Cada método fue evaluado tomando en cuenta el torque inicial, la corriente de arranque, la eficiencia energética. Esto permitió seleccionar los métodos mas adecuados para implementar en el panel didáctico, sirviendo como herramienta de enseñanza y experimentación.
- Dimensionamiento y funcionalidad de dispositivos: el dimensionamiento de los dispositivos utilizados como los contactores, guardamotors, miniautomáticos, arrancador suave, variador de frecuencia, cables, pulsadores, selectores, luces piloto garantizó que cada componente pueda soportar la corriente y condiciones de operación. Además, dispositivos como el paro de emergencia permiten la protección del motor y del usuario para garantizar seguridad de uso.
- Diseño de diagramas eléctricos y simulación: la creación de diagramas eléctricos tanto de potencia como de control, con su simulación en CADESIMU, permitieron validar el funcionamiento de cada circuito previo a su implementación física. Esto fue de gran ayuda para identificar y corregir los errores de diseño, asegurando que los equipos utilizados funcionen en cada arranque.
- Diseño CAD del panel didáctico: la creación en 3D de los equipos fue de ayuda para planificar y distribuir físicamente los equipos dentro del panel. Esto asegura ergonomía, accesibilidad y una correcta secuencia de los equipos. Los maletines transportables convierten el panel cad en un entorno seguro, didáctico, sencillo de visualizar y portátil.
- Construcción en base a iteraciones y proceso de ingeniería: la construcción del panel diseñado fue exitosa, esto se debe a un correcto diseño de diagramas, dimensionamiento de equipos y ensamblaje de la parte física vía inventor.
- Pruebas preliminares y funcionalidad: las pruebas al vacío demostraron que los métodos de arranque cableados y ensamblados funcionan según lo esperado, funcionando correctamente los paros de emergencia como los mandos de control y potencia.

Luego de las pruebas realizadas en esta primera fase del trabajo, se identificaron ciertas áreas que no se abordaron en esta entrega. Estas representan oportunidades de mejora se puede profundizar en futuras fases del proyecto. Las recomendaciones de mejora del trabajo a futuro pueden ser las siguientes:

1. Ampliación del análisis experimental de motores y variadores en esta fase se realizaron pruebas básicas con motores trifásicos conectados a variadores de frecuencia. Sin embargo, en estas pruebas no se abordaron experimentos más complejos, como pruebas de eficiencia bajo cargas reales, variación de torque y velocidad bajo carga, o perturbaciones en el sistema. Se podría implementar en futuras fases, mediciones detalladas de eficiencia energética, curvas de arranque, implementación de sistemas con motores, mas para realizar esto será necesario cambiar el calibre del cable y el transformador para soportar la potencia.
2. Desarrollo de estrategias de control esta primera fase del trabajo se basa en principios y fundamentos de los motores y control básicos de variadores y arrancadores. Para futuras etapas se puede implementar estrategias de control mas sofisticadas, como control vectorial, control por PID, el cual permite optimizar la operación del motor y reducir tiempos muertos, mejorando la eficiencia. También se podrán implementar simulaciones complejas las cuales puedan mejorar el sistema PID.
3. Integración de sistema de monitoreo y automatización: el trabajo actual se enfocó en estudio del motor y control local. No se han considerado a gran escala los sistemas de monitoreo remoto, tampoco el control automatizado vía sistemas SCADA o por PLC. Se puede explorar y ampliar en nuevas fases la conectividad del variador o equipos mecánicos con sistemas SCADA,, pudiendo controlar a distancia el sistema y monitorear las variables de interés.

-
- [1] WEG, *WEG fornece bancada didática para instituição de ensino*, [En línea]. Disponible: <https://www.weg.net/institucional/BR/pt/news/produtos-e-solucoes/weg-fornece-bancada-didatica-para-instituicao-de-ensino>, 2025. dirección: <https://www.weg.net/institucional/BR/pt/news/produtos-e-solucoes/weg-fornece-bancada-didatica-para-instituicao-de-ensino>.
 - [2] E. Cornejo y J. Tinajero, «Diseño y construcción de un banco didáctico para pruebas de motores monofásicos,» [En línea]. Disponible: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/10279/1/UPS-GT001366.pdf>, Tesis de licenciatura, Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador, 2015. dirección: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/10279/1/UPS-GT001366.pdf>.
 - [3] Smart Engineering. «Banco modular para el control y automatización de motores.» [En línea]. Disponible: <https://smartengineering.cl/maquetas/banco-modular-para-el-control-y-automatizacion-de-motores>. dirección: <https://smartengineering.cl/maquetas/banco-modular-para-el-control-y-automatizacion-de-motores>.
 - [4] FasterCapital. «Unir la brecha entre la teoría y la práctica.» [En línea]. Disponible: <https://fastercapital.com/es/tema/unir-la-brecha-entre-la-teoria-y-la-practica.html>. dirección: <https://fastercapital.com/es/tema/unir-la-brecha-entre-la-teoria-y-la-practica.html>.
 - [5] O. Ribas. «El proceso de enseñanza-aprendizaje de la automatización en la carrera de electromecánica.» [En línea]. Disponible: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1990-86442019000400089. dirección: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1990-86442019000400089.
 - [6] Organización Internacional del Trabajo. «Mejorar la enseñanza y formación técnica y profesional para hacer frente al desajuste de cualificaciones y mano de obra.» [En línea]. Disponible: <https://www.ilo.org/es/resource/news/mejorar-la-enseñanza-y-formación-técnica-y-profesional-para-hacer-frente-al>. dirección: <https://www.ilo.org/es/resource/news/mejorar-la-enseñanza-y-formación-técnica-y-profesional-para-hacer-frente-al>.

