

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA,
ELECTRÓNICA Y SISTEMAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA
ELÉCTRICA



ESTUDIO Y ANÁLISIS EXPERIMENTAL PARA LA PROTECCIÓN
DE LAS CORRIENTES DE ARRANQUE EN MOTORES
ELECTRICOS TRIFÁSICOS DE INDUCCIÓN 2016

TESIS

PRESENTADA POR:

GILMER ADRIÁN FLORES MAMANI

JAVIER QUISPE BAUTISTA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

PUNO – PERÚ

2018

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO - PUNO
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA,
ELECTRÓNICA Y SISTEMAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA

ESTUDIO Y ANÁLISIS EXPERIMENTAL PARA LA PROTECCIÓN DE LAS
CORRIENTES DE ARRANQUE EN MOTORES ELÉCTRICOS TRIFÁSICOS
DE INDUCCIÓN 2016

TESIS PRESENTADA POR:

GILMER ADRIAN FLORES MAMANI
JAVIER QUISPE BAUTISTA



PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

APROBADA POR EL JURADO REVISOR CONFORMADO POR:

PRESIDENTE

:
M.SC. JUAN RENZO ILLACUTIPA MAMANI

PRIMER MIEMBRO

:
M.SC. HENRY SHUTA LLOCLLA

SEGUNDO MIEMBRO

:
ING. FELIPE CONDORI CHAMBILLA

DIRECTOR DE TESIS

:
M.SC. ANGEL MARIO HURTADO CHÁVEZ

TEMA: Motores Eléctricos Trifásicos.
ÁREA: Ingeniería Eléctrica.

FECHA DE SUSTENTACIÓN 14 DE SEPTIEMBRE DEL 2018

DEDICATORIA

A mi querido padre Victor Adrian Flores Ticona, por sus enseñanzas y consejos que me sirvieron para cumplir mis metas, que aun sin su presencia siempre lo tendré presente en mi vida.

A mí querida madre Angelica por haberme apoyado incondicionalmente y brindado todo su cariño y amor.

A mi novia Elizabeth por su cariño, comprensión durante este tiempo junto a mí, así como su apoyo incondicional en los buenos y malos momentos.

Gilmer Adrian Flores Mamani

A mis padres Basilio y Berta, mis hermanos Jéssica y Richard por saber comprenderme en esta larga aventura.

A mi tíos, primos y familiares, en especial a ese amigo y hermano que se convirtió en energía cósmica, mi primo Fredy. Gracias por sus sabias palabras, recomendaciones, las largas e incansables horas de charlas e intercambio de experiencias. Gracias hermano.

Javier Quispe Bautista

AGRADECIMIENTO

Agradezco a nuestro padre celestial. Por derramar muchas bendiciones en mi hogar.

Agradezco a mis tíos Fidel, Claudia y en especial a mi abuelita Matilde que siempre estuvieron apoyando incondicionalmente en toda mi vida estudiantil.

Gilmer Adrian Flores Mamani

A mis amigos en todas partes del mundo, y que forman parte de esa hermosa familia de hermanos desintegrados, con su experiencia, sabiduría, errores y ejemplo, hacen que esta vida sea más llevadera, amena, divertida y entendible.

Javier Quispe Bautista

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA	3
AGRADECIMIENTO	5
ÍNDICE GENERAL	6
ÍNDICE DE FIGURAS	8
ÍNDICE DE TABLAS	11
ÍNDICE DE ACRÓNIMOS	12
RESUMEN	13
ABSTRACT	14
CAPÍTULO I	15
INTRODUCCIÓN	15
1.1 Planteamiento y Definición del Problema	16
1.2 Justificación de la Investigación	17
1.3 Objetivos del Estudio	19
1.4 Hipótesis.	20
1.5 Operacionalización de Variables	20
CAPÍTULO II	22
REVISIÓN DE LITERATURA	22
2.1 Antecedentes de la Investigación.....	22
2.2 Conceptos Generales de las Máquinas Eléctricas.....	25
2.3 Fundamentos de Magnetismo	26
2.4 Motores eléctricos.....	30
2.5 El Contactador Electromagnético.....	42
A) Control de un Circuito Resistivo	47

2.6 El Relé Térmico	48
2.7 Comando y Protección de Motores Eléctricos.....	52
2.8 Tipos de Arranque de Motores Trifásico de Inducción	63
2.9 Coordinación de Protecciones	68
CAPÍTULO III.....	71
MATERIALES Y MÉTODOS	71
3.1 Tipo de Investigación	71
3.2 Población y Muestra	71
3.3 Material Experimental	73
3.4 Técnicas e Instrumentos para recolectar Información	73
3.5 Técnicas para el procesamiento y análisis de datos	74
3.6 Descripción de las Prácticas	74
CAPÍTULO IV	94
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	94
4.1 Resultados Arranque Directo:.....	94
4.2 Resultados de Arranque Estrella Triangulo	95
4.3 Resultados de la Programación del variador Altivar 12	96
4.4 Resultados de Arranque mediante un Variador de Velocidad.....	97
4.5 Selección de los dispositivos de protección para la instalación de motores	98
eléctricos trifásicos de inducción, en arranque estrella triangulo	98
CONCLUSIONES	105
RECOMENDACIONES.....	106
REFERENCIAS	107
ANEXOS	108

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1: Formas de onda continua y alterna.....	26
Figura 2.2: Flujo magnético alrededor de un conductor	27
Figura 2.3: Inducción Electromagnética	28
Figura 2.4: Fuerza magnética en un conductor debido a la circulación de corriente y campo magnético.....	30
Figura 2.5: Motor Eléctrico	33
Figura 2.6: Estator y rotor.....	33
Figura 2.7: Sección de motor eléctrico	34
Figura 2.8: Comprobación del campo magnético giratorio	36
Figura 2.9: Conexiones en los bobinados trifásicos	38
Figura 2.10: Colocación de los puentes sobre las placas de bornes para conectar el motor.	39
Figura 2.11: Placa de bornes de motor trifásico	40
Figura 2.12: Distribución de los extremos de los bobinados en la placa de bornes y sus denominaciones	40
Figura 2.13: Arranque de un motor trifásico en forma manual	41
Figura 2.14: Contactor Electromagnético.....	42
Figura 2.15: Despiece de un Contactor.....	44
Figura 2.16: Los polos	45
Figura 2.17: Contactos NA/NC	46
Figura 2.18: Relé de Sobrecarga Bimetálico	49
Figura 2.19: Despiece de un Relé Térmico.....	51
Figura 2.20: Símbolos de los Seccionadores de los Interruptores Seccionadores	54

Figura 2.21: Interruptores seccionadores de mando giratorio	55
Figura 2.22: Interruptores seccionadores ampliable con módulos	56
Figura 2.23: Fusibles.....	58
Figura 2.24: Disyuntores Magnéticos	59
Figura 2.25: Curvas de disparo de relés térmicos	63
Figura 2.26: Curva Corriente/Velocidad/Par del Motor	64
Figura 2.27: Curva Corriente/Velocidad/Par del Motor	65
Figura 2.28: Curva Corriente/Velocidad/Par del Motor	66
Figura 2.29: Esquema de base de un convertidor	67
Figura 2.30: Interfaz del Software	70
Figura 3.1: Vista de planta del laboratorio de Maquinas Eléctricas II	72
Figura 3.2: Diseño de circuito de mando y fuerza de Arranque Directo	80
Figura 3.3: Simulación de Funcionamiento de Arranque Directo	82
Figura 3.4: Diseño de circuito de mando y fuerza de Arranque Estrella Triangulo	83
Figura 3.5: Simulación de Funcionamiento en conexión Estrella	85
Figura 3.6: Simulación de Funcionamiento en conexión Triangulo.....	87
Figura 3.7: Diseño de circuito de mando y fuerza con variador de velocidad	88
Figura 3.8: Simulación de Funcionamiento con variador de Velocidad.....	89
Figura 3.9: Conexionado de un variador de velocidad ALTIVAR 12.....	90
Figura 4.1: Curva de arranque directo de motor 1.5 HP	94
Figura 4.2: Curva de arranque estrella triangulo de motor 1.5 HP	95
Figura 4.3: Curva de arranque mediante variador de velocidad de motor 1.5 HP.....	97

Figura 4.4: Termomagnético seleccionado para el motor.....	99
Figura 4.5: Curva de disparo del termomagnético.....	100
Figura 4.6: Curva de durabilidad del contactor	101
Figura 4.7: Selección del relé térmico	102

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1: Operacionalización de variables	21
Tabla 3.1: Técnicas e instrumentos para recolectar información	74
Tabla 3.2: Parámetros del variador de velocidad.....	91
Tabla 3.3: Parámetros básicos del variador de velocidad	92
Tabla 3.4: Parámetros básicos del variador de velocidad	92
Tabla 3.5: Formato para la medición de las corrientes de arranque	93
Tabla 4.1: Dato de arranque de motor de 1.5 HP trifásico	94
Tabla 4.2: Datos de Arranque de motor Trifásico de 1.5 HP	95
Tabla 4.3: Ajustes de acuerdo a la placa de características	96
Tabla 4.4: Ajustes de los parámetros básicos del motor.....	96
Tabla 4.5: Ajustes de los parámetros de control.....	97
Tabla 4.6: Datos de arranque mediante variador de velocidad.....	97
Tabla 4.7: Características del motor	98

ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

- (AC) Corriente Alterna
- (DC) Corriente Directa
- (HP) Horse Power
- (KM) Contactor Electromecánico
- (RPM) Revoluciones por Minuto
- (CADE SIMU) Software Electrotécnico
- (IEC) International Electrotechnical Commission

RESUMEN

El motor trifásico de inducción es el motor más usado en el mundo de las instalaciones industriales. Lo que caracteriza al motor trifásico es el alto consumo de intensidad cuando lo alimentamos con carga a través de un arranque directo. Cuando aplicamos tensión directa lo que obtenemos es una sobreintensidad que puede causar caídas de tensión de red y problemas en los sistemas mecánicos, el objetivo principal del control de motores es gobernar las distintas etapas del motor como son: el paro, el arranque, la velocidad y el par. En la presente tesis se pretende realizar un estudio y análisis de las corrientes de arranque en motores trifásicos de inducción para una mejor operación y protección de los motores eléctricos trifásicos de inducción. Para lograr este objetivo se realizaron ensayos experimentales de los distintos métodos de arranque, de acuerdo a manuales de laboratorio que se proporcionaran para elegir el método más óptimo. En el siguiente objetivo es la implementación de un módulo didáctico para el estudio de mando y protección de motores y por último se realizará la selección de dispositivos de mando y protección que permitan la continuidad de servicio del sistema, dichos ensayos se realizaran en los ambientes del laboratorio de máquinas eléctricas II ubicado en las instalaciones de la Universidad Nacional del Altiplano.

PALABRAS CLAVES: Motores, Sobreintensidad, Arranque, Protección.

ABSTRACT

The three-phase induction motor is the most used motor in the world of industrial installations. What characterizes the three-phase motor is the high current consumption when we feed it with load through a direct start. When we apply direct voltage what we get is an overcurrent that can cause network voltage drops and problems in mechanical systems, the main objective of motor control is to govern the different stages of the engine such as: stop, start, speed and the pair. In the present thesis it is tried to realize a study and analysis of the starting currents in three-phase induction motors for a better operation and protection of the three-phase induction electric motors. To achieve this objective, experimental tests of the different starting methods will be carried out, according to laboratory manuals that will be provided to choose the most optimal method. In the following objective is the implementation of a didactic module for the study of control and protection of motors and finally the selection of control and protection devices that allow the continuity of service of the system, these tests will be carried out in the environments of the laboratory of electrical machines II located in the facilities of the National University of the Altiplano.

KEY WORDS: Motors, Overcurrent, Start, Protection.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

El control de motores se puede decir que es una necesidad desde el surgimiento de los motores eléctricos, la gran gama de aplicaciones de estos mismos dentro de distintos procesos industriales requiere de la automatización de los procesos industriales, conforme avanza el tiempo se han implementado diversos sistemas de control donde cada vez es más notoria la electrónica de potencia.

En el Capítulo I se aborda la primera parte del proyecto, como son el planteamiento del problema, justificación del problema, los objetivos generales y específicos. En el Capítulo II se desarrolla las bases en las que se fundamenta el estudio realizado, los conceptos desarrollados servirán para el mejor entendimiento de la presente tesis. El Capítulo III describe la metodología empleada, técnicas para recolectar información, técnicas para el procesamiento de datos, tratamiento de datos, descripción de las características del proyecto. En el Capítulo IV, se describe los resultados y la discusión de las tablas elaboradas donde se aprecian las mediciones realizadas a los distintos tipos de arranque en motores trifásicos de inducción. Posteriormente se realizaron las gráficas de estas curvas de arranque y con ello la selección de los dispositivos de mando y protección para finalmente comprar con otras fuentes.

1.1 Planteamiento y Definición del Problema

En los últimos años la evolución de la tecnología ha obligado a la modernización de muchas empresas con la finalidad de mantener y mejorar su productividad. Actualmente el motor eléctrico juega un papel preponderante en el progreso industrial, pues constituye la fuerza principal que impulsa las máquinas y procesos en las fábricas e instalaciones industriales. Debido a la importancia que tiene la operación continua de los motores eléctricos, es necesario contar con una adecuada protección. Durante el arranque de un motor, existe el inconveniente del alto consumo de corriente durante su proceso de arranque, para lograr salir de su estado de inercia. Existe una variedad de técnicas que utiliza contactores y equipos auxiliares que mediante una lógica secuencial pueden atenuar estos picos de corriente, evitando los problemas de caída de tensión en las redes.

El presente trabajo de investigación plantea la realización de ensayos de laboratorio para conocer los distintos tipos de métodos que mitiguen las corrientes de arranque, dando énfasis a la adecuada selección de los dispositivos de protección de acuerdo a la normatividades vigentes. La elaboración de los circuitos de fuerza y mando serán diseñados con el software CADE SIMU.

De esta manera se plantea la necesidad de realizar un estudio y análisis experimental para la protección de las corrientes de arranque en motores eléctricos trifásicos de inducción como complemento de la teoría presentada en la asignatura de Maquinas Eléctricas II.

1.1.1 Formulación del Problema

¿En qué medida el estudio y análisis experimental para la protección de las corrientes de arranque en motores eléctricos trifásicos de inducción permitirá una mejor operación y protección de los motores eléctricos trifásicos de inducción?

- ¿El identificar los parámetros más importantes en el mando y protección de los motores eléctricos trifásicos permitirá una mejor operación y protección de los mismos?

- ¿En qué medida el conocer los distintos métodos de arranque de motores eléctricos trifásicos permitirá la disminución de la corriente de arranque?

- ¿El identificar los parámetros de operación y métodos de arranque de motores eléctricos trifásicos permitirá una buena selección de los equipos de mando y protección óptimos para la operación de los mismos?

1.2 Justificación de la Investigación

El acelerado avance tecnológico que se observa actualmente en el mundo, y las múltiples aplicaciones que se puede dar a los motores eléctricos, motiva el planteamiento de proyectos al menos exploratorios, para una posible y futura implementación de equipos y materiales, cada vez mejores en el campo de la automatización que sin duda hace un eficiente trabajo en la industria.

El estudio y análisis experimental para la protección de las corrientes de arranque en motores eléctricos trifásicos, tema del presente trabajo de graduación puede llegar a ser en el futuro, una solución a los diferentes problemas que puede presentarse en las industrias.

1.2.1 Justificación Académica.

La automatización industrial es una de las áreas que plantea grandes perspectivas de expansión. El estudio de esta área científica puede proporcionar una visión más generalizada y toma de contacto con tecnologías extendidas y en auge, en el mundo no solo de la informática, sino también de los entornos industriales.

La simulación de una automatización en el control de motores eléctricos representa la base para la implementación de un laboratorio de automatización industrial que permita a los estudiantes estar en contacto con los elementos aplicados a la automatización tales como contactores, interruptores termomagnéticos, relés, variadores, arrancadores suaves, etc. Permitiendo la capacitación de los alumnos en materia de planeación y manejo de proyectos de automatización con procesos de diversa índole.

1.2.2 Justificación Técnica

Con el desarrollo de este proyecto de grado se posibilitará la formación en el conocimiento práctico de los futuros ingenieros mecánicos eléctricos, en el área de motores eléctricos y en consecuencia redundará en un incentivo hacia la generación de nuevas competencias de los profesionales egresados en el área de selección, arranque, control y protección de motores eléctricos.

El conocimiento técnico que se logrará mediante el estudio y análisis de las corrientes de arranque generará en el estudiante una mayor confianza y visualización de los aspectos reales a los que debe afrontarse cuando deba hacer uso de dichos motores. De esta manera el egresado presentará soluciones más acertadas cuando deba hacer uso de los conceptos de motores eléctricos en su vida profesional.

1.3 Objetivos del Estudio

1.3.1 Objetivo General

- Realizar un estudio y análisis experimental para la protección de las corrientes de arranque en motores eléctricos trifásicos de inducción para una mejor operación y protección de los motores eléctricos trifásicos de inducción.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Determinar a través del diseño e implementación de un módulo didáctico para el estudio de mando y protección de motores eléctricos trifásicos, los parámetros más importantes para una mejor operación y protección de los mismos.
- Determinar a través de la implementación de manuales de laboratorio, de una correcta forma de elegir el método de arranque óptimo de motores eléctricos trifásicos
- Determinar a través del diseño e implementación de un módulo didáctico para el estudio de mando y protección de motores eléctricos trifásicos de un manual de laboratorio para la buena selección de los equipos y dispositivos óptima y económicamente rentables para el mando y protección de motores eléctricos trifásicos.

1.4 Hipótesis.

1.4.1 Hipótesis General

- El estudio y análisis experimental para la protección de las corrientes de arranque en motores eléctricos trifásicos de inducción permitirá una mejor operación y protección de los motores eléctricos trifásicos de inducción.

1.4.2 Hipótesis Específica

- El identificar los parámetros más importantes permitirá la selección adecuada de los métodos disminuyan las corrientes de arranque en motores eléctricos trifásicos.
- La selección adecuada de los dispositivos de protección permitirá minimizar los daños en el motor y sus componentes.
- Con la adecuada coordinación de protecciones de los dispositivos de protección permitirán la continuidad de servicio.

1.5 Operacionalización de Variables

1.5.1 Variables Independientes

- Los métodos de arranque

1.5.2 Variables dependientes

- Corriente

Tabla 1.1: Operacionalización de variables

Variables	Dimensiones	Indicadores
❖ Independiente		
Sistemas de arranque	Los métodos que minimicen las corrientes de Arranque	Prácticas de laboratorio
❖ Dependiente		
Corriente	Incremento de las corrientes de Arranque	Amperios

Elaboración por el equipo de trabajo

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Antecedentes de la Investigación

Entre los antecedentes del problema a citar

2.1.1 Antecedentes de la Investigación

Autor: Eybar Farith Contreras Villamizar

Año: 2010

Tema: “DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN BANCO DE PRACTICAS EN MOTORES ELÉCTRICOS, COMO APOYO A LA ASIGNATURA DISEÑO DE MAQUINAS II”

Resumen:

En el ejercicio de la profesión, los ingenieros mecánicos deben enfrentarse a los sistemas electromecánicos cuya fuente motriz generalmente son motores eléctricos. Es por esto; que el objetivo de este proyecto fue generar una serie de prácticas para que los estudiantes de pregrado de ingeniería mecánica adquirieran un conocimiento técnico que complemente los conocimientos teóricos adquiridos en la asignatura diseño de máquinas II. El control industrial de motores eléctricos se enfoca generalmente a su arranque, variación de velocidad, inversión de giro y operación remota de los circuitos de control. Siendo necesario proteger la operación de los mismos mediante la adecuada selección de los elementos de protección según normatividades. Además, es fundamental reconocer y diferenciar tipos de rotores y motores al observarlos físicamente.

Objetivo:

Contribuir con la formación de ingenieros mecánicos de gran calidad técnica mediante el diseño y construcción de un banco para la realización de prácticas en motores eléctricos, como apoyo a la asignatura diseño de máquinas II.

Conclusiones:

- Debido a que los motores eléctricos son ampliamente utilizados en la industria, el conocimiento práctico al respecto de su control debe ser una competencia del ingeniero mecánico que está en continuo contacto con ellos, de esta manera el ingeniero mecánico adquiere un mayor control del mantenimiento y operación de los motores eléctricos.
- El control de los parámetros operativos de un motor eléctrico tales como el sentido de giro y la velocidad, permiten al ingeniero mecánico simplificar los sistemas de transmisión mecánica, eliminando en algunos casos incluso las cajas reductoras e inversoras.

2.1.2 Antecedentes de la Investigación 2

Autor: Pérez Juárez José Ángel

Año: 2012

Tema: “SELECCIÓN DE PROTECCIONES PARA MOTORES ELÉCTRICOS DE UNA EMPRESA DE MUEBLES (GRUPO TANDEMEX)”

Resumen:

Debido a la importancia que tienes la operación continúa de las centrales generadores de electricidad, es necesario contar con una adecuada coordinación de protecciones. La coordinación de protecciones se define como el proceso de determinar los ajustes en los dispositivos de protección para una instalación eléctrica.

En el presente trabajo se pretende realizar la selección adecuada de protecciones de motores eléctricos de una empresa fabricante de muebles ya que con las que cuenta la empresa no protegen a los motores adecuadamente de las fallas de cortocircuito y así como los ajustes que se deben realizar a los motores principales de la empresa.

Conclusiones:

Para tener una operación selectiva en los dispositivos de protección es necesario realizar los ajustes adecuados en corriente y tiempo para dichos dispositivos, de tal manera que opere el dispositivo más cercano a la falla y sin que opere otros equipos que no hubiesen tenido en su zona de operación.

2.1.3 Antecedentes de la Investigación

Autor: Iván Erick Landa Delgado

Año: 2013

Tema: “MANUAL DE CONTROL PARA MOTORES ELÉCTRICOS TRIFÁSICOS”

Resumen:

Cuando se menciona la frase control de motores se piensa principalmente en los conceptos de velocidad, movimiento, potencia, entre otras; las cuales son fundamentales en el control de motores. Una de las cosas importantes dentro de este tema es la protección, la cual está ligada en todos los sistemas de control eléctrico. La protección eléctrica es parte primordial del control, pues se encarga de evitar daños dentro del circuito

de control, así como en el mismo motor o sus conductores, e incluso daños que pueden afectar a otros equipos y al personal operario.

Conclusiones:

- El conocimiento de los distintos métodos de control de motores es de vital importancia en la industria, tanto para temas de instalación como para temas de mantenimiento y prevención de diferentes anomalías que se puedan presentar. Dentro de una planta se requiere que el equipo se encuentre en condiciones óptimas de operación, de no suceder esto pueden producir accidentes y pérdidas económicas para la empresa.
- El arranque de motores es el proceso en el cual pueden surgir mayores problemas en un motor eléctrico, por esta razón es de gran importancia el uso de arrancadores específicos para las tareas a realizar por el motor, y así protegerlo de posibles fallas que puedan llegar a generar gastos económicos.

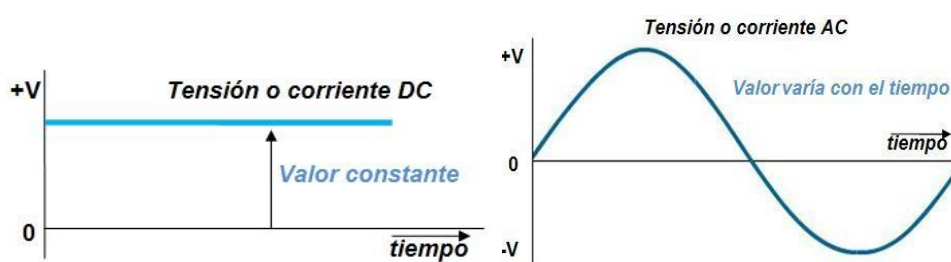
2.2 Conceptos Generales de las Máquinas Eléctricas

Las máquinas eléctricas son el resultado de una aplicación inteligente de los principios del electromagnetismo y en particular de la ley de inducción de Faraday. Las máquinas eléctricas se caracterizan por tener circuitos eléctricos y magnéticos entrelazados. Durante todo el proceso histórico de su desarrollo desempeñaron un papel rector, que determinaba el movimiento de toda la ingeniería eléctrica, merced a su aplicación en los campos de la generación, transporte, distribución y utilización de la energía eléctrica. Las máquinas eléctricas realizan una conversión de energía de una forma a otra, una de las cuales, al menos, es eléctrica. (Contreras, 2010)

2.2.1 Corriente Eléctrica

La AC se caracteriza porque su sentido de circulación varía periódicamente, debido a que su polaridad varía continuamente, es por lo tanto un tipo de corriente *bidireccional*, al contrario de la DC que es *unidireccional*. La comparación de la forma de onda de estos dos tipos de corriente se muestra en la (figura 2.1).

Figura 2.1: Formas de onda continua y alterna



Fuente: (Contreras, 2010)

2.3 Fundamentos de Magnetismo

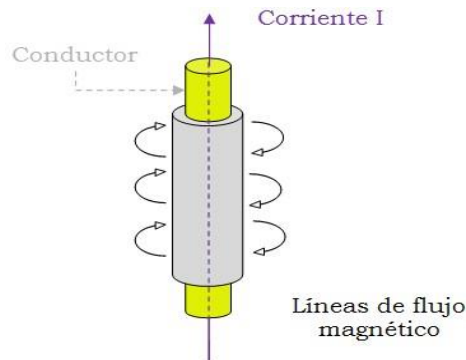
Un imán puede ser permanente o temporal. Si una pieza de hierro o de metal se magnetiza y retiene el magnetismo se le conoce como imán permanente, este se usa en motores de pequeño tamaño.

Cuando una corriente circula a través de una bobina, se crea un campo magnético con un polo norte y sur, como si se tratara de un imán permanente. Sin embargo cuando la corriente se interrumpe, desaparece el campo magnético. A este tipo de magnetismo temporal se le conoce como electromagnetismo. Cuando una corriente eléctrica circula a través de un conductor, las líneas de fuerza magnética (flujo magnético) se crean alrededor del mismo (figura 2.2).

Cuando la sección de un conductor se hace pasar a través de un campo magnético, se dice que se induce un voltaje y se crea la electricidad en el conductor o alambre. De

esta manera puede comprobarse la relación entre el magnetismo y la electricidad.
(Contreras, 2010)

Figura 2.2: Flujo magnético alrededor de un conductor

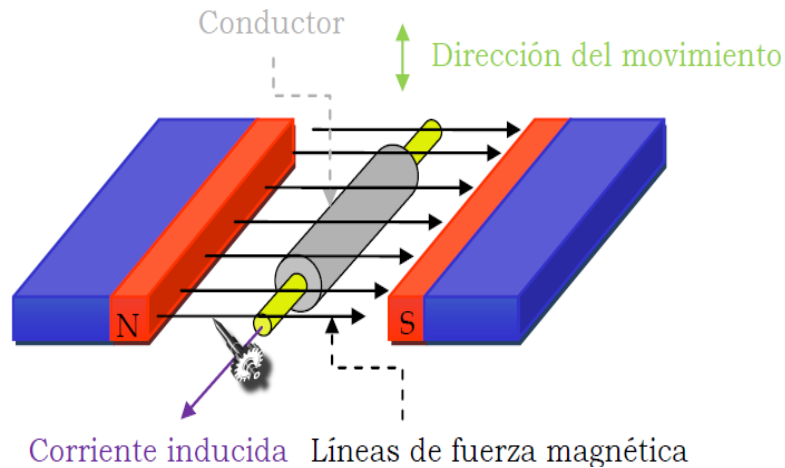


Fuente: (Contreras, 2010)

2.3.1 La Inducción Electromagnética

Si el alambre conductor se mueve dentro de un campo magnético, de manera que el conductor corte las líneas de dicho campo, se origina una fuerza electromotriz producida en dicho conductor. Induciendo la fuerza electromotriz, mediante el movimiento relativo entre el conductor y el campo magnético, se presenta lo que se conoce como *la inducción electromagnética*, se inducirá un voltaje en este conductor y mediante el uso de un medidor puede comprobarse que circula corriente por el conductor, como se muestra en la (figura2.3).(Contreras, 2010)

Figura 2.3: Inducción Electromagnética



Fuente: (Contreras, 2010)

2.3.2 La ley de Inducción Electromagnética de Faraday

En 1831 Joseph Faraday hizo uno de los descubrimientos más importantes del electromagnetismo que actualmente se conoce como la: la ley de inducción de electromagnética de Faraday, que relaciona fundamentalmente el voltaje y el flujo en el circuito. El enunciado de la ley es:

- Si se tiene un flujo magnético que eslabona a una espira y además, varía con el tiempo se induce un voltaje entre los terminales.
- El valor del voltaje inducido es proporcional al índice de cambio del flujo por definición y de acuerdo al Sistema Internacional de Unidades, cuando el flujo varía en 1 Weber por segundo, se induce un voltaje de 1 Volt entre sus terminales; en consecuencia si el flujo varía entre una bobina de N espiras, el voltaje inducido se da por la expresión:

$$E = N \Delta\Phi / \Delta T \dots\dots\dots(2.1)$$

Donde:

E = Voltaje inducido en Volts

N = Numero de espiras de la bobina

$\Delta\Phi$ = Cambio de flujo dentro de la espira o bobina

ΔT = Intervalo de tiempo durante el cual el flujo cambia

La ley de Faraday, establece las bases para las aplicaciones prácticas en el estudio de transformadores, generadores y motores de corrientes alterna.

2.3.3 Voltaje Inducido en un Conductor

En algunos motores y generadores, los conductores o bobinas se mueven respecto a un flujo constante. El movimiento rotativo produce un cambio en el eslabonamiento de flujo de las bobinas y, en consecuencia un voltaje inducido de acuerdo con la ley de Faraday de

la siguiente manera:

$$E = B \cdot L \cdot V \dots\dots\dots (2.2)$$

Donde:

E = Voltaje inducido en Volts

B = Densidad activa de los conductores en el campo magnético

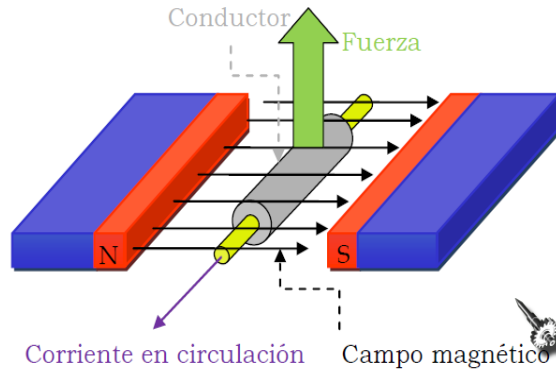
L = Longitud activa de los conductores en el campo magnético

V = Velocidad relativa del conductor m/s

Los motores eléctricos operan bajo el principio de que un conductor colocado dentro de un campo magnético experimenta una fuerza cuando una corriente circula por el mismo como se ve en la (figura 2. 4). (Contreras, 2010)

La magnitud de la fuerza varía directamente con la intensidad del campo magnético y la magnitud de la corriente que circula por el conductor, de acuerdo con la expresión:

Figura 2.4: Fuerza magnética en un conductor debido a la circulación de corriente y campo magnético



Fuente: (Contreras, 2010)

$$F = I \cdot B \cdot L \dots \dots \dots (2.3)$$

Donde:

F = Fuerza en Newtons

I = Corrientes de circulación

B = Flujo magnético weber/m² o tesla

L = Longitud del conductor en metros

En general el rotor de un motor eléctrico queda dentro del campo magnético creado por el estator. Se induce una corriente dentro del rotor y la fuerza resultante produce rotación.

2.4 Motores eléctricos

Los motores eléctricos son máquinas eléctricas que transforman en energía mecánica la energía eléctrica que absorben por sus bornes.

Atendiendo al tipo de corriente utilizada para su alimentación, se clasifican en:

- Motores de corriente continua

- De excitación independiente.
- De excitación serie.
- De excitación (shunt) o derivación.
- De excitación compuesta (compound).

Motores de Corriente Alterna

- Motores asíncronos.
- Motores asíncronos.

Monofásicos.

- De bobinado auxiliar.
- De espira en cortocircuito.
- Universal

Trifásicos

- De rotor bobinado.
- De rotor en cortocircuito (jala de ardilla).

Todos los motores de corriente continua, así como los síncronos de corriente alterna incluidos en la clasificación anterior tienen una utilización y unas aplicaciones muy específicas.

Los motores de corriente alterna asíncronos, tanto monofásicos como trifásicos, son los que tienen una aplicación más generalizada gracias a su facilidad de utilización, poco mantenimiento y bajo coste de fabricación. Por ello, tanto en esta unidad como en la siguiente

nos centraremos en la constitución, el funcionamiento y la puesta en marcha de los motores asíncronos de inducción.

La velocidad de sincronismo de los motores eléctricos de corriente alterna viene definida por la expresión:

$$n=60f/p.....(2.4)$$

Donde:

N = Numero de revoluciones por minuto.

F = frecuencia en la red.

P = número de pares de polos de la máquina.

Se da el nombre de motor asíncrono al motor de corriente alterna cuya parte móvil gira a una velocidad distinta a la de sincronismo.

Aunque a frecuencia industrial la velocidad es fija para un determinado motor, hoy día se recurre a variadores de frecuencia para regular la velocidad de estos motores.

2.4.1 Constitución del Motor Asíncrono de Inducción

Como todas las máquinas eléctricas, un motor eléctrico está constituido por un circuito magnético y dos eléctricos, uno colocado en la parte fija (estator) y otro en la parte móvil (rotor).

Figura 2.5: Motor Eléctrico



Fuente: (Schneider, 2009)

El circuito magnético está formado por chapas apiladas en forma de cilindro en el rotor y en forma de anillo en el estator.

Figura 2.6: Estator y rotor



Fuente: (Schneider, 2009)

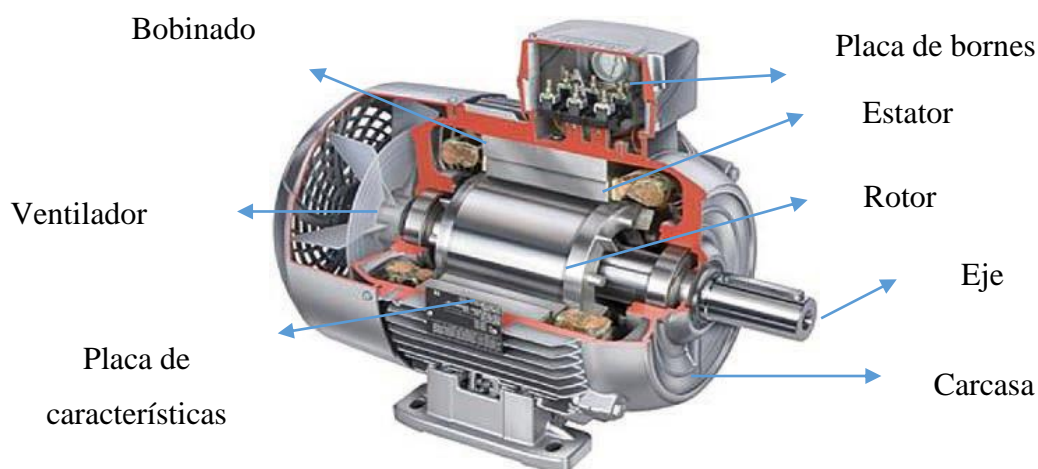
El cilindro se introduce en el interior del anillo y, para que pueda girar libremente, hay que dotarlo de un entrehierro constante.

El anillo se dota de ranuras en su parte interior para colocar el bobinado inductor y se envuelve exteriormente por una pieza metálica con soporte llamada carcasa.

El cilindro se adosa al eje del motor y puede estar ranurado en su superficie para colocar el bobinado inducido (motores de rotor bobinado) o bien se le incorporan conductores de gran sección soldados a anillos del mismo material en los extremos del cilindro (motores de rotor en cortocircuito) similar a una jaula de ardilla, de ahí que reciban el nombre de rotor de jaula de ardilla.

El eje se apoya en unos rodamientos de acero para evitar rozamientos y se saca al exterior para transmitir el movimiento, y lleva acoplado un ventilador para refrigeración. Los extremos de los bobinados se sacan al exterior y se conectan a la placa de bornes.

Figura 2.7: Sección de motor eléctrico



Fuente: (Schneider, 2009)

2.4.2 Campo Magnético Giratorio

El campo magnético creado por un bobinado trifásico alimentado por corriente alterna es de valor constante pero giratorio y a la velocidad de sincronismo. Este fenómeno se puede comprobar con el estudio de las posiciones que va ocupando la resultante del flujo atendiendo

a los sentidos de corriente que van tomando los conductores en el bobinado, (véase la figura 2.8).

En el instante 0, la fase U tiene valor cero, la fase V tiene valor negativo, por lo que la corriente circula desde V2 hasta V1, y la fase W tiene valor positivo, con lo que la corriente circula desde W1 hasta W2. En el bobinado se crea una bobina ficticia a la que aplicando la regla del sacacorchos nos da que, en este instante, la resultante del flujo se sitúa entre las ranuras 7 y 8.

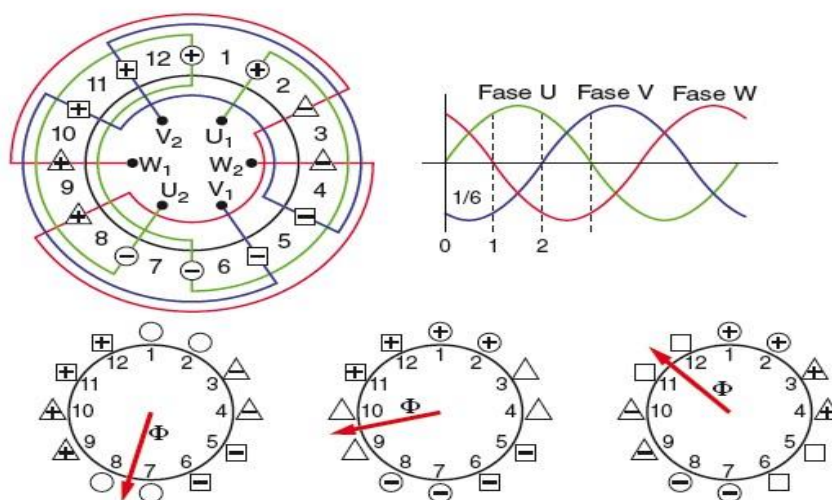
El signo positivo representa que la corriente entra en el plano y el signo negativo que sale del plano.

El ciclo de la corriente se divide en seis partes iguales pasando ahora al instante 1, donde vemos que la fase U tiene valor positivo, la fase V sigue teniendo valor negativo y la fase W tiene valor positivo.

En este instante la resultante del flujo se sitúa entre las ranuras 9 y 10, con lo que ha avanzado un sexto de la circunferencia en el tiempo que ha transcurrido desde el instante 0 al 1, que se corresponde con un un sexto del periodo de la corriente.

Si vamos aplicándolo sucesivamente a los demás instantes, podemos ver que de uno a otro siempre avanza un sexto de vuelta igual que el tiempo que transcurre de un instante a otro el periodo de la corriente, lo que nos indica que el flujo es giratorio y su velocidad coincide con la velocidad del sistema de corriente alterna.

Figura 2.8: Comprobación del campo magnético giratorio



Fuente: (Schneider, 2009)

2.4.3 Principio de Funcionamiento

El funcionamiento del motor asíncrono de inducción se basa en la acción del flujo giratorio generado en el circuito estátorico sobre las corrientes inducidas por dicho flujo en el circuito del rotor. El flujo giratorio creado por el bobinado estátorico corta los conductores del rotor, por lo que se generan fuerzas electromotrices inducidas. Suponiendo cerrado el bobinado rotórico, es de entender que sus conductores serán recorridos por corrientes eléctricas. La acción mutua del flujo giratorio y las corrientes existentes en los conductores del rotor originan fuerzas electrodinámicas sobre los propios conductores que arrastran al rotor haciéndolo girar (Ley de Lenz).

La velocidad de rotación del rotor en los motores asíncronos de inducción es siempre inferior a la velocidad de sincronismo (velocidad del flujo giratorio). Para que se genere una fuerza electromotriz en los conductores del rotor ha de existir un movimiento relativo entre

los conductores y el flujo giratorio. A la diferencia entre la velocidad del flujo giratorio y del rotor se le llama deslizamiento.

Como se explica al inicio, la velocidad de estos motores, según el principio de funcionamiento y la frecuencia industrial, tiene que ser una velocidad fija, algo menor que la de sincronismo. Gracias a los avances en la electrónica de potencia, actualmente se fabrican arrancadores estáticos que pueden regular la velocidad de estos motores actuando sobre la frecuencia de la alimentación del motor, es decir, convierten la frecuencia industrial de la red en una distinta que se aplica al motor. De ahí que reciban el nombre de **convertidores de frecuencia**, pudiendo regular la velocidad, amortiguar el arranque e incluso frenarlo.

2.4.4 Motores asíncronos trifásicos.

Como se ha mencionado antes, los motores asíncronos de inducción son aquellos en los que la velocidad de giro del rotor es algo inferior a la de sincronismo. Los podemos encontrar tanto monofásicos como trifásicos.

2.4.4.1 Motores trifásicos

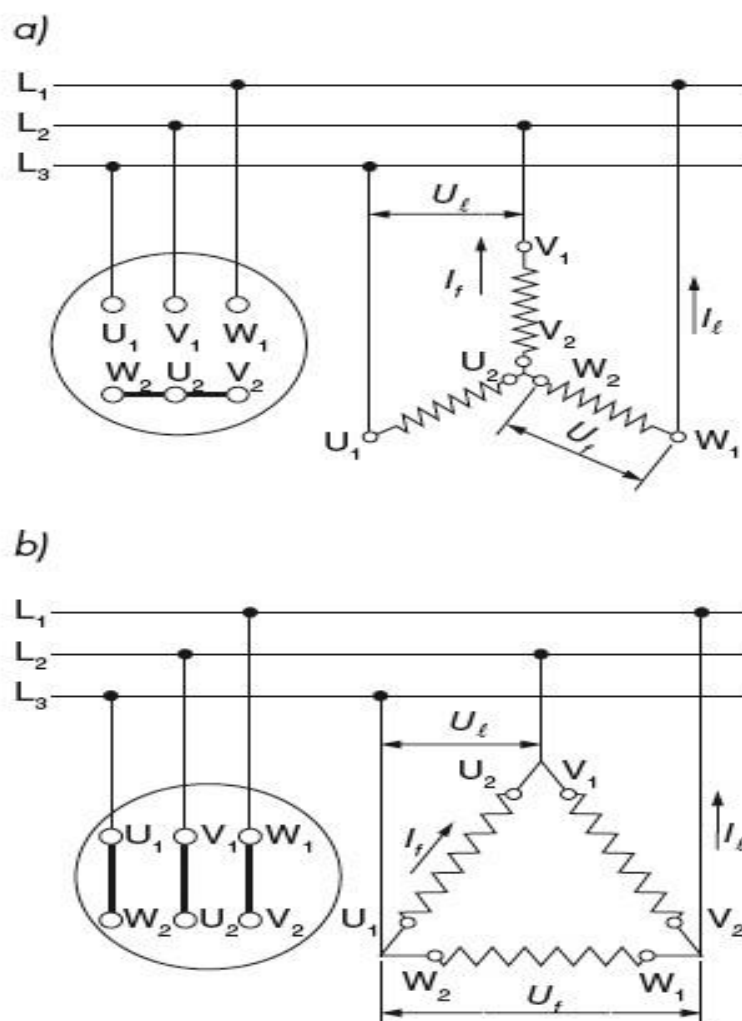
Son motores en los que el bobinado inductor colocado en el estator está formado por tres bobinados independientes desplazados 120° eléctricos entre sí y alimentados por un sistema trifásico de corriente alterna. Los podemos encontrar de dos tipos:

- Rotor en cortocircuito (jaula de ardilla).
- Rotor bobinado.

2.4.4.2 Tensiones e Intensidades en el Estator de los Motores Trifásicos

Todo bobinado trifásico se puede conectar en estrella (todos los finales conectados en un punto común, alimentando el sistema por los otros extremos libres) o bien en triángulo (conectando el final de cada fase al principio de la fase siguiente, alimentando el sistema por los puntos de unión), como se puede apreciar en la (Figura 2.9). (Schneider, 2009)

Figura 2.9: Conexiones en los bobinados trifásicos



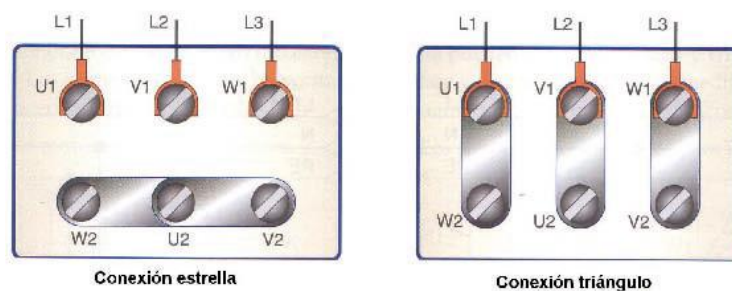
Fuente: (Schneider, 2009)

En la conexión estrella, la intensidad que recorre cada fase coincide con la intensidad de línea, mientras que la tensión que se aplica a cada fase es $\sqrt{3}$ menor que la tensión de línea.

En la conexión triángulo la intensidad que recorre cada fase es $\sqrt{3}$ menor que la intensidad de línea, mientras que la tensión a la que queda sometida cada fase coincide con la tensión de línea.

En estas condiciones, el motor se puede considerar como bitensión, ya que las tensiones normalizadas son de 230 o 400 V. Si un motor está diseñado para aplicarle 230 V a cada fase, lo podremos conectar a la red de 230 V en triángulo y a la red de 400 V en estrella. En ambos casos, la tensión que se le aplica a cada fase es 230 V. En una y otra conexión, permanecen invariables los parámetros de potencia, par motor y velocidad. La conexión estrella o triángulo se realiza sobre la placa de bornes mediante puentes como se puede apreciar en la (Figura 2.10).