- [7] L. Farina. «Motores eléctricos trifásicos: usos, componentes y funcionamiento.» [En línea]. Disponible: https://www.editores-srl.com.ar/sites/default/files/ie330_farina_motores_electricos.pdf. dirección: https://www.editores-srl.com.ar/sites/default/files/ie330_farina_motores_electricos.pdf.
- [8] D. Goodwin. «3-Phase Motor Types: Synchronous and Induction Motors.» [En línea]. Disponible: <https://control.com/technical-articles/3-phase-motor-types-synchronous-and-induction-motors>. dirección: <https://control.com/technical-articles/3-phase-motor-types-synchronous-and-induction-motors>.
- [9] saVRee, *Motor eléctrico de inducción (jaula de ardilla) explicado*, [En línea]. Disponible: <https://savree.com/es/enciclopedia/motor-electrico-de-induccion-jaula-de-ardilla>, 2025. dirección: <https://savree.com/es/enciclopedia/motor-electrico-de-induccion-jaula-de-ardilla>.
- [10] Instema. «Partes de un motor eléctrico jaula de ardilla.» [En línea]. Disponible: <https://instema.com/2024/04/23/partes-de-un-motor-electrico-jaula-de-ardilla/>. dirección: <https://instema.com/2024/04/23/partes-de-un-motor-electrico-jaula-de-ardilla/>.
- [11] Shutterstock, *Estator y rotor de motor eléctrico 3D*, [En línea]. Disponible: <https://www.shutterstock.com/image-illustration/stator-rotor-electric-motor-3d-260nw-2147430907.jpg>, 2023. dirección: <https://www.shutterstock.com/image-illustration/stator-rotor-electric-motor-3d-260nw-2147430907.jpg>.
- [12] Energía Controlada, *Motor eléctrico de inducción de jaula de ardilla*, [En línea]. Disponible: <https://energiacontrolada.com/images/preguntas/motorelectrico/rotoe2.png>. dirección: <https://energiacontrolada.com/images/preguntas/motorelectrico/rotoe2.png>.
- [13] HVH Industrial Solutions, *Rodamiento de bolas de ranura profunda de una hilera JAF 63001 2RS*, [En línea]. Disponible: https://hvhindustrial.com/images/frontend_images/blogs/1610371146bearing_12.jpg, 2023. dirección: https://hvhindustrial.com/images/frontend_images/blogs/1610371146bearing_12.jpg.
- [14] Schneider Electric. «¿Qué es un contactor? ¿Cómo seleccionar un contactor?» [En línea]. Disponible: <https://www.se.com/es/es/faqs/FAQ000263192>. dirección: <https://www.se.com/es/es/faqs/FAQ000263192>.
- [15] Schneider Electric. «¿Qué es un guardamotor/disyuntor? ¿Cómo seleccionar un guardamotor/disyuntor?» [En línea]. Disponible: <https://www.se.com/es/es/faqs/FAQ000263842>. dirección: <https://www.se.com/es/es/faqs/FAQ000263842>.
- [16] Schneider Electric, *Arrancadores suaves*, [En línea]. Disponible: <https://www.se.com/cr/es/product-subcategory/2940-arrancadores-suaves>. dirección: <https://www.se.com/cr/es/product-subcategory/2940-arrancadores-suaves>.
- [17] Schneider Electric, *Variadores de frecuencia*, [En línea]. Disponible: <https://www.se.com/es/es/product-category/2900-variadores-de-frecuencia>. dirección: <https://www.se.com/es/es/product-category/2900-variadores-de-frecuencia>.

- [18] K. Wan, *¿Por qué la corriente de arranque del motor es grande y la corriente es pequeña después del arranque?* [En línea]. Disponible: <https://iecmotores.com/es/why-is-the-starting-current-of-the-motor-large-and-the-current-is-small-after-starting/>, 2024. dirección: <https://iecmotores.com/es/why-is-the-starting-current-of-the-motor-large-and-the-current-is-small-after-starting/>.
- [19] Elita. «Seminar.» [En línea]. Disponible: <https://www.slideserve.com/elita/seminar>. dirección: <https://www.slideserve.com/elita/seminar>.
- [20] Risoul, *Arrancadores suaves: funcionamiento, beneficios y aplicaciones*, [En línea]. Disponible: <https://www.risoul.com.mx/blog/arrancadores-suaves-funcionamiento-beneficios-y-aplicaciones>, 2021. dirección: <https://www.risoul.com.mx/blog/arrancadores-suaves-funcionamiento-beneficios-y-aplicaciones>.
- [21] DAFA, *Diferentes métodos de arranque del motor eléctrico*, [En línea]. Disponible: <https://motoresdafa.com.ar/metodos-de-arranque-del-motor-electrico>, 2019. dirección: <https://motoresdafa.com.ar/metodos-de-arranque-del-motor-electrico>.