Figura 2.10: Colocación de los puentes sobre las placas de bornes para conectar el motor



Fuente: (Schneider, 2009)

2.4.4.3 Motor de rotor en cortocircuito

El motor de rotor en cortocircuito es el de construcción más sencilla, de funcionamiento más seguro y de fabricación más económica. Su único inconveniente es el de absorber una elevada intensidad en el arranque a la tensión de funcionamiento.

En el momento del arranque este motor acoplado directamente a la red presenta un momento de rotación de 1,8 a 2 veces el de régimen, pero la intensidad absorbida en el arranque toma valores de 5 a 7 veces la nominal. (Schneider, 2009)

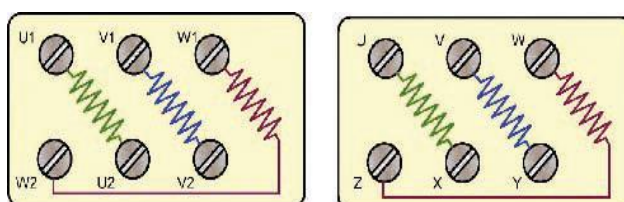
Para facilitar el conexionado en la placa de bornes del motor (véase la Figura 2.11), los extremos del bobinado inductor se disponen como muestra la Figura 2.12.

Figura 2.11: Placa de bornes de motor trifásico



Fuente: (Schneider, 2009)

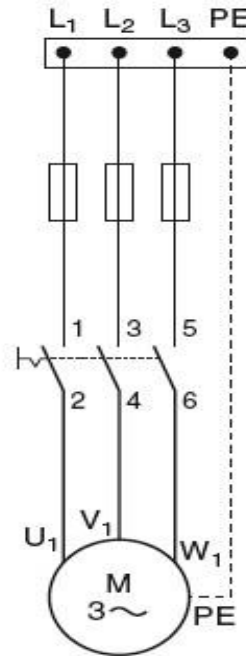
Figura 2.12: Distribución de los extremos de los bobinados en la placa de bornes y sus denominaciones



Fuente: (Schneider, 2009)

Su puesta en marcha se realiza de una forma simple y sencilla mediante un interruptor manual tripolar (véase la Figura 2.13). Estos interruptores han de estar diseñados para la intensidad del motor.

Figura 2.13: Arranque de un motor trifásico en forma manual



Fuente: (Schneider, 2010)

La intensidad en el momento del arranque de motores que no cumpla esta relación puede hacer que salten las protecciones o bien perjudicar las líneas que los alimentan.

Para evitar estos inconvenientes se disminuye la tensión en el periodo de arranque y con ello la intensidad, y una vez alcanzada la velocidad de régimen se conecta el motor a su tensión nominal, con lo que se logra amortiguar la intensidad de arranque. Para conseguir esto se utilizan los siguientes procedimientos:

- Arranque estrella triángulo.
- Arranque mediante autotransformador.
- Arranque de estado Solido
- Arranque con variador de velocidad.

2.5 El Contactor Electromagnético

El contactor es un aparato mecánico de conexión accionado por un electroimán que funciona en «todo o nada». Cuando se energiza la bobina del contactor, los contactos cambian de posición, estableciéndose a través de los polos un circuito entre la red de alimentación y el receptor.

Cuando se interrumpe la alimentación de la bobina, el circuito magnético se desmagnetiza y los contactos retoman su posición inicial, por el efecto de:

- Los resortes de presión de los polos y del resorte de retorno de la armadura móvil.
- La fuerza de la gravedad, en determinados aparatos (las partes móviles recuperan su posición de partida).

Figura 2.14: Contactor Electromagnético



Fuente: (Schneider, 2010)

2.5.1 Ventajas del Contactor

- Interrumpir corrientes monofásicas o polifásicas importantes mediante un circuito de mando recorrido por una intensidad pequeña.
- Efectuar el mando manual o automático, a distancia, con la ayuda de cables de pequeña sección, y por tanto, con una reducción importante de costes.
- Asegurar tanto el funcionamiento intermitente como continuo.

- Poder multiplicar los puestos de mando y situarlos cerca del operador.
- Ser robusto y fiable porque no tiene mecanismos delicados.
- Adaptarse fácilmente a la tensión de alimentación del circuito de mando (red o fuente independiente).
- Ante cortes o microcortes de red, asegurar la seguridad del personal contra los arranques intempestivos,
- Facilitar la distribución de los puestos de parada de emergencia y los enclavamientos, impidiendo la puesta en marcha de la máquina, si se toman todas las precauciones.
- Proteger al receptor contra las caídas de tensión importantes (el contactor «cae» por debajo de una tensión mínima).
- Prestarse al diseño de equipos de automatismos simples y sumamente complejos.

2.5.2 Composición de un Contactor Electromagnético

2.5.2.1 El Electroimán

Es el elemento motor del contactor, sus partes más importantes, sus partes más importantes son el circuito magnético y la bobina. Se presenta bajo distintas formas en función del tipo de contactor e incluso del tipo de corriente de alimentación, alterna o continua.

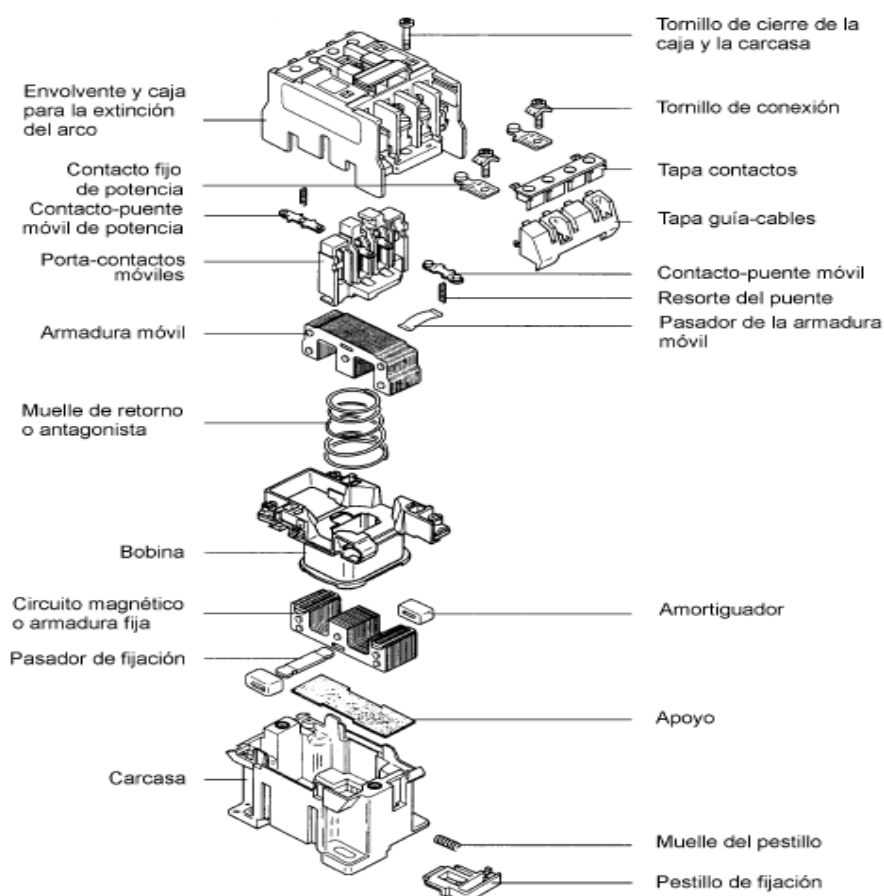
Características del circuito magnético de corriente alterna:

- Chapas de Acero de Silicio unidas mediante remache o soldadura.
- Circuito laminado para reducir las corrientes de Foucault que se origina en toda masa metálica sometida a un flujo alterno (las corrientes Foucault reducen el flujo útil de una corrientes magnetizantes determinada y calientan innecesariamente el circuito magnético).

- Uno a dos anillos de desfase, o espiras de frager, que generan, en una parte del circuito, un flujo compensatorio con respecto al flujo principal.

Con este mecanismo se evita la anulaci3n peri3dica del flujo total, y por consiguiente de la fuerza de atracci3n (lo que podr3a provocar ruidosas vibraciones). (Schneider, 2010)

Figura 2.15: Despiece de un Contactor



Fuente: (Schneider, 2010)

2.5.2.2 La Bobina

La bobina genera el flujo magn3tico necesario para atraer la armadura m3vil del electroim3n. Seg3n el modelo de contactor se monta sobre una o dos partes del circuito

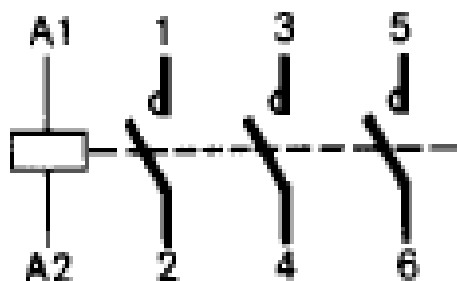
magnético. Se diseña para resistir los choques mecánicos provocados por el cierre y la apertura del contactor, así como los esfuerzos debidos al paso, establecimiento y corte de la corriente por sus arrollamientos. Para suavizar estos choques, se pueden montar amortiguadores. Las bobinas empleadas actualmente son muy resistentes a las sobretensiones, a los choques y a las atmósferas agresivas; se construyen con hilo de cobre con esmalte reforzado; algunas son sobremoldeadas.

2.5.2.3 Los Polos

Son los encargados de establecer o interrumpir la corriente en circuito de potencia y, por consiguiente, están dimensionados para permitir el paso de la corriente nominal del contactor en servicio continuo sin calentamiento anormal; además, deben de soportar el arco que se crea cuando se corta la corriente.

Se componen de una parte fija y de otra móvil, esta última provista de resortes que aplican una presión adecuada a los contactos, sean de simple o de doble corte. Los polos están generalmente equipados con contactos de plata-óxido de cadmio, material inoxidable, de una gran resistencia mecánica y que soporta el arco eléctrico. Precisamente para conseguir la correcta extinción del arco, se diseñan contactores provistos de dispositivos especiales de extinción del arco. (Schneider, 2010)

Figura 2.16: Los polos



Fuente: (Schneider, 2010)

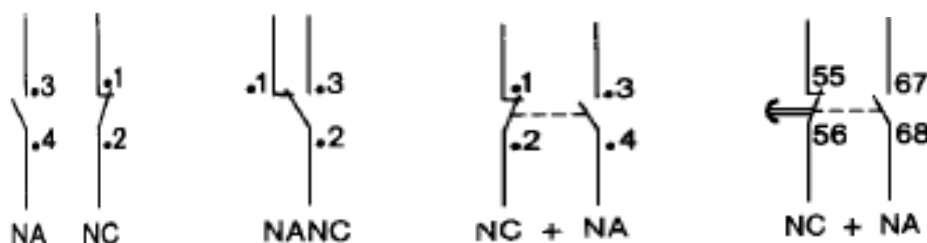
2.5.2.4 Los Contactos Auxiliares

Los contactos auxiliares se utilizan para asegurar la autoalimentación, el mando y enclavamiento, la señalización y las órdenes de apertura y cierre de otros circuitos.

Hay varios tipos:

- Contacto instantáneo de cierre (NA: normalmente abierto); está abierto cuando el contactor está en reposo y cerrado cuando el electroimán está con tensión.
- Contacto instantáneo de apertura (NC: normalmente cerrado); está cerrado cuando el contactor está en reposo y abierto cuando el electroimán está con tensión.
- Contactos instantáneos NA/NC.
- Contactos temporizados.

Figura 2.17: Contactos NA/NC



Fuente: (Schneider, 2010)

2.5.2.5 Elección de un Contactador

Son muchas y variadas las aplicaciones que requieren contactores. La elección del contactor con el calibre más apropiado depende directamente de las características de cada aplicación. Elegir un contactor para una aplicación concreta significa fijar la capacidad de un aparato para establecer, soportar e interrumpir la corriente en el receptor que se desea

controlar, en unas condiciones de utilización establecidas, sin recalentamientos ni desgaste excesivo de los contactos.

Para elegir correctamente el contactor hay que tener en cuenta:

- El tipo y las características del circuito o del receptor que se desea controlar: intensidad y tipo de corriente, tensión, regímenes transitorios en la puesta bajo tensión, etc.
- Las condiciones de explotación: ciclos de maniobras/hora, factor de marcha, corte en vacío o en carga, categoría de empleo, tipo de coordinación, durabilidad eléctrica deseada, etc.
- Las condiciones del entorno: temperatura ambiente, altitud cuando sea necesario, etc.
- La importancia de cada uno de estos criterios es distinta en cada aplicación. Por ejemplo:

A) Control de un Circuito Resistivo

Este tipo de aplicación (por ejemplo, resistencias de calentamiento) pertenece a la categoría de empleo AC-1, con un número de ciclos de maniobras reducido. El calentamiento del contactor depende principalmente de la corriente nominal del receptor y del tiempo de paso de esta corriente.

B) Control de un Motor Asíncrono de Jaula

La categoría de empleo de esta aplicación puede ser AC-3 (cortes con motor lanzado) o AC-4 (cortes con motor calado). El calentamiento se debe tanto al paso de la corriente nominal del motor como al pico de corriente en el arranque y a la energía de arco en el corte. Por lo tanto, con un calibre de contactor y una categoría de empleo determinados, el calentamiento será mayor cuanto mayor sea la frecuencia de ciclos de maniobras. Así pues, los criterios

básicos para elegir el contactor son las categorías de empleo y la frecuencia de ciclos de maniobras.

C) Control de Receptores con un Pico de Corriente Transitorio Elevado en la Puesta Bajo Tensión.

Este es el caso de, por ejemplo, los primarios de un transformador o de las baterías de condensadores. La corriente de cresta en la puesta bajo tensión de estos aparatos puede llegar a ser más de diez veces superior a la corriente nominal. El poder de cierre asignado del contactor debe ser lo bastante alto como para que la fuerza de repulsión de la corriente transitoria no provoque la apertura no controlada ni la soldadura de los contactos. Este es pues el criterio básico para la elección de un contactor en este tipo de aplicación.

Los fabricantes elaboran las tablas de elección teniendo en cuenta todos estos criterios, lo que permite elegir cómodamente el contactor más apropiado para cada aplicación.

2.6 El Relé Térmico

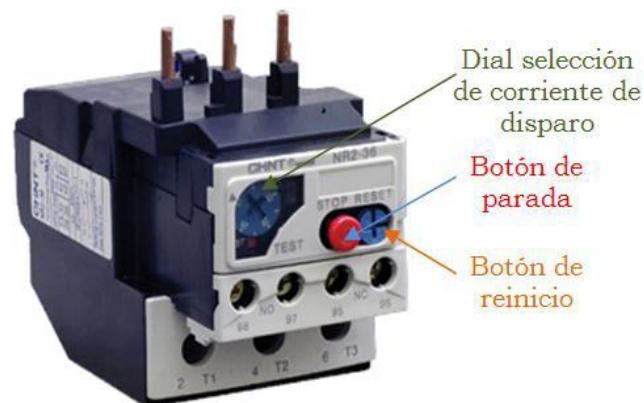
Las fallas más habituales en las maquinas son las sobrecargas, que se manifiestan a través de un aumento de la corriente absorbida por el motor y de ciertos efectos térmicos. El calentamiento normal de un motor eléctrico con una temperatura ambiente de 40°C depende del tipo de aislamiento que utilice. Cada vez que se sobrepasa la temperatura límite de funcionamiento, los aislantes se desgastan prematuramente, acordando su vida útil.

La correcta protección contra las sobrecargas resulta imprescindible para:

- Optimizar la durabilidad de los motores, impidiendo que funcione en condiciones de calentamiento anormales.
- Garantizar la continuidad de explotación de las máquinas o las instalaciones evitando paradas imprevistas.

- Volver a arrancar después de un disparo con la mayor rapidez y las mejores condiciones de seguridad posibles para los equipos y personas.
- Los relés térmicos de biláminas son los aparatos más utilizados para proteger los motores contra las sobrecargas débiles y prolongadas. Se pueden utilizar en corriente alterna o continua. Sus características más habituales son:
 - Tripolares.
 - Compensados, es decir, insensibles a los cambios de temperatura ambiente.
 - Sensibles a una pérdida de fase, por lo que evitan el funcionamiento monofásico del motor.
 - Rearme automático manual.
 - Graduación en amperios, visualización directa en el relé de la corriente indicada en la placa de características del motor.

Figura 2.18: Relé de Sobrecarga Bimetálico



Fuente: (Schneider, 2010)

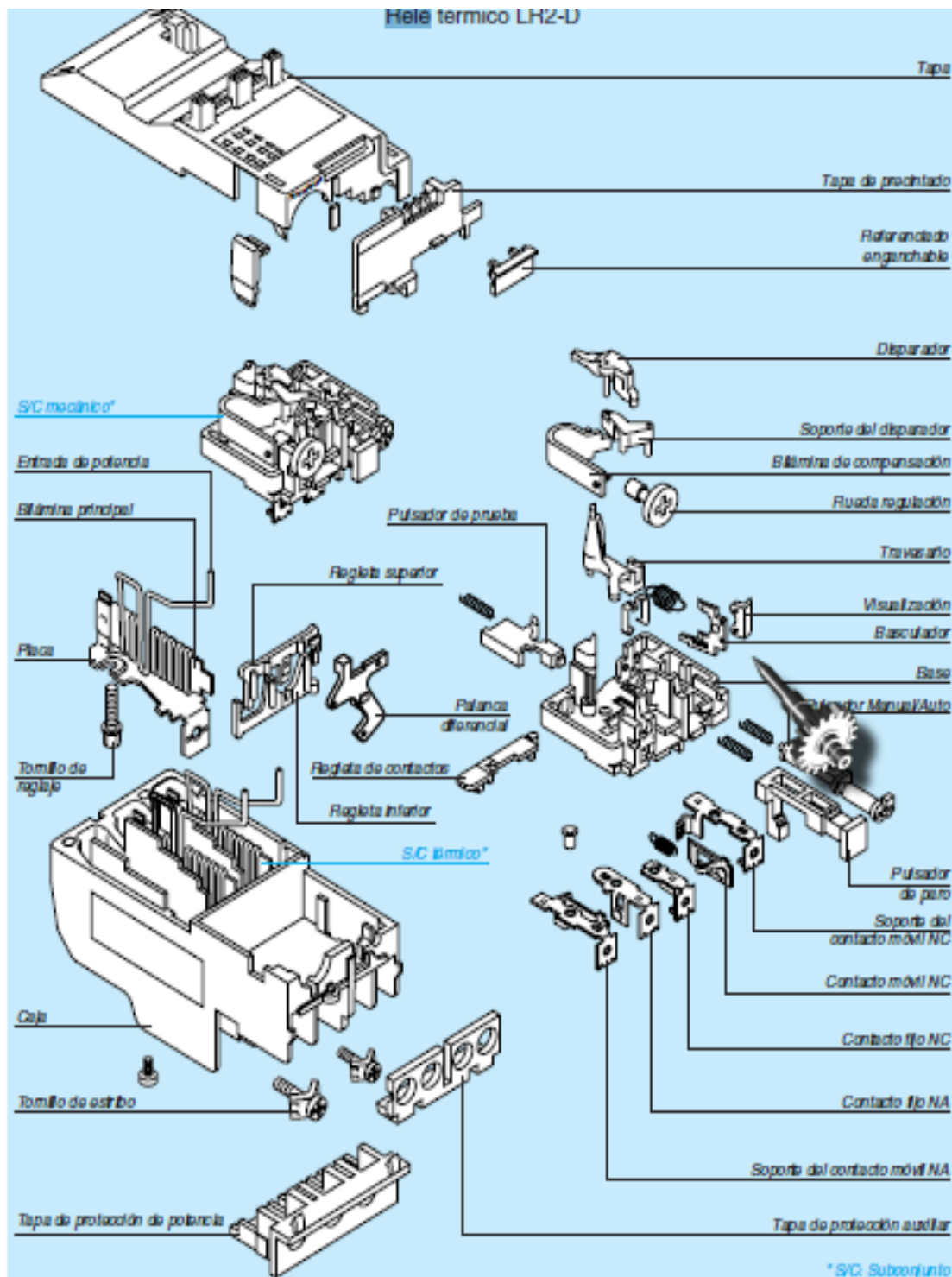
2.6.1 Principio de Funcionamiento

Los relés térmicos tripolares poseen tres biláminas compuestas cada una por dos metales con coeficiente de dilatación muy diferente unidos mediante laminación y rodeadas de un bobinado de calentamiento.

Cada bobinado de calentamiento está conectado en serie a una fase del motor. La corriente absorbida por el motor calienta los bobinados y se dilatan las biláminas haciendo que las biláminas se deforman en mayor o menor grado según la intensidad de dicha corriente. La deformación de las biláminas provoca a su vez el movimiento giratorio de una leva o de un árbol unido al dispositivo de disparo.

Si la corriente absorbida por el receptor supera el valor del reglaje del relé, las biláminas se deformarán lo bastante como para que la pieza a la que están las biláminas se deforman lo bastante como para que la pieza a la que están unidos las partes móviles de los contactos se libere del tope de sujeción.

Figura 2.19: Despiece de un Relé Térmico



Fuente: (Schneider, 2010)

2.7 Comando y Protección de Motores Eléctricos

2.7.1 Salida a Motor (Comando y Protección)

Los objetivos de una salida a motor son los siguientes:

- Comandar el motor (encendido y apagado del motor)
- Proteger a sus componentes contra los efectos de fallas del origen eléctrico
- Asegurar la seguridad del personal
- Maximizar la continuidad de servicio

Para cumplir con los objetivos planteados, toda la salida a motor debe cumplir con cuatro funciones básicas:

2.7.1.1 Seccionamiento

Los equipos eléctricos solo se deben manipular cuando están desconectados. El seccionamiento consiste en aislar eléctricamente una instalación de su red de alimentación, según los criterios de seguridad que establece las normas.

El seccionamiento se puede completar con una medida de protección adicional, el enclavamiento, un dispositivo de condenación del seccionar en posición abierta que impide que la instalación se vuelva a poner bajo tensión de forma imprevista, garantizando así la seguridad de las personas y de los equipos. La función de seccionamiento se realiza con:

- Seccionadores
- Interruptores seccionadores
- Disyuntores y contactores disyuntores, siempre que el fabricante certifique que son aptos para dicha función.

2.7.1.2 El Seccionador

El seccionador es un aparato mecánico de conexión que en posición abierta cumple las prescripciones especificadas para la función de seccionamiento (noma IEC 947 – 3).

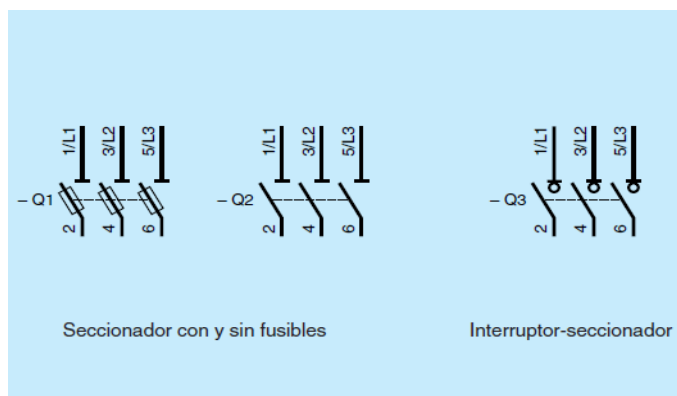
Sus principales elementos son un bloque tripolar o tetrapolar, uno o dos contactores auxiliares de precorte y un dispositivo de mando lateral o frontal que permite cerrar y abrir los polos manualmente.

La velocidad de cierre y de apertura depende de la rapidez del accionamiento del operario (maniobra manual dependiente). Por tanto, el seccionador es un aparato de “ruptura lenta” que nunca debe utilizarse con carga. La corriente del circuito debe cortarse previamente con un aparato de conmutación previsto a tal efecto (normalmente un contactor).

El contactor auxiliar de precorte se conecta en serie con la bobina del contactor. Se abre antes y se cierra después que los polos del seccionador, por los que en caso de manipulación accidental con carga, interrumpa la alimentación de la bobina del contactor antes que se abran los polos del seccionador. Sin embargo, los contactos de precorte no deben considerarse como un mando de control del contactor, que dispone de su propio mando de marcha/mando. El estado de los contactos debe indicarse de forma segura mediante la posición del dispositivo de control, mediante un indicador mecánico independiente (corte plenamente aparente) o permitiendo que los contactos estén visibles (corte visible). En ningún caso se podrá enclavar el seccionador cuando este en posición cerrada o cuando sus contactos se hayan soldado accidentalmente.

Se pueden añadir a los seccionadores portafusibles en sustitución de los tubos o de las barretas de seccionamiento. (Schneider, 2010)

Figura 2.20: Símbolos de los Seccionadores de los Interruptores Seccionadores



Fuente: (Schneider, 2010)

2.7.1.3 El Interruptor y el Interruptor Seccionador

El interruptor es un aparato mecánico de conexión capaz de establecer, establecer, tolerar e interrumpir corrientes en un circuito en condiciones normales, incluidas las condiciones especificadas de sobrecarga durante el servicio, y tolerar durante un tiempo determinado corrientes dentro de un circuito en las condiciones anómalas especificadas, como en un caso de cortocircuito “(norma IEC 947 – 3).

El mecanismo vinculado al dispositivo de mando manual garantiza la apertura y el cierre brusco de los contactos, independientemente de la velocidad de accionamiento del operario. Por lo tanto, el interruptor está diseñado para ser manejado con carga con total seguridad. Sus características se basan en las categorías de empleo normativas utilizadas para clasificar los circuitos cuya alimentación resulta más o menos difícil de establecer o interrumpir en función del tipo de receptores utilizados.

Los interruptores que cumplan las condiciones de aislamiento especificadas en las normas para los seccionadores son interruptores seccionadores, aptitud que el fabricante debe certificar marcando el aparato con un símbolo (1).

Al igual que los seccionadores, los interruptores y los interruptores seccionadores se pueden completar con un dispositivo de enclavamiento para el enclavamiento y, según el caso, con fusibles. (Schneider, 2010)

Figura 2.21: Interruptores seccionadores de mando giratorio



Fuente: (Schneider, 2010)

2.7.1.4 El Interruptor Seccionador Modular

Esta nueva generación de interruptores seccionadores se caracteriza por la posibilidad de completar y modificar la composición de los aparatos básicos, para adaptarlos con la mayor precisión a nuevas necesidades, utilizando los siguientes módulos adicionales:

- Polos de Potencia
- Polos neutros de cierre anticipado y de apertura retardada
- Barretas de tierra
- Contactos auxiliares de cierre y de apertura
- Bloques de conexión reversible que permitan cablear desde la parte frontal o posterior.

Los interruptores seccionadores de mando giratorio ampliables con módulos pueden realizar las funciones de interruptor principal, de paro de emergencia o de control manual de motores. (Schneider, 2010)

Figura 2.22: Interruptores seccionadores ampliable con módulos



Fuente: (Schneider, 2010)

2.7.2 Conmutación

La conmutación consiste en establecer, cortar y, en el caso de la variación de velocidad, ajustar el valor de la corriente absorbida por un motor.

Según las necesidades, esta función puede realizarse con aparatos

- Electromecánicos: contactores, disyuntores y disyuntores motores.
- Electromecánicos: relés y contactores estáticos, arrancadores ralentizadores progresivos, variadores y reguladores de velocidad.

2.7.3 Protección Contra Cortocircuitos:

Un cortocircuito es el contacto directo de dos puntos con potenciales eléctricos distintos: en corriente alterna: Contacto entre fases, entre fase y neutro o entre fase y masa conductora, en corriente continua: contacto entre los dos polos o entre la masa y el polo aislado.

Las causas pueden ser varias: cables rotos, flojos o pelados, presencia de cuerpos metálicos extraños, depósitos conductores (polvo, humedad, etc.), filtración de agua o de otros líquidos conductores, deterioro del receptor o error de cableado durante la puesta en marcha o durante una manipulación.

El cortocircuito desencadena un brutal aumento de corriente que en milésimas de segundo puede alcanzar un valor cien veces superior al valor de la corriente de empleo. Dicha corriente genera efectos electrodinámicos y térmicos que pueden dañar gravemente el equipo,

los cables y los juegos de barras situados aguas arriba del punto de circuito. Por lo tanto, es preciso que los dispositivos de protección detecten el fallo e interrumpan el circuito rápidamente, a ser posible antes de que la corriente alcance su valor máximo.

Dichos dispositivos pueden ser:

Fusibles, que interrumpen el circuito al fundirse, por lo que deben ser sustituidos, disyuntores que interrumpen el circuito abriendo los polos y que con un simple rearme se pueden al volver a poner en servicio.

La protección contra los cortocircuitos puede estar integrada en aparatos de funciones múltiples, como los disyuntores motores y los contactores disyuntores.

2.7.3.1 Los Fusibles

Los fusibles proporcionan una protección fase a fase, con un poder de corte muy elevado y un volumen reducido. Se pueden montar de dos maneras:

- En unos soportes específicos llamados portafusibles.
- En los seccionadores, en un lugar de casquillos o las barretas.

Se dividen en dos categorías:

A). Fusibles “Distribución” Tipo gG

Protegen a la vez contra los cortocircuitos y contra las sobrecargas a los circuitos con picos de corriente elevados (ejemplo: circuitos resistivos).

Normalmente deben tener un calibre inmediatamente superior a la corriente del circuito protegido a plena carga.

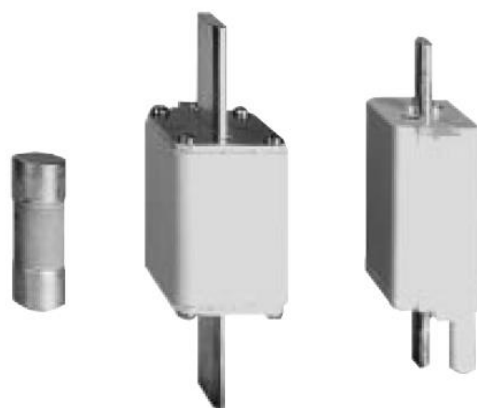
B). Fusibles “Motor” tipo aM

Protegen contra los cortocircuitos a los circuitos sometidos a picos de corriente elevados (picos magnetizantes en la puesta bajo tensión de los primarios de transformadores o electroimanes, picos de arranque de motores asíncronos, etc.). Las características de fusión

de los fusibles aM “dejan pasar” las sobrecargas, pero no ofrecen ninguna protección contra las sobrecargas. En caso de que también sea necesario este tipo de protección, debe emplearse otro dispositivo (por ejemplo, un relé térmico).

Normalmente deben tener un calibre inmediatamente superior a la corriente del circuito protegido a plena carga.

Figura 2.23: Fusibles



Fuente: (Schneider, 2010)

2.7.3.2 Los Disyuntores Magnéticos

Protegen los circuitos contra los cortocircuitos, dentro de los límites de su poder de corte a través de disparadores magnéticos (un disparador por fase). También protegen contra los contactos indirectos, siguiendo las normas sobre regímenes de neutro, para los esquemas TN o IT. Los esquemas TT pueden necesitar una protección diferencial residual. Dependiendo del tipo de circuito que se desea proteger (distribución, motor, etc.), el umbral de disparo se situará entre 3 y 15 veces la corriente térmica I_{th} . Dependiendo del tipo de disyuntor, dicho umbral de disparo puede ser fijo o ajustable por el usuario.

Todos los disyuntores pueden realizar cortes omnipolares: la puesta en funcionamiento de un solo disparador magnético basta abrir simultáneamente todos los polos. Cuando la

corriente de cortocircuito no es muy elevada, los disyuntores funcionan a mayor velocidad que los fusibles.

Características Principales:

- Poder de corte, es el valor máximo estimado de corriente de cortocircuito que pueden interrumpir un disyuntor con una tensión y en unas condiciones determinadas.
- Poder de cierre, es el valor máximo de corriente que pueden establecer un disyuntor con una tensión nominal en condiciones determinadas. En corriente alterna se expresa con el valor de cresta de corriente.
- Autoprotección, es la aptitud que posee un aparato para limitar la corriente de cortocircuito con un valor inferior a su propio poder de corte, gracias a su impedancia interna

Poder de limitación, un disyuntor es además limitador cuando el valor de la corriente que realmente se interrumpe en caso de fallo es muy inferior al de la corriente de cortocircuito estimado. La limitación de la corriente de cortocircuito depende de la velocidad de apertura del aparato y de su capacidad para generar una tensión de arco superior a la tensión de la red. Permite atenuar los efectos térmicos y electrodinámicos, proporcionando así una mejor protección a los cables y al aparellaje. (Schneider, 2010)

Figura 2.24: Disyuntores Magnéticos



Fuente: (Schneider, 2010)

2.7.4. Protección Contra Sobrecargas

Los fallos más habituales en las maquinas son las sobrecargas, que se manifiestan a través de un aumento de la corriente absorbida por el motor y de ciertos efectos térmicos. El calentamiento normal de un motor eléctrico con una temperatura ambiente de 40 °C depende del tipo de aislamiento que utilice. Cada vez que es sobrepasa la temperatura límite de funcionamiento, los aislantes se desgastan prematuramente, acortando su vida útil. Por ejemplo, cuando la temperatura de funcionamiento de un motor en régimen permanente sobre pasa en 10 °C la temperatura definida por el tipo de aislamiento, la vida útil del motor se reduce un 50%.

Conviene señalar, no obstante, que cuando se produce un calentamiento excesivo como consecuencia de una sobrecarga, los efectos negativos no son inmediatos, siempre que tenga una duración limitada y no se repita muy a menudo. Por lo tanto, no conlleva necesariamente la parada del motor, sin embargo, es importante recuperar rápidamente las condiciones normales de funcionamiento normales.

El sistema de protección contra las sobrecargas debe elegirse en función del nivel de protección deseado:

- Relés térmicos de biláminas.
- Relés de sondas para termistancias PTC.
- Relés de máxima corriente.
- Relés electrónicos con sistemas de protección complementarios.
- Los Relés Térmicos de Biláminas

2.7.4.1 Principio de Funcionamiento de los relés Tripolares

Los relés térmicos tripolares poseen tres biláminas compuestas cada una por dos metales con coeficientes de dilatación muy diferentes unidos mediante laminación y rodeadas de un

bobinado de calentamiento. Cada bobinado de calentamiento está conectado en serie a una fase del motor. La corriente absorbida calienta los bobinados, haciendo que las biláminas se deformen en mayor o menor grado según la intensidad de dicha corriente. La deformación de las biláminas provoca a su vez el movimiento giratorio de una leva o de un árbol unido al dispositivo de disparo.

Si la corriente absorbida por el receptor supera el valor de reglaje del relé, las biláminas se deformarán lo bastante como para que la pieza a la que están unidas las partes móviles de los contactos se libere del tope de sujeción. Este movimiento causa la apertura brusca del contacto del relé intercalado en el circuito de la bobina del contactor y el cierre del contacto de señalización. El rearme no será posible hasta que se enfríen las biláminas.

2.7.4.2 Compensación de la Temperatura de Ambiente

La curvatura que adoptan las biláminas no solo se debe al calentamiento que provoca la corriente que circula en las fases, sino también a los cambios de la temperatura ambiente. Este factor ambiental se corrige con una bilámina de compensación sensible únicamente a los cambios de la temperatura ambiente y que está montada en oposición a las biláminas principales.

Cuando no hay corriente, la curvatura de las biláminas se debe a la temperatura ambiente. Esta curvatura se corrige con la de la bilámina de compensación, de forma tal que los cambios de la temperatura ambiente no afecten a la posición del tope de sujeción. Por lo tanto, la curvatura causada por la corriente es la única que puede mover el tope provocando el disparo. Los relés térmicos compensados son insensibles a los cambios de temperatura ambiente, normalmente comprendidos entre $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $60\text{ }^{\circ}\text{C}$.

2.7.4.3 Reglaje

Los relés se regulan con un pulsador que modifica el recorrido angular que efectúa el extremo de la bilámina de compensación para liberarse del dispositivo de sujeción que mantiene el relé en posición armada.

La rueda graduada en amperios permite regular el relé con mucha precisión. La corriente límite de disparo está comprendida entre 1.05 y 1.20 veces del valor indicado.

2.7.4.4 Detección de una Pérdida de Fase

Este dispositivo provoca el disparo del relé en caso de ausencia de una corriente de fase (funcionamiento monofásico). Lo componen dos regletas que se mueven solidariamente con las biláminas. La bilámina correspondiente a la fase no alimentada no se deforma y bloquea el movimiento de una de las regletas, provocando el disparo.

2.7.4.5 Clases de Disparo

Los relés térmicos se utilizan para proteger los motores de las sobrecargas, pero durante la fase de arranque deben permitir que pase la sobrecarga temporal que provoca el pico de corriente, y activarse únicamente si dicho pico, es decir la duración del arranque, resulta excesivamente larga.

La duración del arranque normal del motor es distinta para cada aplicación; puede ser de tan sólo unos segundos (arranque en vacío, bajo par resistente de la máquina arrastrada, etc.) o de varias decenas de segundos (máquina arrastrada con mucha inercia), por lo que es necesario contar con relés adaptados a la duración de arranque. La norma IEC 947-4-1-1 responde a esta necesidad definiendo tres tipos de disparo para los relés de protección térmica:

- Relés de clase 10

Válidos para todas las aplicaciones corrientes con una duración de arranque inferior a 10 segundos.

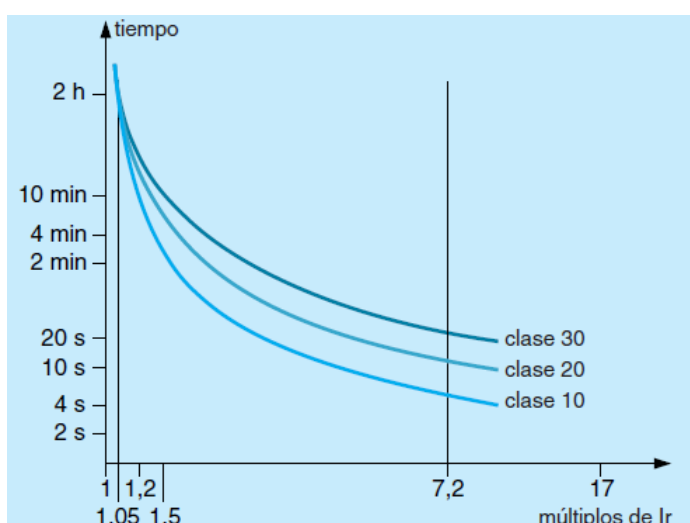
- Relés de clase 20

Admiten arranques de hasta 20 segundos de duración.

- Relés de clase 30

Para arranques con un máximo de 30 segundos de duración

Figura 2.25: Curvas de disparo de relés térmicos



Fuente: (Schneider, 2010)

2.8 Tipos de Arranque de Motores Trifásico de Inducción

2.8.1 Arranque Directo de un Motor de Inducción Trifásico

Se trata del modo de arranque más sencillo en el que el estator se acopla directamente a la red. El motor se basa en sus características naturales para arrancar. En el momento de la puesta bajo tensión, el motor actúa como un transformador cuyo secundario, formado por la jaula muy poco resistente del rotor, está en cortocircuito. La corriente inducida en el rotor es importante. La corriente primaria y la secundaria son prácticamente proporcionales. Por tanto, se obtiene una punta de corriente importante en la red:

$I_{arranque} = 5 \text{ a } 8 I_{nominal}$.

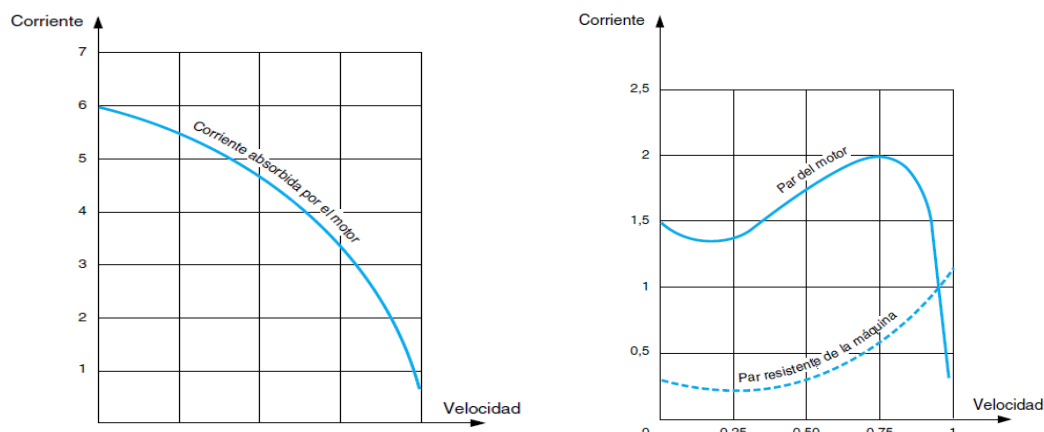
El par de arranque medio es: $C_{arranque} = 0,5 \text{ a } 1,5 C_{nominal}$.

A pesar de las ventajas que conlleva (sencillez del equipo, elevado par de arranque, arranque rápido, bajo coste), sólo es posible utilizar el arranque directo en los siguientes casos:

- La potencia del motor es débil con respecto a la de la red, para limitar las perturbaciones que provoca la corriente solicitada.
- La máquina accionada no requiere un aumento progresivo de velocidad y dispone de un dispositivo mecánico (por ejemplo, un reductor) que impide el arranque brusco,
- El par de arranque debe ser elevado. Por el contrario, siempre que: la caída de tensión provocada por la corriente solicitada pueda perturbar el buen funcionamiento de otros aparatos conectados a la misma línea.
- La máquina accionada no pueda admitir sacudidas mecánicas.

Figura 2.26: Curva

Corriente/Velocidad/Par del Motor



Fuente: (Schneider, 2009)

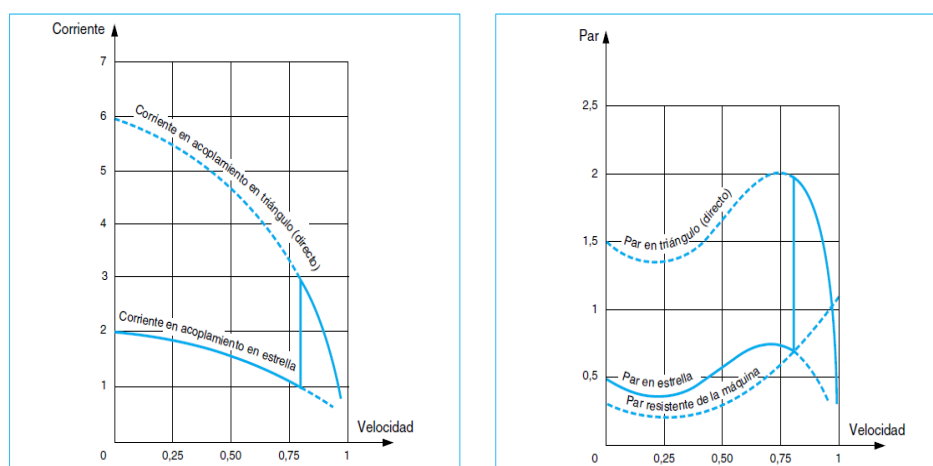
2.8.2 Arranque Estrella Triangulo de un Motor de Inducción

Durante la puesta en tensión de un motor, la corriente solicitada es considerable y puede provocar una caída de tensión que afecte al funcionamiento de los receptores, especialmente en caso de insuficiencia de la selección de sección de la línea de alimentación. En ocasiones, la caída puede llegar a ser perceptible en los aparatos de alumbrado.

Para poner remedio a estos inconvenientes, las normas eléctricas prohíben el uso de motores de arranque directo que superan cierta potencia. Se recurre al uso de arranque a tensión reducida.

Uno de los arranques a tensión reducida muy difundida es el arranque estrella triangulo, ya que la corriente de arranque estará solamente entre 1.3 a 2.6 la corriente nominal. Solo es posible utilizar ese modo de arranque en motores de 6 terminales en caja de bornes. Por otra parte, el bobinado debe realizarse de manera que el acoplamiento en triangulo corresponda con la tensión de la red: por ejemplo, en el caso de una red trifasica de 220, es preciso utilizar un motor con conexiones 220V en triangulo y 380 en estrella.

Figura 2.27: Curva Corriente/Velocidad/Par del Motor



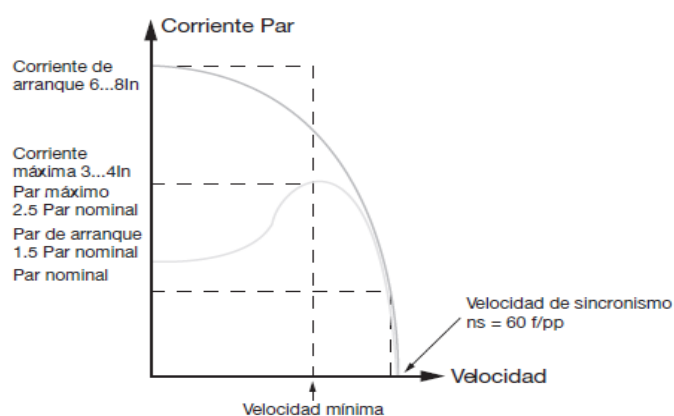
Fuente: (Schneider, 2009)

2.8.3 Arranque con Variador de Velocidad de un Motor de Inducción Trifásico

El convertidor de frecuencia es en última instancia, la mejor solución para un arranque continuo y sin escalones de motor asíncrono trifásico. La limitación de corriente ajustable evita los picos de corriente en el suministro de red eléctrica y repentinas cargas en las partes mecánicas de la máquina y en los sistemas. Además del arranque suave, el convertidor de frecuencia también permite el control de la velocidad (frecuencia) del motor. Considerando que los motores estando conectados directamente a la red eléctrica sólo pueden lograr las condiciones ideales de funcionamiento en el punto de estado de funcionamiento constante (= indicación de la placa de características), pueden ser utilizados en todo el rango de velocidades con el control de frecuencia, por ejemplo, desde 4V a 0,5Hz a 400V 50Hz. La relación constante de voltaje / frecuencia (V/f) garantiza puntos independientes que operan con el par nominal de la carga (MM).

Los variadores de velocidad están preparados para trabajar con motores trifásicos asíncronos de rotor jaula. La tensión de alimentación del motor no podrá ser mayor que la tensión de red. A tensión y frecuencia de placa del motor se comporta de acuerdo al gráfico siguiente:

Figura 2.28: Curva Corriente/Velocidad/Par del Motor

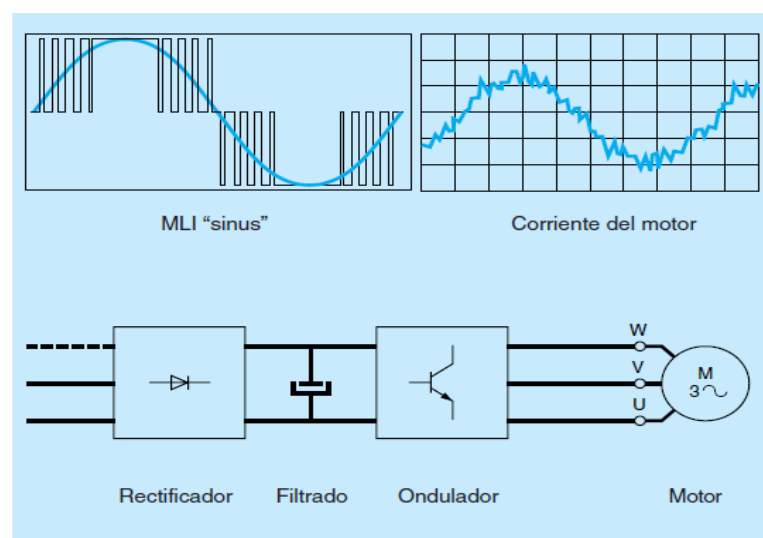


Fuente: (Schneider, 2009)

2.8.3.1 Principio de Funcionamiento:

El puente rectificador y los condensadores de filtrado convierten la tensión alterna monofásica o trifásica de la red en tensión continua. A continuación, un puente ondulator de transistores conmuta la tensión continua para generar una serie de impulsos de anchura variable. El ajuste de la anchura de los impulsos y de su repetición permite regular la tensión y la frecuencia de alimentación del motor para mantener una relación U/f constante y, por tanto, el flujo deseado en el motor. La inductancia del motor realiza el alisado de la corriente (consulte el esquema inferior). El control de la modulación se lleva a cabo por medio de un microprocesador y un ASIC. La modulación depende de las tensiones y las frecuencias, por tanto, de las velocidades solicitadas en la salida.

Figura 2.29: Esquema de base de un convertidor



Fuente: (Schneider, 2009)

2.9 Coordinación de Protecciones

La coordinación de las protecciones es el arte de asociar un dispositivo de protección contra cortocircuitos, con un contactor y un dispositivo de protección contra sobrecarga. Tiene por objetivo interrumpir a tiempo y sin peligro para las personas e instalaciones una corriente de sobrecarga (1 a 10 veces la In del motor) o una corriente de cortocircuito.

La norma IEC 947-4 define dos tipos de coordinación, que aceptan un deterioro aceptable y previsto para los aparatos después de un cortocircuito.

- Coordinación tipo 1: En condición de cortocircuito, el material no debe causar daños a personas e instalaciones. Se aceptan daños en el contactor y el relé de sobrecarga; el arrancador puede quedar destruido. Habrá que rearmar la protección contra cortocircuitos del disyuntor, o, en caso de protección por fusibles, habrá que sustituirlos todos.
- Coordinación tipo 2: En condición de cortocircuito no se deberán ocasionar daños a las personas e instalaciones. El relé de sobrecarga no deberá sufrir ningún daño. Los contactos del contactor podrán sufrir alguna pequeña soldadura, fácilmente separable. El rearme del interruptor o cambio de fusibles es similar al caso anterior.
- Coordinación total: Según la norma IEC 947-6-2, en caso de cortocircuito, no se acepta ningún daño ni riesgo de soldadura, sobre ninguno de los aparatos que componen la salida. Esta norma valida el concepto de «continuidad de servicio».

2.9.1 Software Cade Simu

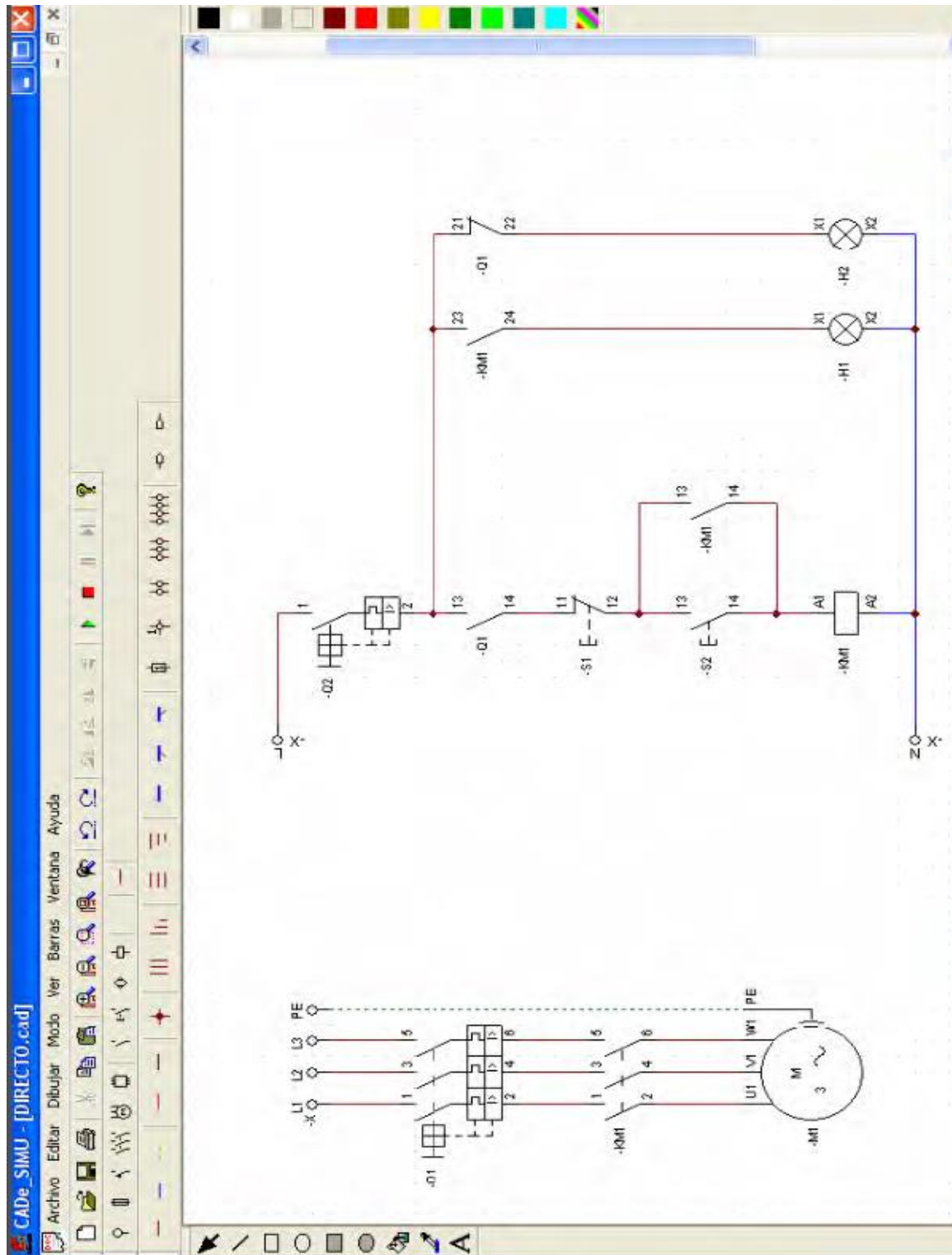
CADE SIMU es un programa de CAD electrotécnico que permite insertar los distintos símbolos organizados en librerías y trazar un esquema eléctrico de una forma fácil y rápida. Para posteriormente realizar la simulación.

Por medio de la interface CAD el usuario dibuja el esquema de forma fácil y rápida. Una vez realizado el esquema, por medio de la simulación, se puede verificar el correcto funcionamiento.

Actualmente dispone de las siguientes librerías de simulación:

- Alimentaciones tanto de C.A. como de C.C.
- Fusibles y seccionadores.
- Interruptores automáticos, interruptores diferenciales, relé térmico, y disyuntores.
- Contactores e interruptores de potencia.
- Motores eléctricos
- Variadores de velocidad para motores de C.A. y C.C.
- Contactos auxiliares y contactos de temporizadores
- Contactos con accionamiento, pulsadores, setas, interruptores, finales de carrera y contactos de relés térmicos
- Bobinas, temporizadores, señalizaciones ópticas y acústicas.
- Detectores de proximidad y barreras fotoeléctricas.
- Conexionado de cables unipolares y tripolares, mangueras y regletas de conexión.

Figura 2.30: Interfaz del Software



Elaborado por el equipo de trabajo

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Tipo de Investigación

El proyecto de tesis es una investigación de tipo experimental, puesto a que se desarrollaran prácticas de laboratorio para conocer los distintos métodos que existen para disminuir las corrientes de arranque y las protecciones de motores eléctricos trifásicos.

3.2 Población y Muestra

La población relacionada con el proyecto de estudio, son los elementos que componen el módulo que se encuentran situados en los ambientes de laboratorio de máquinas eléctricas II, dicho ambiente cuenta con los equipos necesarios para realizar las practicas correspondientes.

3.2.1 Ubicación de la población

Departamento : Puno

Provincia : Puno

Distrito : Puno

Altitud : 3850 msnm

3.2.1.1 Accesibilidad

Su principal vía de acceso es la carretera asfaltada de 44 Km, que une la ciudad de Puno con Juliaca.

3.2.1.2 Ubicación Geográfica

Puno se encuentra localizado en la sierra del sudeste del país en la meseta del Collao a: $13^{\circ}00'66''00''$ y $17^{\circ}17'30''$ de latitud sur y los $71^{\circ}06'57''$ y $68^{\circ}48'46''$ de longitud oeste del meridiano de Greenwich. Limita por el Sur, con la región Tacna. Por el Este, con la República de Bolivia y por el Oeste, con las regiones de Cusco, Arequipa y Moquegua. La región Puno se encuentra en el altiplano entre los 3,812 y 5,500 msnm y entre la ceja de selva y la Selva alta entre los 4,200 y 500 msnm. Cabe mencionar que la capital, Puno, está ubicada a orillas del Titicaca, y la ciudad más importante llámese Juliaca a 65km de esta última a una altura de 3825msnm.

Figura 3.1: Vista de planta del laboratorio de Maquinas Eléctricas II



Fuente: mapas.dePeru.com

3.3 Material Experimental

A). Recolección de datos

- Formatos para la recolección de datos

B). Accionamientos Eléctricos

- Motor trifásico.
- Contactores principales, auxiliares.
- Temporizadores
- Pulsadores
- Cables
- Termomagnéticos.
- Relé
- Variador de velocidad.

C). Software para la simulación y construcción de circuitos de fuerza y control

- Cade Simu 1.0

E). Aparatos de Medición

- Amperímetro
- Voltímetro

3.4 Técnicas e Instrumentos para recolectar Información

Para recolectar la información se diseñó un sistema de adquisición de datos el cual consta de los siguientes equipos e instrumentos.

Tabla 3.1: Técnicas e instrumentos para recolectar información

Técnicas	Instrumentos
A. MEDICIÓN: permite cuantificar los datos reales.	- Voltímetro, amperímetro
B. HOJAS DE DATOS. Formatos estructurados para registrar convenientemente.	- Para cada ensayo será llenado en las hojas de datos.

Elaboración por el equipo de trabajo

La información para la presente tesis se recopiló en las bibliotecas de Universidades, Institutos técnicos, Centros de Investigación, Internet y consulta a ingenieros y técnicos experimentados en la especialidad, la información recopilada está sistematizada a través de las fichas bibliográficas.

3.5 Técnicas para el procesamiento y análisis de datos

1. Cuadros estadísticos
2. Tabulaciones
3. Análisis de datos, interpretación
4. Herramientas matemáticas

3.6 Descripción de las Prácticas

El ensayo pretende analizar los arranques de los motores eléctricos trifásicos de inducción en los siguientes casos:

- Arranque Directo
- Arranque Estrella Triangulo
- Arranque mediante Variador de Variador de Velocidad

Para los ensayos de los distintos métodos de arranque utilizaremos un motor trifásico de jaula de ardilla.

Teniendo en cuenta que en cada arranque se produce una punta de corriente, la maquina sufrirá un calentamiento que podría dañar los aislamientos del motor, por lo que habrá tener presente, que en cada ensayo debe ser precedido de un intervalo de tiempo de reposo.

3.6.1 Objetivos de las prácticas

- Interpretar los esquemas Eléctricos
- Diseñar el circuito de fuerza y mando mediante el software CADE SIMU
- Seleccionar los dispositivos de protección y control de acuerdo a tablas y catálogos
- Realizar las simulaciones de los distintos tipos de arranque de motores trifásicos de inducción.
- Realizar las pruebas y mediciones de las corrientes de arranque.

3.6.2 Equipo necesario

Motor de jaula de ardilla de las siguientes características:

Potencia: 1.5 HP

Revoluciones: 1710

Frecuencia: 60Hz

Tensión: $\Delta\Delta 220/\Delta 440$ (12 terminales)



Intensidad: 6.4/2.7A

Tension:380Y/220Δ (6 terminales)




Intensidad: 3.1A

Cos φ:1.0

3.6.3 Materiales

NOMBRE DEL INSTRUMENTO	IMAGEN	DESCRIPCIÓN
SOFTWARE CADE_SIMU		<p>CADE_SIMU es un programa de CAD electrotécnico que permite insertar los distintos símbolos organizados en librerías y trazar un esquema eléctrico de una forma fácil y rápida para posteriormente realizar la simulación.</p>
UN CONTACTOR ELECTROMAGNETICO		<p>Un contactor es un componente electromecánico que tiene por objetivo establecer o interrumpir el paso de corriente, ya sea en el circuito de potencia o en el circuito</p>

		<p>de mando, tan pronto se de tensión a la bobina</p>
<p>TERMOMAGNETICO</p>		<p>Diseñado para la protección de motores eléctricos. Este diseño especial proporciona al dispositivo una curva de disparo que lo hace más robusto frente a las sobreintensidades transitorias típicas de los arranques de los motores. Produce con una intensidad y tiempo mayores.</p>
<p>RELE TERMICO</p>		<p>Los relés térmicos son los aparatos más utilizados para proteger los motores contra las sobrecargas débiles y prolongadas. Se pueden utilizar en corriente alterna o continua</p>

<p>PULSADOR NA</p> <p>PULSADOR NC</p>		<p>Un botón o pulsador es un dispositivo utilizado para activar alguna función. Los botones son de diversa forma y tamaño y se encuentran en todo tipo de dispositivos, aunque principalmente en aparatos eléctricos o electrónicos.</p>
<p>CABLES ELECTRICOS</p> <p>1.5 mm²</p>		<p>Se llama cable a un conductor (generalmente cobre) o conjunto de ellos generalmente recubierto de un material aislante o protector.</p>
<p>MULTITESTER</p>		<p>Un multímetro es un instrumento para el uso en electrónica y eléctrica, ya que posee en un solo dispositivo la mayoría de los instrumentos necesarios para trabajar en el eléctrica, es decir, el voltímetro, amperímetro, óhmetro, luego tienen medidor de continuidad,</p>

3.6.4 Realización de las prácticas

Para ello se tendrá en cuenta los esquemas eléctricos del circuito de fuerza y de maniobra que se representa a continuación y se realizará el montaje en cada caso. Antes de iniciar el montaje y durante el montaje del circuito de fuerza y de maniobra se comprobaba que la alimentación eléctrica está desconectada.

En los esquemas de montaje y desarrollo de la práctica, se relaciona el material necesario de los distintos equipos de control del arranque y se describe brevemente las secuencias de funcionamiento del circuito de potencia y de maniobra.

En cada uno de los ensayos se tomará nota del valor de las corrientes, tanto de la punta de arranque como de la de régimen permanente y se anotaran en los cuadros del resumen.

Al final se extraerán las conclusiones pertinentes de comparar los diferentes métodos de arranque.

3.6.4.1 Esquemas de montaje y desarrollo de las prácticas

3.6.4.2 Explicación del funcionamiento del diagrama de comando en arranque directo.

Inicialmente, el contactor KM1 se encuentra abierto.

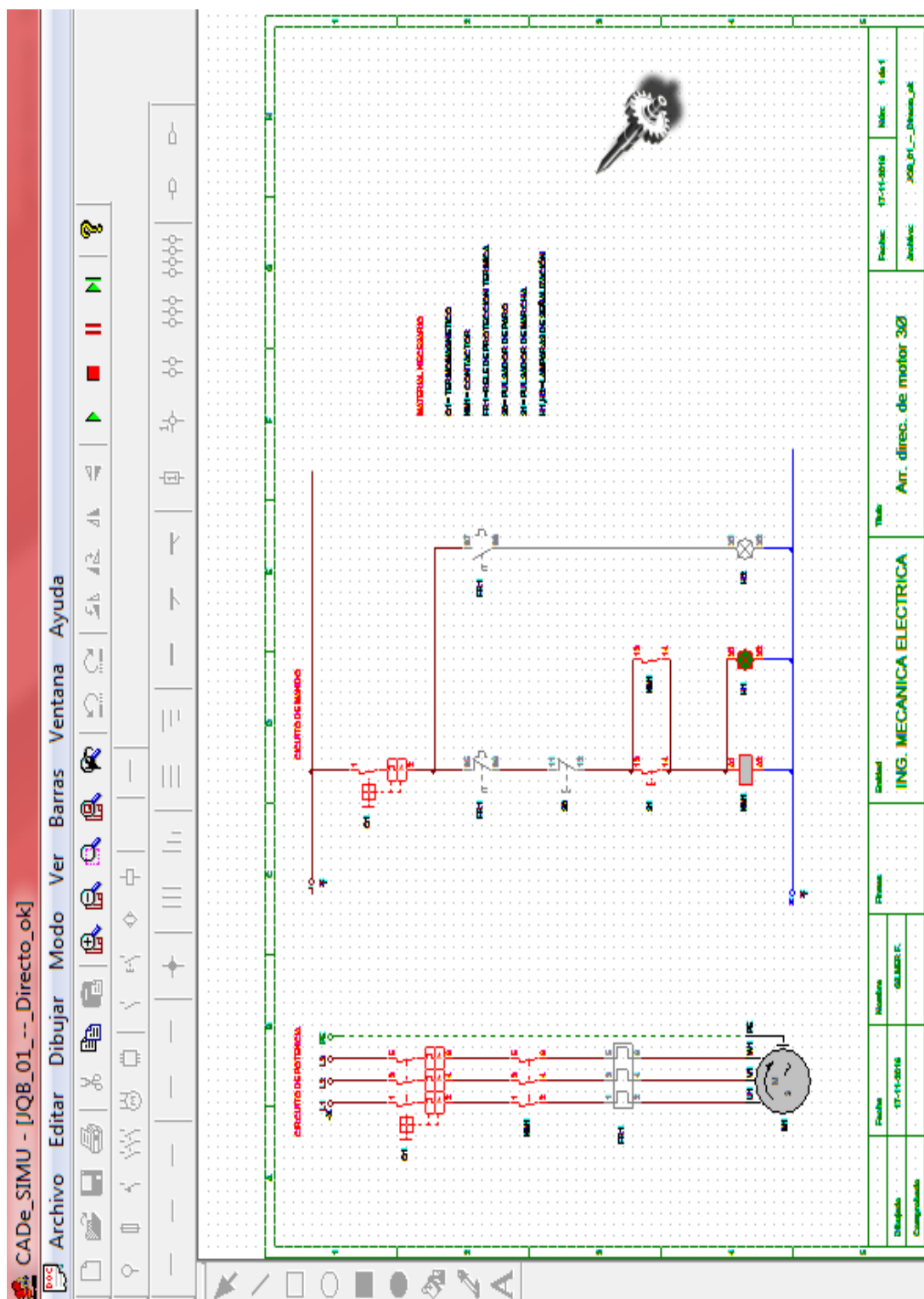
Marcha: Al presionar el pulsador S1 y no haber falla térmica en el motor, el contacto FR1 del relé térmico está cerrado; como el pulsador S0 es NC y no está presionado el contacto S0 está cerrado y al cerrarse el contacto S1 se energiza la bobina del contactor KM1 cerrándose entonces sus contactos principales. Al cerrarse el contactor KM1, se cierran sus contactos auxiliares, entonces, independientemente que se deje de presionar S1, la bobina se mantiene alimentada a través del contacto auxiliar de KM1 en paralelo con S1 y el contactor permanece cerrado. A este contacto de KM1 en paralelo con el pulsador de marcha se le denomina usualmente contacto de autoretención.

Parada: Al presionar el pulsador S0, como es un contacto NC, el contacto S0 que aparece en el diagrama de comando se abre, dejando sin alimentación a la bobina del contactor KM1. KM1, con su bobina desenergizada, se abre.

Parada por disparo del relé térmico: En caso de detectarse una sobrecarga, el contacto NC de FR1 que figura en el diagrama de comando se abre, dejando sin alimentación a la bobina del contactor KM1. KM1, con su bobina desenergizada, se abre.

Observar que, en caso de desear comandar el contactor desde más de un punto, alcanzará con poner contactos NA de los comandos de apertura adicionales que se desee en paralelo con el contacto de S1 y contactos NC de los comandos de cierre adicionales que se desee en serie con el contacto de S0.

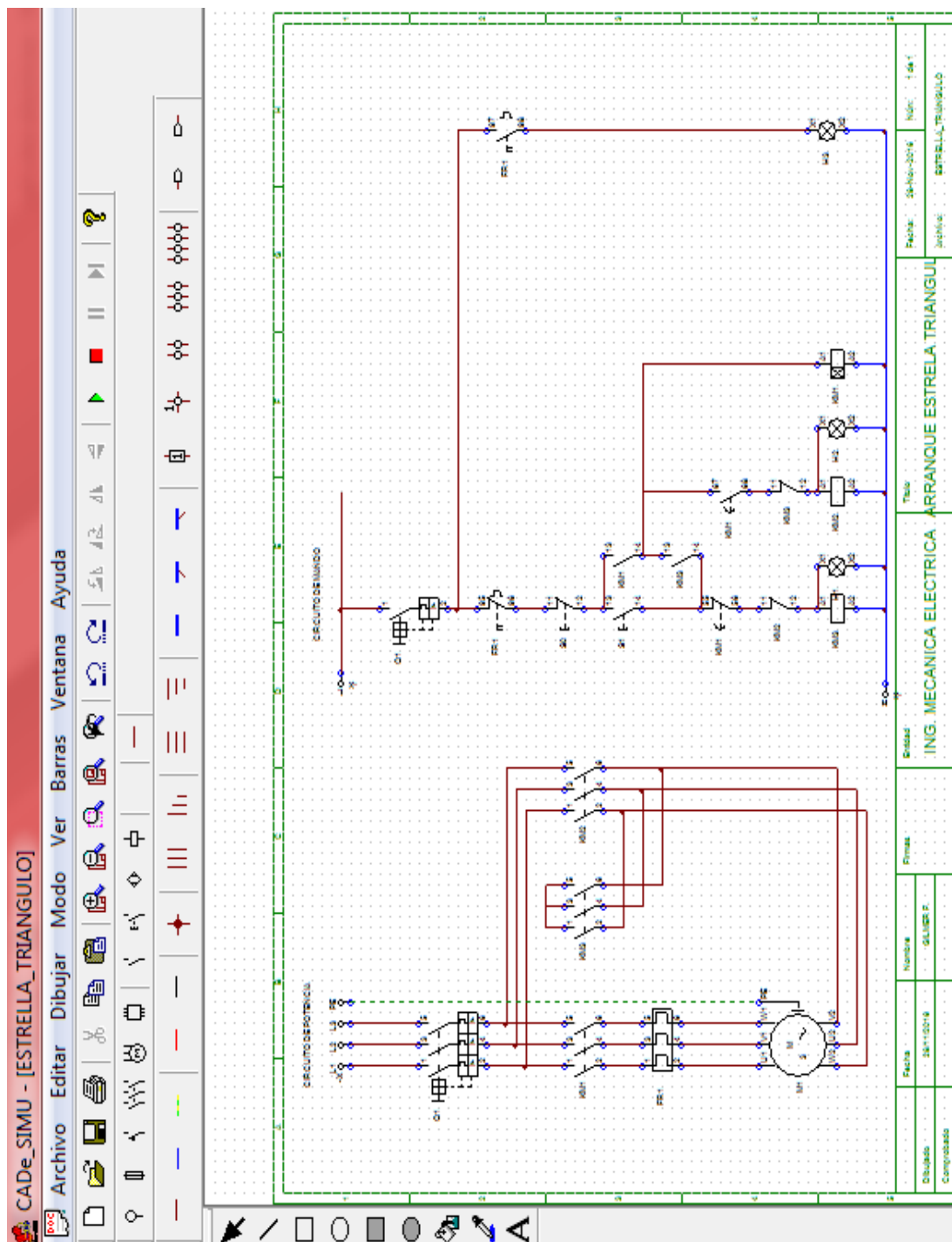
Figura 3.3: Simulación de Funcionamiento de Arranque Directo



Elaborado por el equipo de trabajo

ARRANQUE ESTRELLA TRIÁNGULO

Figura 3.4: Diseño de circuito de mando y fuerza de Arranque Estrella Triángulo



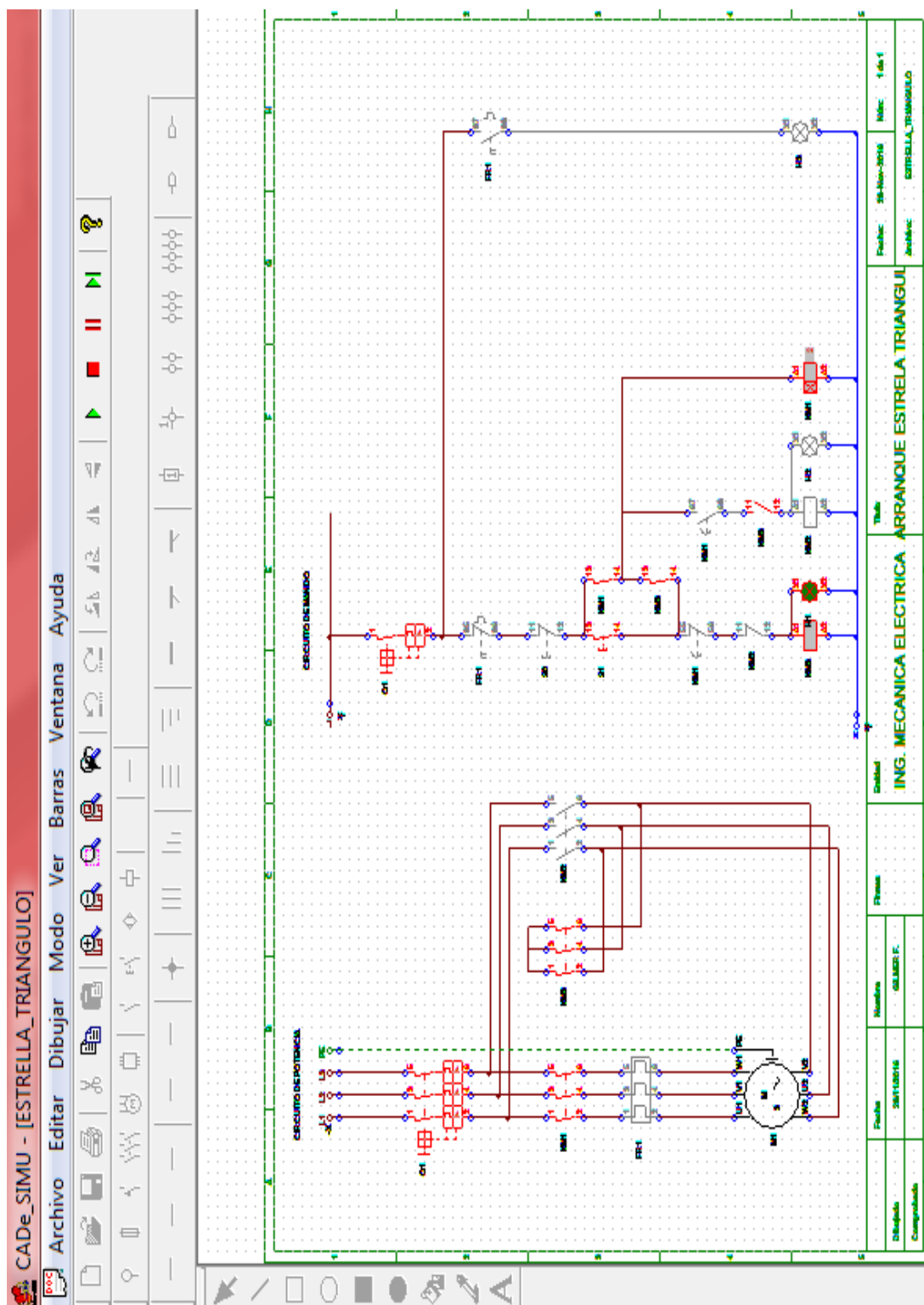
Elaborado por el equipo de trabajo

3.6.4.3 Explicación del funcionamiento del diagrama de comando en conexión estrella

La conexión en estrella de los bobinados del motor se logra cerrando el contactor KM3 y la conexión en triángulo cerrando el contactor KM2. Inicialmente, los tres contactores están abiertos.

Marcha: Al pulsar S1, como el NC del relé térmico FR1 está cerrado puesto que no hay falla por sobrecarga, el NC de S0 está cerrado puesto que no está presionado el pulsador de parada, los contactos NC de KM1 y KM3 están cerrados puesto que ambos contactores están abiertos y el contacto NC del temporizador KM1 está cerrado puesto que el temporizador no está funcionando, se energiza la bobina del contactor KM3, cerrándose el contactor KM3 y se activa el temporizador KM1. En este momento se ha conectado los bobinados del motor en estrella.

Figura 3.5: Simulación de Funcionamiento en conexión Estrella



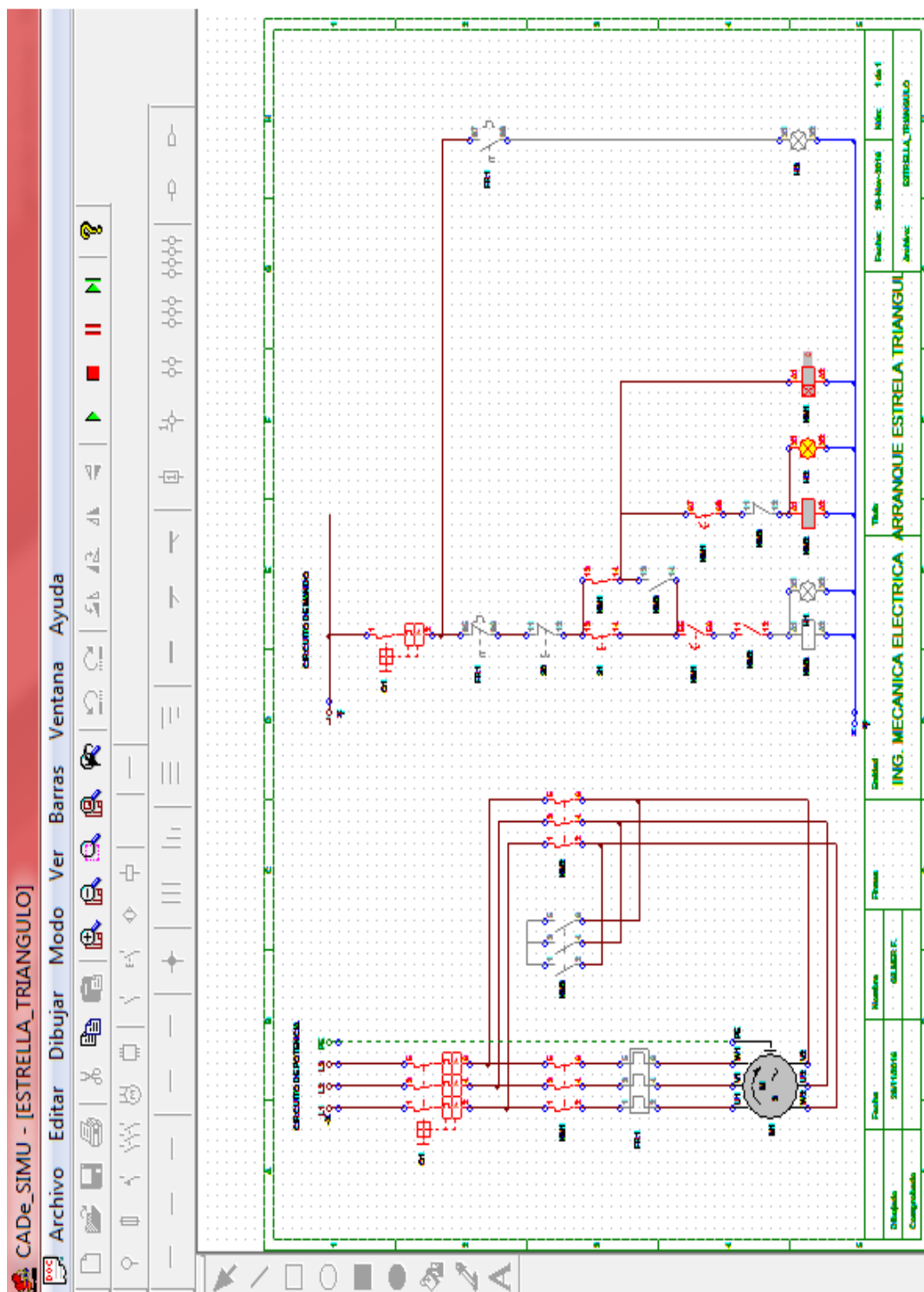
Elaborado por el equipo de trabajo

3.6.4.4 Explicación del funcionamiento del diagrama de comando en conexión delta

Al energizarse KM3, se cierran sus contactos auxiliares NA y se energiza entonces la bobina de KM1, cerrándose el contactor KM1 y entregando tensión al motor.

Tanto KM1 como KM3 permanecen cerrados, aún luego de mantener S1 pulsado, a través de los contactos de autoretención de KM3. Al estar KM3 cerrado, su contacto NC está abierto y la bobina de K3M no está alimentada, por lo que KM3 está abierto. Cuando el temporizador llegó a su valor de seteo el contacto NC de KM1 se abre, desenergizando la bobina de KM3, lo que provoca la apertura de KM2. KM1 permanece cerrado, entonces su contacto NA está cerrado y como KM3 abrió, su contacto NC se cerró, por lo que se energiza la bobina de K3M, provocando el cierre de KM3 y la conexión de los bobinados del motor en triángulo, lo que implica el fin del arranque

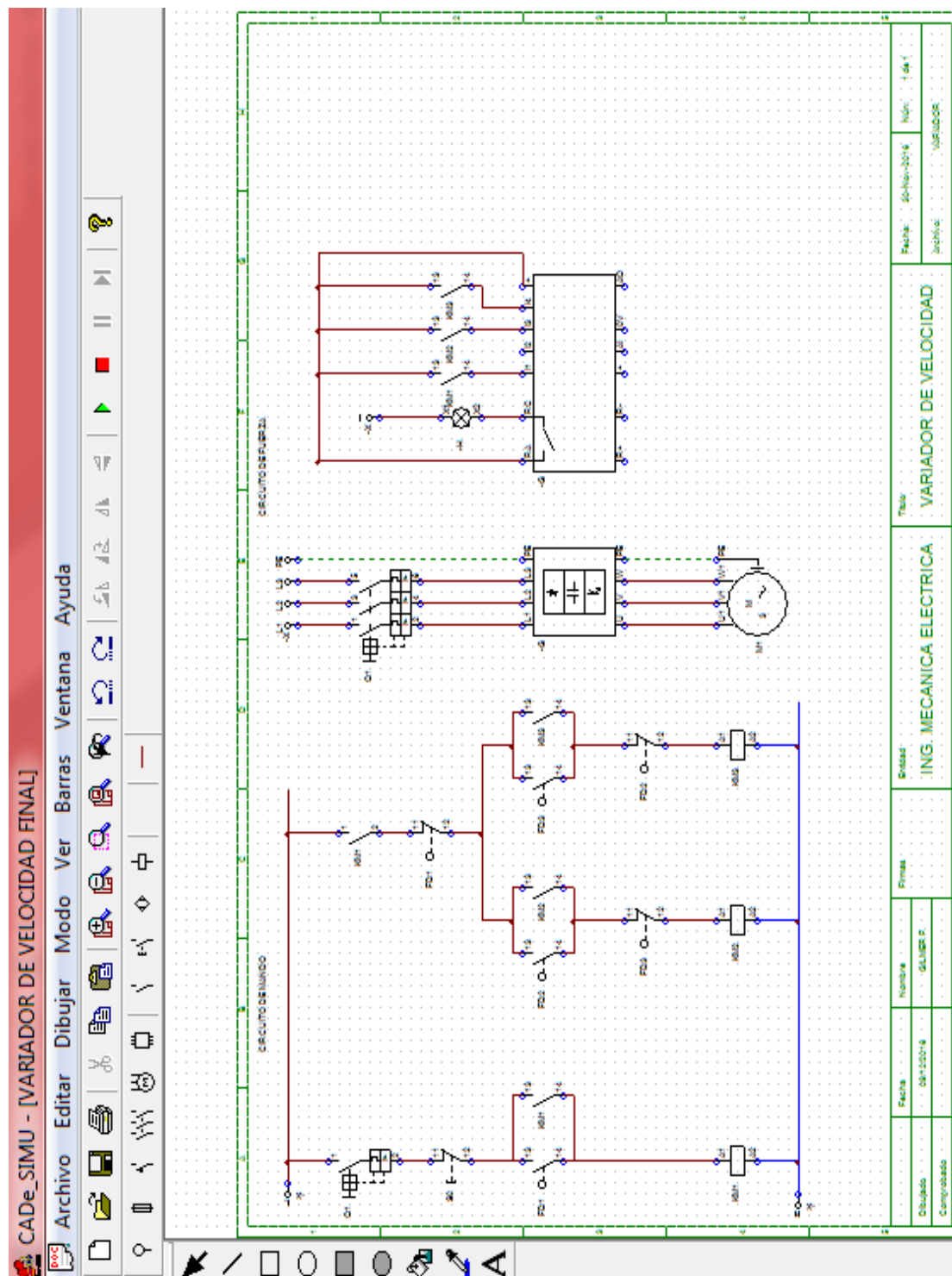
Figura 3.6: Simulación de Funcionamiento en conexión Triángulo



Elaborado por el equipo de trabajo

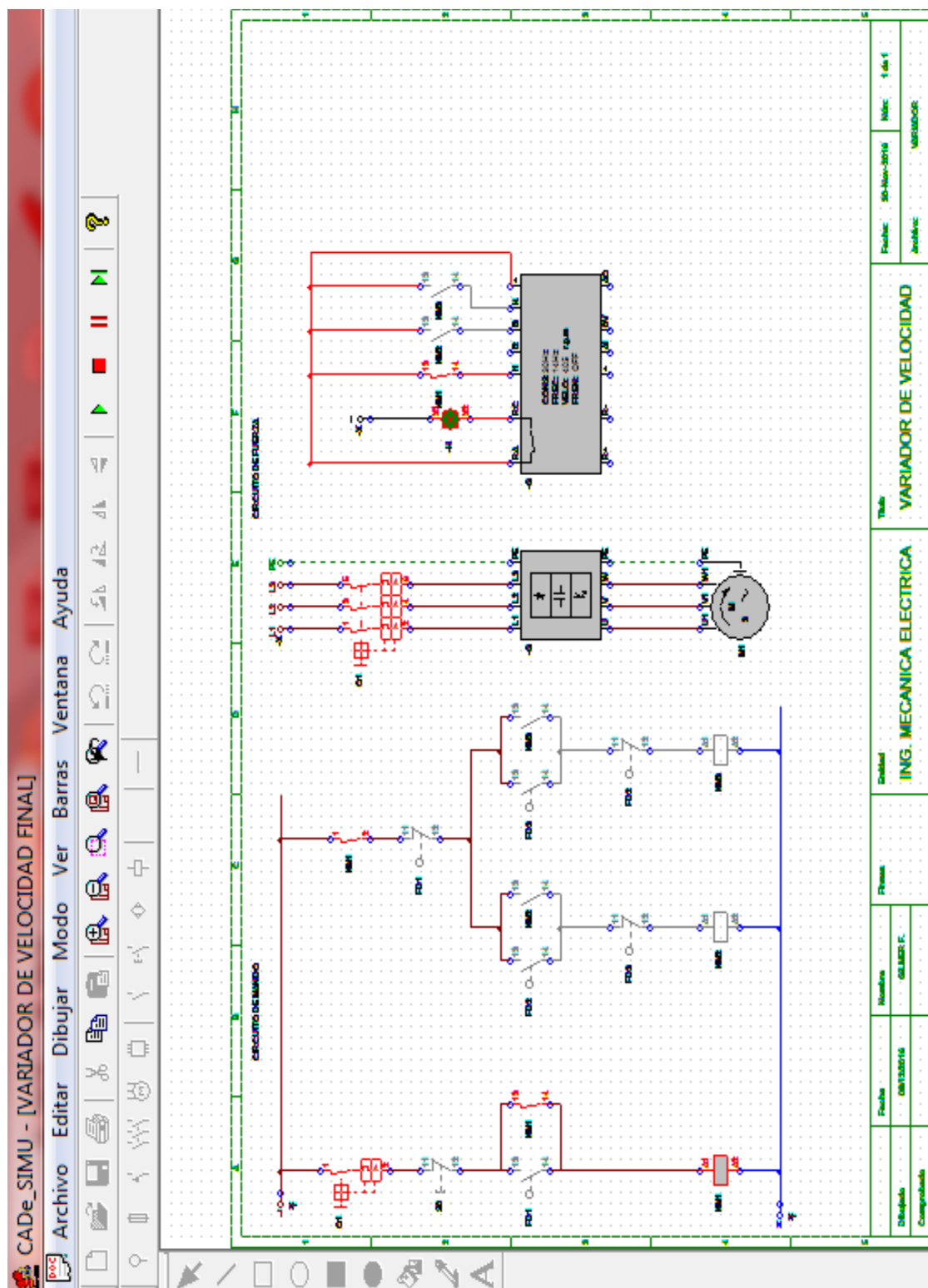
ARRANQUE MEDIANTE VARIACIÓN DE VELOCIDAD

Figura 3.7: Diseño de circuito de mando y fuerza con variador de velocidad



Elaborado por el equipo de trabajo

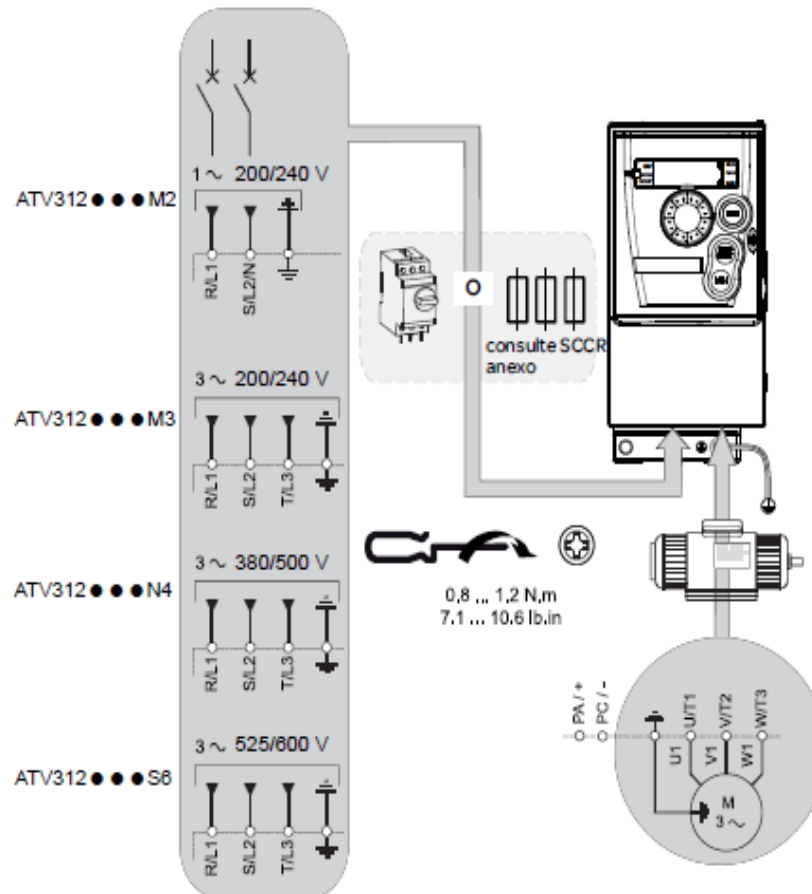
Figura 3.8: Simulación de Funcionamiento con variador de Velocidad



Elaborado por el equipo de trabajo

3.6.5 Diagrama de conexión del variador de velocidad ALTIVAR 12

Figura 3.9: Conexionado de un variador de velocidad ALTIVAR 12



Fuente: (Schneider, 2009)

3.6.5.1 Programación de un variador de velocidad ALTIVAR 12

El variador de frecuencia es un aparato electrónico que se puede programar de manera sencilla mediante la parametrización del mismo, para esto se cuenta con una guía de programación que se presenta en la Tabla 3.2. En esta se presentan los parámetros y las opciones que pueden escogerse dentro de cada parámetro.

3.6.5.2 Ajustes de los parámetros del motor

Consulte la placa de características del motor para ajustar los parámetros siguientes:

Tabla 3.2: Parámetros del variador de velocidad

Menu	Codigo	Descripción	Ajuste
drC - [CONTROL DEL MOTOR]	<i>bFr</i>	[Frec. estándar motor]: Frecuencia estándar del motor (Hz)	
	<i>UnS</i>	[Tensión nom. motor]: Tensión nominal del motor en la placa de características del motor (V)	
	<i>FrS</i>	[Frec. nom. motor]: Frecuencia nominal del motor en la placa de características del motor (Hz)	
	<i>nCr</i>	[Int. Nominal Motor]: Corriente nominal del motor en la placa de características del motor (A)	
	<i>nSP</i>	[Vel. Nominal Motor]: Velocidad nominal del motor en la placa de características del motor (rpm)	
	<i>CO5</i>	[Motor 1 cos fi]: Cos φ nominal del motor en la placa de características del motor	

Elaborado por el equipo de trabajo

3.6.5.3 Ajuste de los parámetros básicos

Tabla 3.3: Parámetros básicos del variador de velocidad

Menú	Código	Descripción	Ajuste
SEt - [AJUSTES]	ACC	[Aceleración]: Tiempo de aceleración (s)	
	DEC	[Deceleración]: Tiempo de deceleración (s)	
	LSP	[Velocidad mínima]: Frecuencia del motor con referencia mínima (Hz)	
	HSP	[Vel. máxima]: Frecuencia del motor con referencia máxima (Hz)	
	IEH	[I térmica motor]: Corriente nominal del motor en la placa de características del motor (A)	
I-D- [ENTRADAS/SALIDAS]	rr5	[Asig. marcha atrás]: Asignación de marcha atrás	
Fun->PSS- [VEL. PRESELECC.]	P52	[2 vel. preselecc.]: Velocidades preseleccionadas	
	P54	[4 vel. preselecc.]: Velocidades preseleccionadas	
Fun->SAI- [ENTRADAS SUMATORIAS]	SA2	[Ref. sumat. 2] Entrada analógica	

Elaborado por el equipo de trabajo

3.6.5.4 Ajuste de los parámetros de control


Tabla 3.4: Parámetros básicos del variador de velocidad

Menú	Código	Descripción	Configuración Remota	Configuración Local
CEL - [CONTROL]	Fr1	[Canal Ref. 1]: Control de referencia	A11 (Ajuste de fábrica), A12, A13	A101
I-D- [ENTRADAS/SALIDAS]	EEC	[Control 2/3 hilos]: Control de comandos	2C: 2 hilos (Ajuste de fábrica) 3C: 3 hilos	LDC

Elaborado por el equipo de trabajo

3.6.6 Formato para la medición de las corrientes de arranque

Tabla 3.5: Formato para la medición de las corrientes de arranque

INFORMACIÓN SOLICITADA				
TIPO DE ARRANQUE MOTOR DE 1HP TRIFASICO	Curva de Arranque 	Medidas Tomadas		
		Medida	Tiempo [s]	Corriente [A]
		1		
		2		
		3		
		4		
		5		
		6		

Elaborado por el equipo de trabajo

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

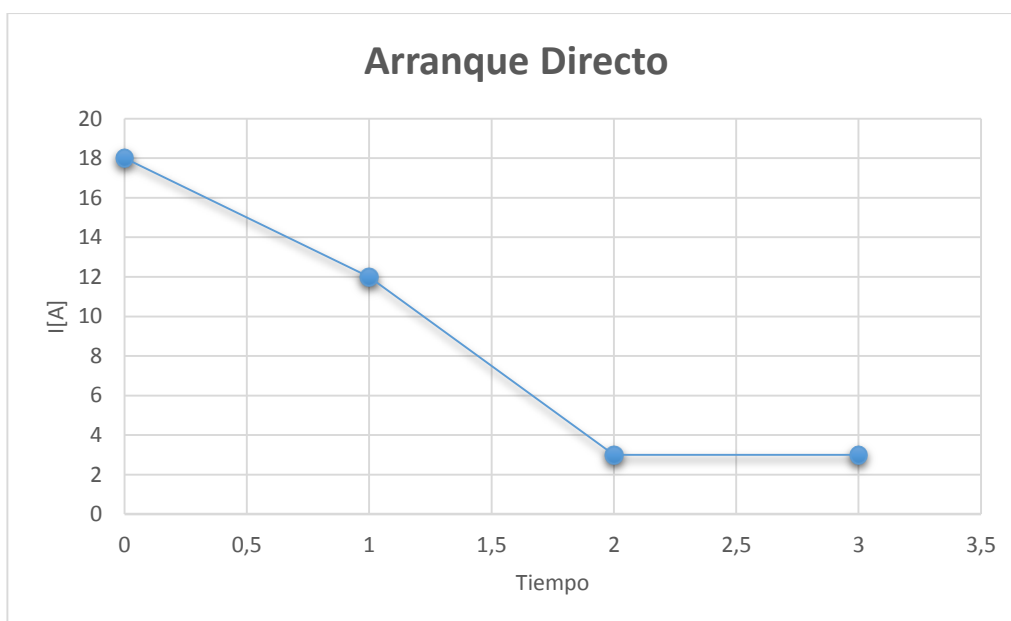
4.1 Resultados Arranque Directo:

Tabla 4.1: Dato de arranque de motor de 1.5 HP trifásico

Tiempo[s]	Corriente[A]
0	18
1	12
3	3
4	3

Elaborado por el equipo de trabajo

Figura 4.1: Curva de arranque directo de motor 1.5 HP



Elaborado por el equipo de trabajo

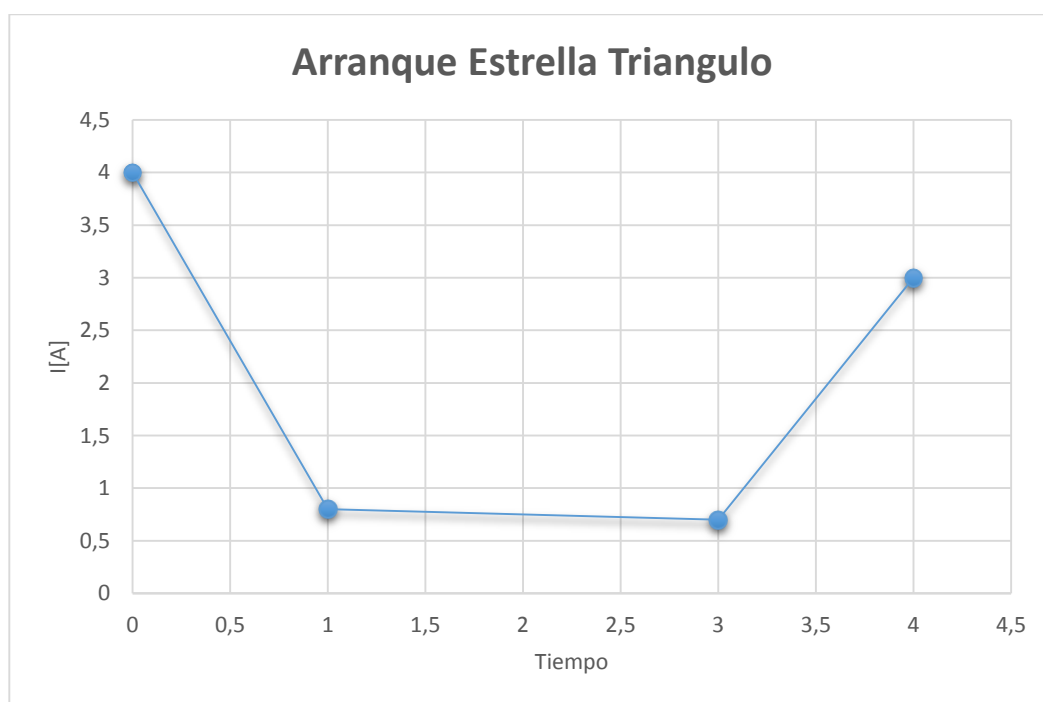
4.2 Resultados de Arranque Estrella Triangulo

Tabla 4.2: Datos de Arranque de motor Trifásico de 1.5 HP

Tiempo[s]	Corriente[A]
0	4
1	0.8
3	0.7
4	3

Elaborado por el equipo de trabajo

Figura 4.2: Curva de arranque estrella triangulo de motor 1.5 HP



Elaborado por el equipo de trabajo

4.3 Resultados de la Programación del variador Altivar 12

Tabla 4.3: Ajustes de acuerdo a la placa de características

Menu	Codigo	Descripción	Ajuste
<i>drC -</i> [CONTROL DEL MOTOR]	<i>bFr</i>	[Frec. estándar motor]: Frecuencia estándar del motor (Hz)	60 Hz
	<i>UnS</i>	[Tensión nom. motor]: Tensión nominal del motor en la placa de características del motor (V)	380 V
	<i>FrS</i>	[Frec. nom. motor]: Frecuencia nominal del motor en la placa de características del motor (Hz)	60 Hz
	<i>nCr</i>	[Int. Nominal Motor]: Corriente nominal del motor en la placa de características del motor (A)	3 A
	<i>nSP</i>	[Vel. Nominal Motor]: Velocidad nominal del motor en la placa de características del motor (rpm)	1710
	<i>CD5</i>	[Motor 1 cos fi]: Cos φ nominal del motor en la placa de características del motor	1

Elaborado por el equipo de trabajo

Tabla 4.4: Ajustes de los parámetros básicos del motor

Menú	Codigo	Descripción	Ajuste
<i>SEt -</i> [AJUSTES]	<i>ACC</i>	[Aceleración]: Tiempo de aceleración (s)	3
	<i>DEC</i>	[Deceleración]: Tiempo de deceleración (s)	3
	<i>LSP</i>	[Velocidad mínima]: Frecuencia del motor con referencia mínima (Hz)	
	<i>HSP</i>	[Vel. máxima]: Frecuencia del motor con referencia máxima (Hz)	
	<i>IeH</i>	[I térmica motor]: Corriente nominal del motor en la placa de características del motor (A)	

Elaborado por el equipo de trabajo

Tabla 4.5: Ajustes de los parámetros de control

Menú	Código	Descripción	Configuración Remota	Configuración Local
CLL - [CONTROL]	Fr1	[Canal Ref. 1]: Control de referencia	A11 (Ajuste de fábrica), A12, A13	A1U1
I-D - [ENTRADAS/SALIDAS]	CLC	[Control 2/3 hilos]: Control de comandos	2C : 2 hilos (Ajuste de fábrica) 3C : 3 hilos	LOC

Elaborado por el equipo de trabajo

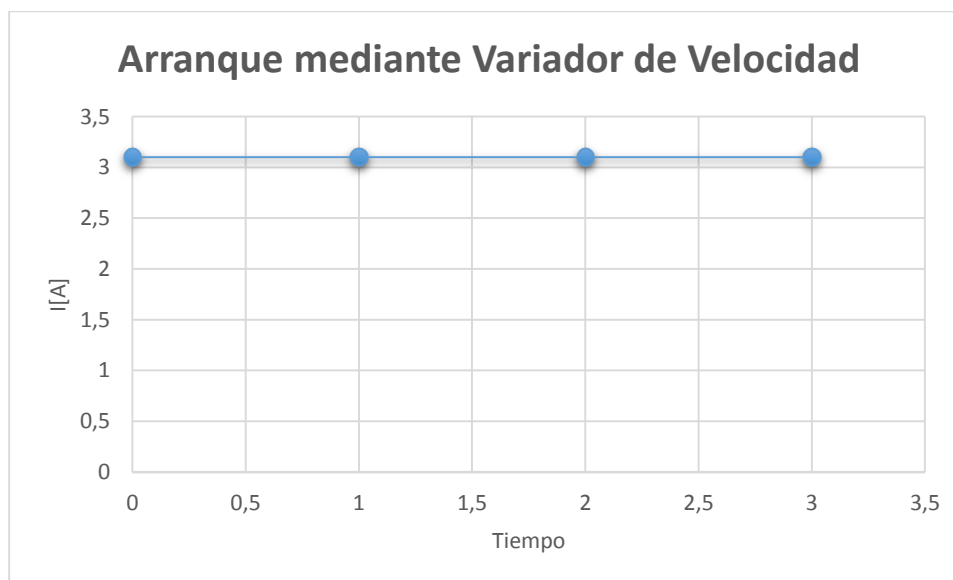
4.4 Resultados de Arranque mediante un Variador de Velocidad

Tabla 4.6: Datos de arranque mediante variador de velocidad

Tiempo[s]	Corriente[A]
0	3.1
1	3.1
2	3.1
3	3.1

Elaborado por el equipo de trabajo

Figura 4.3: Curva de arranque mediante variador de velocidad de motor 1.5 HP



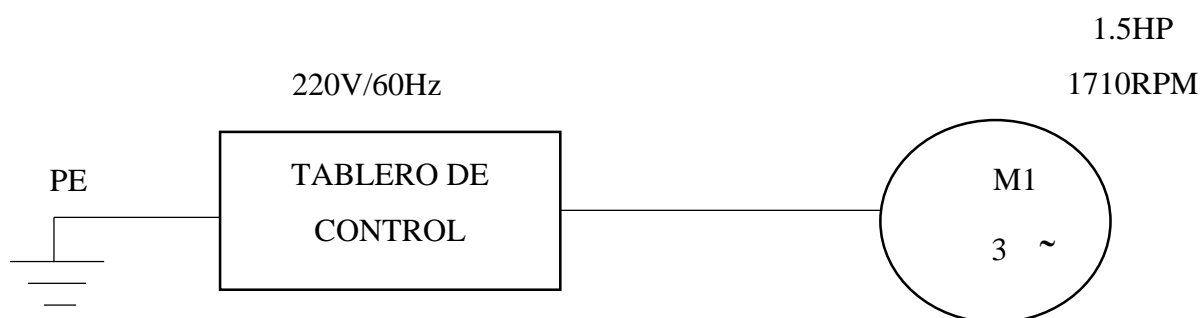
Elaborado por el equipo de trabajo

4.5 Selección de los dispositivos de protección para la instalación de motores eléctricos trifásicos de inducción, en arranque estrella triángulo

Tabla 4.7: Características del motor

MOTOR	POTENCIA	TENSIÓN	EFICIENCIA	COS ϕ	ARRANQUE	DISTANCIA AL TABLERO
M1	1.5HP	220	80%	0.80	Estrella/Triangulo	20m

Elaborado por el equipo de trabajo



4.5.1 Procedimiento para selección del Interruptor Termomagnético:

La selección del termomagnético se realizará en función de la corriente nominal del motor.


$$I_n = \frac{1.5 \cdot 746}{\sqrt{3} \cdot 220 \cdot 0.80 \cdot 0.80} \dots\dots\dots (4.1)$$

$$I_n = 3.6A$$

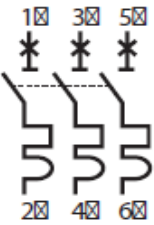
Termomagnético seleccionado de acuerdo al catálogo de la marca Schneider Electric.

Figura 4.4: Termomagnético seleccionado para el motor

REFERENCIA



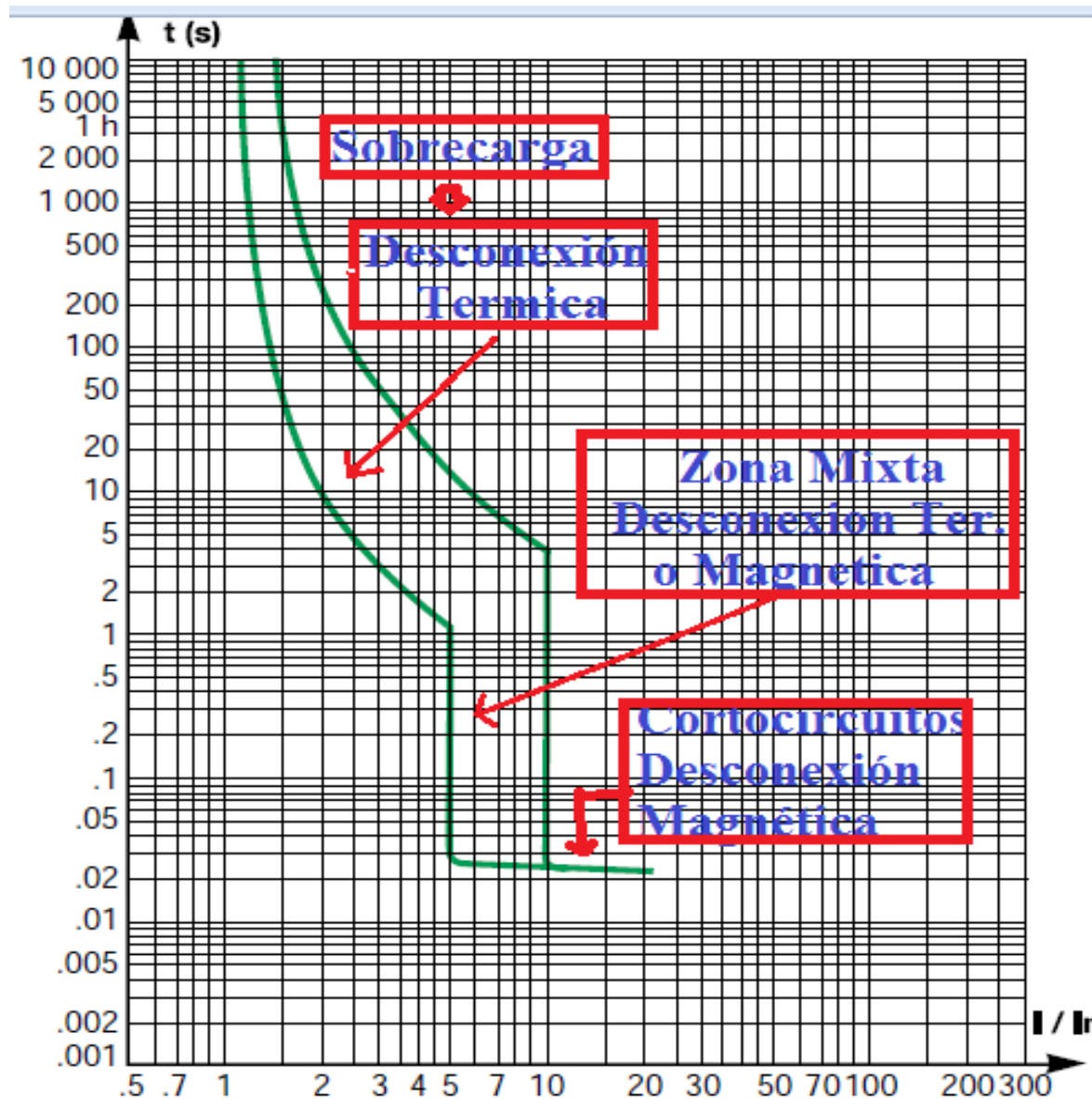
24740

tipo	In (A)	referencia curva			ancho en pasos de 9 mm
		B	C	D	
3P  3 polos protegidos	0,5	-	24906	-	6
	1	-	24994	25196	
	2	-	24995	25197	
	3	-	24996	25198	
	4	-	24997	25199	
	6	24738	24998	25200	
	10	24739	24999	25201	
	16	24740	25000	25202	
	20	24741	25001	25203	
	25	24742	25002	25205	
	32	24743	25003	25207	
	40	24744	25004	25208	
	50	24745	25005	25209	
	63	24746	25006	25210	

Elaborado por el equipo de trabajo

A continuación, se muestra la curva de disparo del termomagnético seleccionado de clase C:

Figura 4.5: Curva de disparo del termomagnético

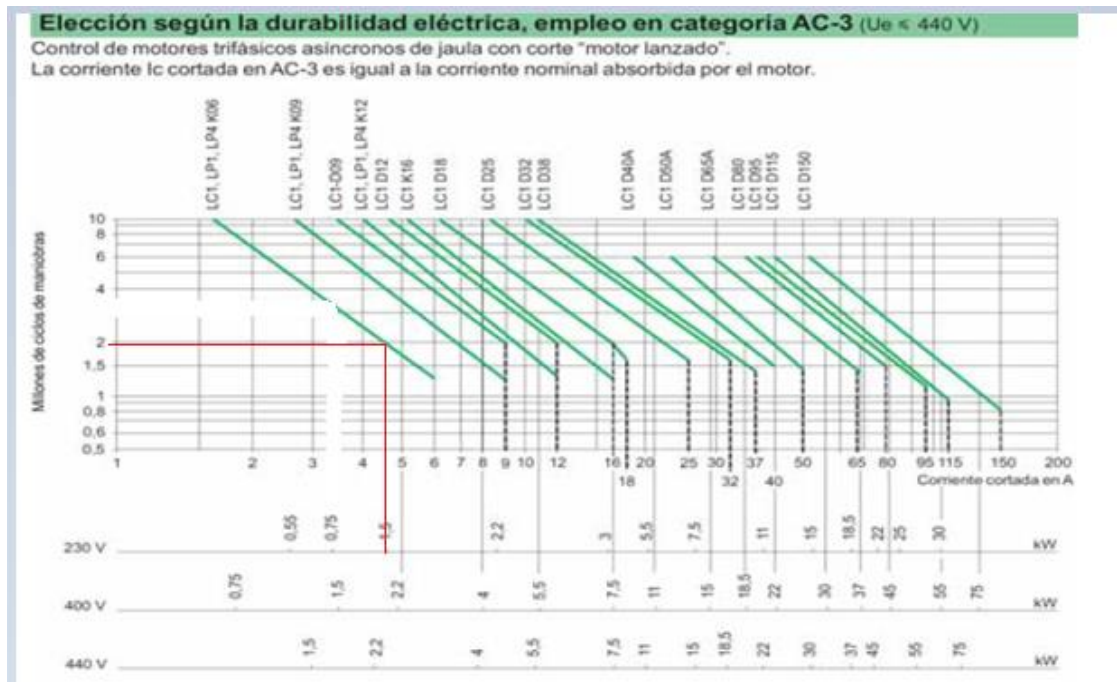


Elaborado por el equipo de trabajo

4.5.2 Selección del contactor Electromagnético

Se selecciona en base a la corriente nominal del motor

Figura 4.6: Curva de durabilidad del contactor



Elaborado por el equipo de trabajo

Del diagrama de la figura se determina el calibre del contactor a elegir: es decir LC1 – K06, la vida útil del contactor es, según la figura, del orden de $1.9 \cdot 10^6$ maniobras.

4.5.3 Selección del relé térmico diferencial

Se selecciona en función de la corriente nominal del motor I_n . Siempre que sea posible esta corriente debe estar ubicada en el punto medio de la amplitud comprendida entre en índice mínimo y máximo deberá existir una relación de 1a 1.6

Índice de regulación mínimo:

$$I_{min} = I_n * 0.8 = 3.1 * 0.8 = 2.48A$$

Índice de regulación máximo:

$$I_{max} = I_n / 0.8 = 3.1 / 0.8 = 3.88A$$

Con estos datos seleccionamos el relé de acuerdo al catálogo de la marca Schneider Electric.

Figura 4.7: Selección del relé térmico

Relés tripolares TeSys D de para redes equilibradas

Relés están compensados y diferenciales con rearme manual o automático y señalización de disparo.

Aptos para Coordinación tipo 2; Clase 10 A⁽¹⁾



Regulación (A)	Para montaje Sobre contactor LC1	Referencia para asociación con contactor TeSys	Precio S/.	Cantidad Indivisible
0.25 - 0.40	D09 - D38	LRD03	139.00	1
0.40 - 0.63	D09 - D38	LRD04	139.00	1
0.63 - 1	D09 - D38	LRD05	139.00	1
1 - 1.6	D09 - D38	LRD06	139.00	1
1.6 - 2.5	D09 - D38	LRD07	142.00	1
2.5 - 4	D09 - D38	LRD08	142.00	1
4 - 6	D09 - D38	LRD10	142.00	1
5.5 - 8	D09 - D38	LRD12	142.00	1
7 - 10	D09 - D38	LRD14	142.00	1
9 - 13	D12 - D38	LRD16	142.00	1
12 - 18	D18 - D38	LRD21	145.00	1
16 - 24	D25 - D38	LRD22	145.00	1
23 - 32	D25 - D38	LRD32	229.00	1

Elaborado por el equipo de trabajo

Normalizado, tenemos en relé térmico diferencial con rango de 2.5 a 4A LRD08

4.5.4 Selección de los conductores de alimentación del tablero del motor Cálculo por caída de Tensión:

$$\%V = \frac{0.0309 * I * L * \cos\phi}{S * V} * 100 \dots \dots \dots (4.2)$$

Donde:

S..... Sección del conductor en mm²

I.....Corriente en Amperios.

L.....Longitud de la instalación en metros.

Cosφ.....Factor de potencia.

%V.....Caída de tensión máxima (la caída de tensión máxima permitida es de 3% de la tensión de línea)

V.....Tensión de línea en voltios.

Tomaremos como referencia el conductor N° 14 AWG, tipo THW, sección 2.08mm².

La caída de Tensión será:

$$\%V = \frac{0.0309 * 3.1 * 20 * 0.87}{2.08 * 220} * 100$$

$$\%V=0.36\% < 3\%$$

Por tanto, el conductor seleccionado para el motor es el N° 14AWG, tipo THW.

4.5.5 Discusión sobre las corrientes de arranque y la selección de los dispositivos de mando y protección

De acuerdo a laboratorios realizados podemos observar que en el arranque directo el pico de corriente se eleva a 6 veces la corriente nominal, en el arranque estrella triangulo esta corriente disminuye a 1.3 veces la corriente y por el ultimo en el arranque con variador de velocidad esta arranca progresivamente a su corriente nominal, posteriormente se realizó la selección de los dispositivos de mando y protección de acuerdo a su capacidad de corriente, tensión y potencia del motor.

Contreras (2010), En el arranque con montaje estrella triángulo el pico de corriente es bajo comparado con el arranque directo, bajo estas condiciones este tipo de operación es más eficiente.

Pérez (2012), Las nuevas protecciones tienen características flexibles que deben ser aprovechadas al máximo para una mejor operación de los equipos, ya que los nuevos avances en la tecnología contemplan algunos aspectos más precisos en la operación de los equipos, por lo tanto las protecciones tienen mayor cobertura.

CONCLUSIONES

PRIMERO: Con la implementación del módulo didáctico para el estudio de Mando Y Protección de motores eléctricos nos permitió identificar que los parámetros más importantes son la corriente nominal, tensión y la potencia para una mejor operación y protección.

SEGUNDO: Se ha verificado que a través de la implementación de manuales de laboratorio el arranque más óptimo se da con el uso del variador de velocidad debido al bajo consumo de corriente al momento de arrancar.

TERCERO: Se determinó que a través de catálogos se seleccionan los equipos de mando y protección debido a que estas suministran información técnica de corriente, tensión y potencia.

RECOMENDACIONES

PRIMERO: Se debe dar una importancia al control de motores, esta tecnología está en un proceso de crecimiento en el sector industrial y hacen que trabajos en la industria se han productivas.

SEGUNDO: En los centros de formación de profesionales de estas ramas, se debe de propiciar el uso de software CADE SIMU ya que es una herramienta que nos permite realizar diagramas de mando y potencia de arranque de motores.

TERCERO: Para un funcionamiento correcto del variador de velocidad se debe realizar programar de acuerdo a la placa de características del motor trifásico

CUARTO: Se recomienda utilizar los variadores de velocidad ya que se puede controlar la velocidad y el sentido de giro, en el arranque directo, estrella triangulo no se puede realizar estas acciones de forma directa.

QUINTO: Para permitir la operación continua de los motores eléctricos estas deben de contar con las protecciones de acuerdo a la capacidad de operación y funcionamiento.

SEXTO: Se recomienda poder ampliar este trabajo con futuras investigación, mediante elaboración de prototipos, que ayuden a mejorar este trabajo de investigación.

REFERENCIAS

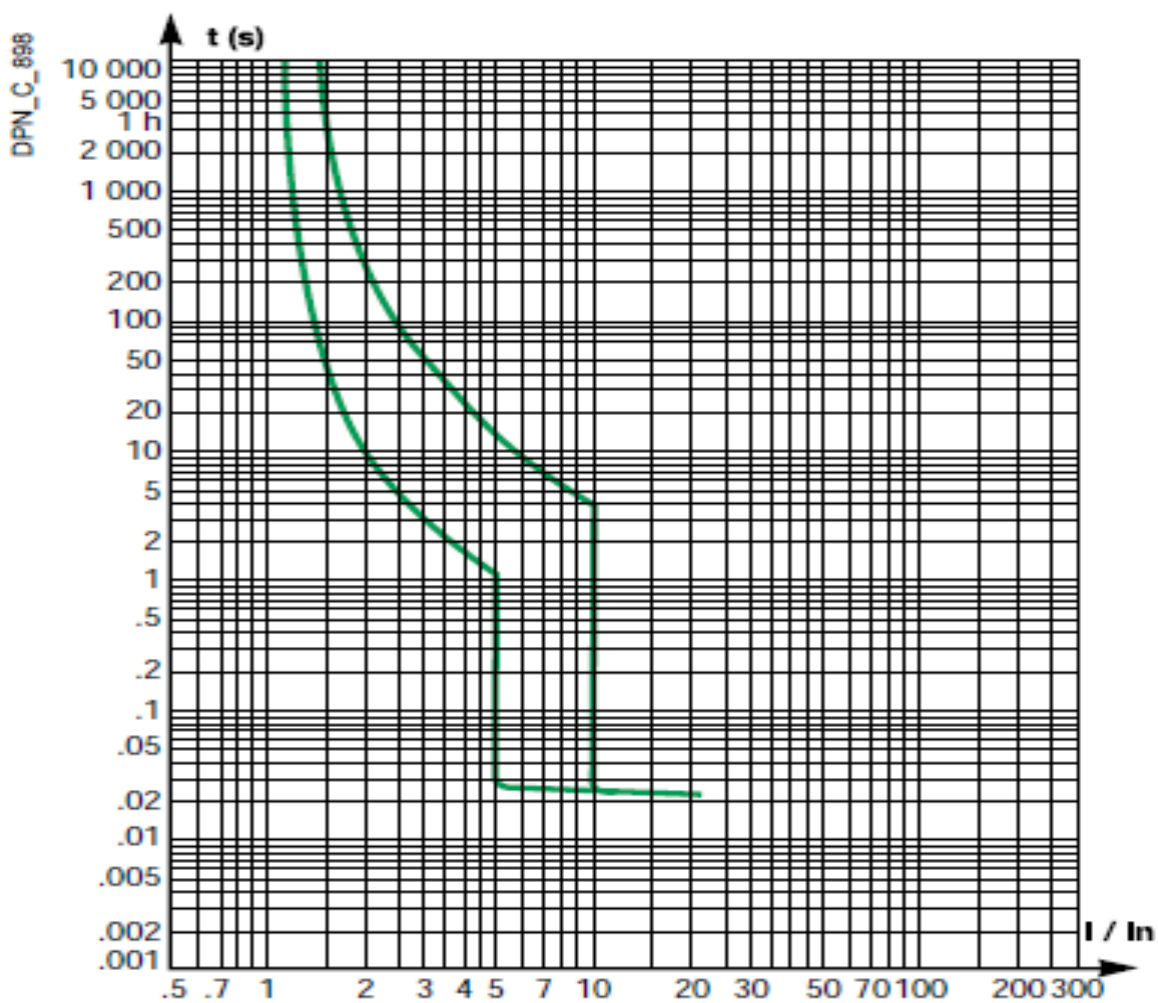
- Contreras, E. (2010). Diseño y construcción de un banco de prácticas en motores eléctricos como apoyo a la asignatura de Diseño de Maquinas II. Tesis para obtener el Título de Ingeniero Mecánico. Universidad Industrial de Santander.
- Castillo, J., & Marrufo, E. (2010). Instalaciones eléctricas básicas (Primera ed.). España: McGraw-Hill.
 - Chapman, S. (2005). Maquinas Eléctricas. Madrid: McGraw-Hill.
- Enríquez Harper, G. (1999). Fundamentos de control de motores eléctricos en la industria. México: Limusa.
- Enríquez Harper, G. (1988). El ABC de las máquinas eléctricas: Instalación y control de motores de corriente alterna. México: Limusa.
- Fraile Mora, J. (2008). Maquinas Eléctricas (Sexta ed.). México: McGraw-Hill.
- Kosow, L. (1982). Control de Máquinas Eléctricas. México: Reverte.
- Landa, I. (2013). Manual de control para motores eléctricos trifásicos. Tesis para obtener el título de Ingeniero Mecánico Electricista. Universidad Veracruzana.
- Pérez, J. (2012). Selección de protecciones para motores eléctricos de una empresa fabricante de muebles. Tesis para obtener en Título de Ingeniero Electricista. Instituto Politécnico Industrial.
- Schneider Electric. (15 de Abril de 2009). Guía soluciones de automatización y control industrial. Recuperado el 7 de Agosto de 2013, de Schneider Electric: <http://www.schneiderelectric.es/sites/spain/es/soporte/libreria-automatizacion-control/descarga/guia-soluciones.page>

ANEXOS

ANEXO A

Característica de operación de los interruptores

Curva C



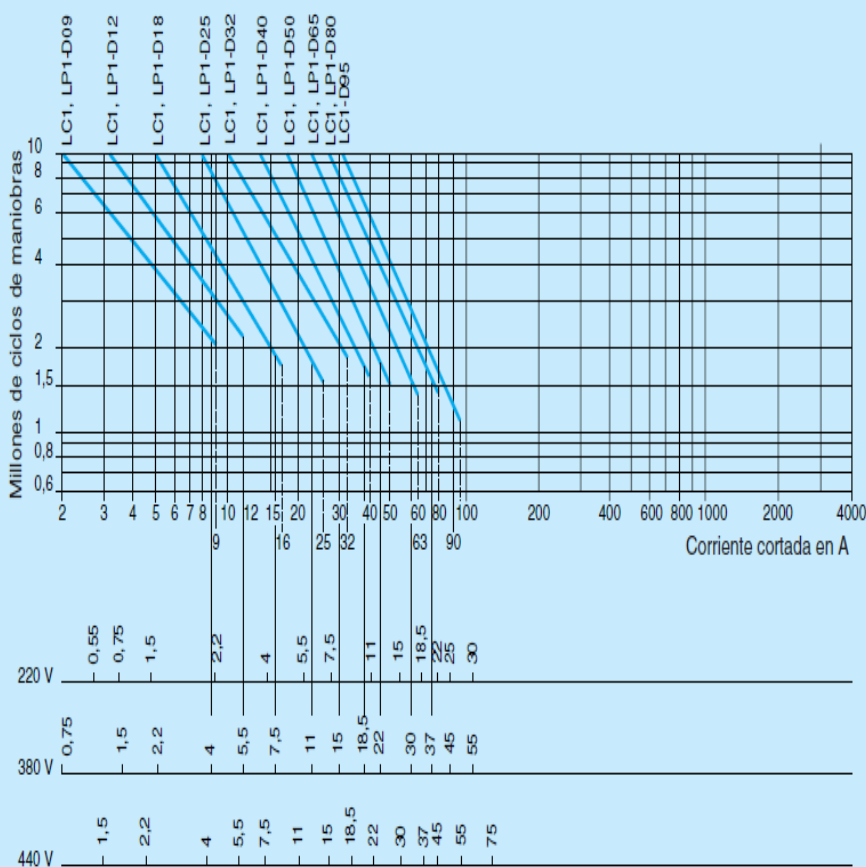
ANEXO B

Durabilidad eléctrica del contactor

Durabilidad eléctrica

Categoría de empleo AC-3
($U_e \leq 440\text{ V}$)

Control de motores trifásicos
asíncronos de jaula con corte
"motor lanzado".
La corriente cortada en AC-3
es igual a la corriente nominal I_e
absorbida por el motor.



ANEXO C

Capacidad de corrientes permisibles en amperes de los conductores

Sección nominal del conductor		Capacidad de corriente permisible [A]
[AWG]	[mm²]	
18	0,823	6
16	1,31	8
14	2,08	17
12	3,31	23
10	5,261	28

ANEXO D

Datos técnicos para motores trifásicos de jaula de Ardilla

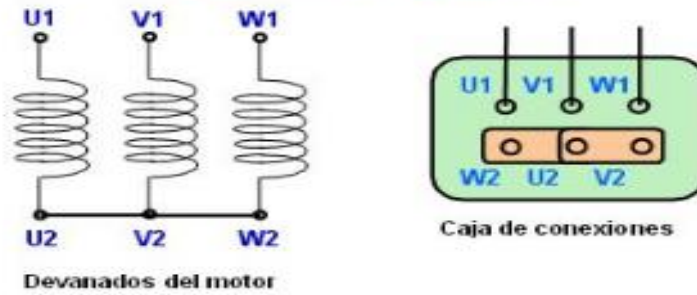
Potencia			r/min	Eficiencia [%]			Factor de potencia			FS	Corriente			Torque			Momento de inercia J=1/4GD ² [kgm ²]	Peso [kg]	Ruido [dBA]
[KW]	[HP]	Tipo		50	75	100	50	75	100		In	Is	Ivacio	Tn	Ts	Tmax			
			440 V	% de la potencia nominal						[A]	[A]	[A]	[Nm]	Tn	Tn				
2 polos = 3600 r/min																			
0,37	0,50	M2QA 71 M2A	3359	64,1	70,3	70,9	0,68	0,77	0,83	1,15	0,83	3,5	0,6	1,1	2,3	3,0	0,00030	10	59
0,55	0,75	M2QA 71 M2B	3350	68,0	73,4	73,8	0,70	0,80	0,85	1,15	1,2	4,0	0,9	1,6	2,2	2,5	0,00037	11	59
0,75	1	M2QA 71 M2B	3255	72,4	73,8	70,8	0,77	0,85	0,87	1,15	1,6	5,7	0,9	2,2	1,8	1,8	0,00037	11	59
1,1	1,5	M2QA 80 M2A	3324	75,7	75,7	71,8	0,85	0,89	0,89	1,15	2,3	5,6	0,8	3,2	1,5	1,8	0,00091	16	61
1,5	2	M2QA 80 M2B*	3380	77,2	78,3	75,5	0,84	0,88	0,89	1	2,9	6,4	1,2	4,2	1,7	1,7	0,00107	17	61
2,2	3	M2QA 90 L2A	3449	80,0	82,7	82,1	0,73	0,82	0,87	1,15	4,0	5,1	2,0	6,1	2,3	3,3	0,00163	24	65
3,0	4	M2QA 90 L2A*	3391	82,5	82,0	80,1	0,79	0,88	0,90	1	5,5	6,5	2,0	8,4	1,6	2,4	0,00163	24	65
3,7	5	M2QA 112 M2A	3495	83,1	85,9	85,9	0,81	0,88	0,92	1,15	6,2	5,9	2,7	10,1	2,5	3,3	0,00671	42	71
4,5	6	M2QA 112 M2A	3472	84,8	86,0	85,1	0,84	0,91	0,93	1,15	7,5	5,1	2,7	12,4	2,0	2,7	0,00671	42	71
5,5	7,5	M2QA 112 L2A*	3480	85,0	86,0	85,0	0,83	0,89	0,91	1	10,7	7,0	3,0	17,3	2,0	2,1	0,00826	49	73
7,5	10	M2QA 132 S2B	3515	85,7	87,4	87,6	0,81	0,87	0,90	1,15	12,4	6,3	3,6	20,4	2,3	3,4	0,01491	63	74
9,2	12,5	M2QA 132 M2A*	3500	85,0	86,0	85,5	0,81	0,87	0,89	1	16,0	7,5	7,9	28,9	2,0	2,2	0,01499	68	74
11	15	M2QA 132 M2B*	3480	88,0	89,0	89,0	0,82	0,88	0,90	1	18,3	8,0	9,0	35	2,2	2,2	0,01768	73	76
15	20	M2QA 160 M2B	3522	89,7	91,5	91,6	0,83	0,89	0,92	1,15	23,1	5,0	7,4	40	2,6	3,4	0,05510	122	76
18,5	25	M2QA 160 L2A	3523	90,1	91,7	91,8	0,82	0,88	0,91	1,15	29,2	5,4	8,5	51	2,6	3,3	0,06549	142	76
22	30	M2QA 160 L2B*	3520	87,0	88,0	88,0	0,82	0,88	0,90	1	37,1	6,5	10,2	69	2,3	2,8	0,06549	130	78
30	40	M2QA 180 L2A	3540	91,1	92,1	92,1	0,82	0,88	0,90	1,15	47,3	6,5	16,2	93	2,3	2,8	0,10339	185	78
37	50	M2QA 200 L2B	3552	89,0	90,6	90,7	0,82	0,88	0,91	1,15	59,0	5,9	14,4	100	2,4	2,8	0,16822	254	85
45	60	M2QA 200 L2C	3550	93,1	94,1	94,1	0,83	0,89	0,91	1,15	68,6	7,0	22,0	142	2,2	2,6	0,18473	276	84
55	75	M2QA 225 M2B*	3570	93,0	94,0	94,0	0,82	0,88	0,90	1	86,9	7,0	27	169	2,5	2,8	0,33431	340	84
75	100	M2QA 250 M2B*	3560	92,2	93,2	93,2	0,83	0,89	0,91	1	116	7,0	39	231	2,4	2,8	0,45829	411	88
90	125	M2QA 280 M2A	3566	92,7	94,2	94,3	0,81	0,87	0,91	1,15	143	6,7	34	249	2,3	3,3	0,61500	580	88
110	150	M2QA 280 M2B*	3565	74,3	75,3	75,3	0,84	0,90	0,92	1	212	7,5	48	340	2,3	3,2	0,80000	617	88
132	175	M2QA 315 S2A	3573	93,7	94,5	94,5	0,85	0,91	0,93	1,15	195	6,5	60	350	1,6	2,7	1,40330	910	91
150	200	M2QA 315 M2A	3574	93,9	95,0	95,0	0,85	0,91	0,93	1,15	221	5,7	65	398	1,6	2,8	1,55840	1010	91

Incremento de temperatura clase F
 Corriente nominal a 440 V
 Para obtener la corriente en 220 V multiplicar por 2. En 230 V multiplicar por 1,91. En 380 V multiplicar por 1,58. En 480 V multiplicar por 0,96
 Conexión en 380 V opcional para motores <10 HP
 Eficiencia determinada según método IEC 60034-2:1998

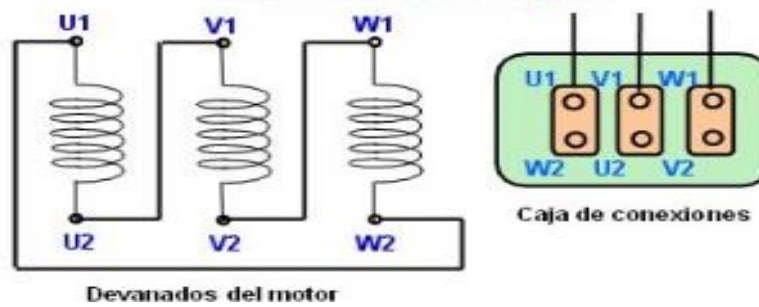
ANEXO E

Conexión estrella/triángulo de 6 terminales para un motor trifásico

Conexión en Estrella

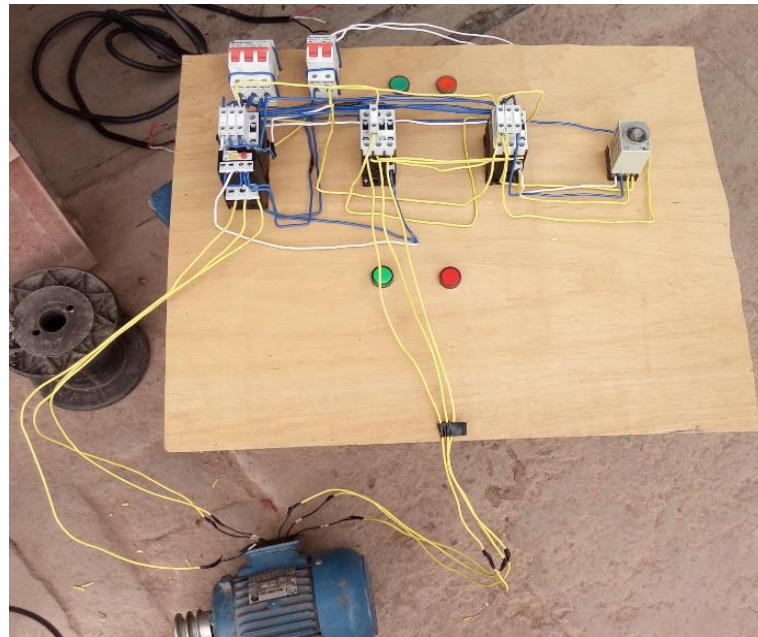


Conexión en Triángulo

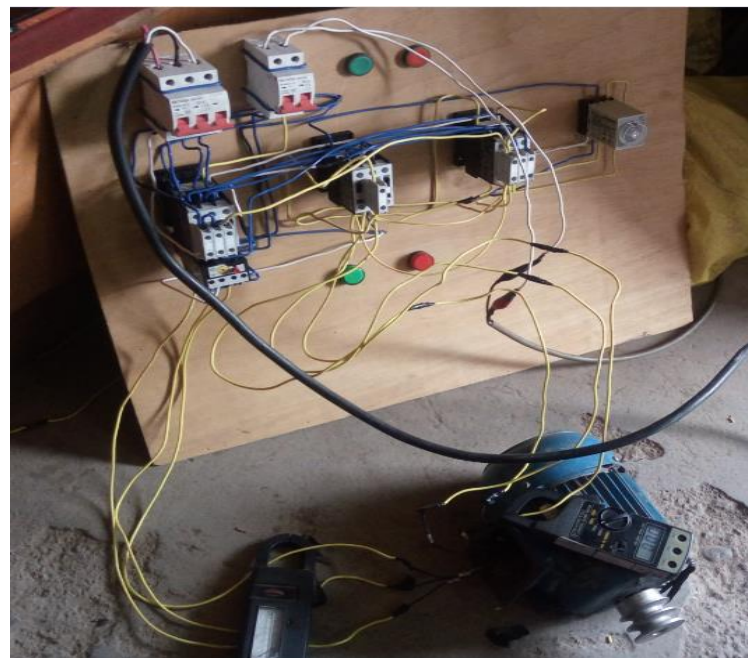


ANEXO F

Realización de los ensayos de arranque



Armado de los circuitos de mando y potencia



Funcionamiento y adquisición de datos de las corrientes de arranque mediante pinza amperimétrica