



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA UN PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO
PARA TABLEROS DE ARRANQUE DE MOTORES ELÉCTRICOS CON
VARIADOR DE FRECUENCIA**

Josué Daniel Barrios Morales

Asesorado por la Mtro. Ing. Daniel Ángel Figueroa García

Guatemala, marzo de 2022

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA UN PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO
PARA TABLEROS DE ARRANQUE DE MOTORES ELÉCTRICOS CON
VARIADOR DE FRECUENCIA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

JOSUÉ DANIEL BARRIOS MORALES

ASESORADO POR EL MTRO. ING. DANIEL ÁNGEL FIGUEROA GARCÍA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO ELECTRÓNICO

GUATEMALA, MARZO DE 2022

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Kevin Vladimir Cruz Lorente
VOCAL V	Br. Fernando José Paz González
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
EXAMINADOR	Ing. Mario Alberto Reyes Calderón
EXAMINADOR	Ing. Miguel Ventura Pérez
EXAMINADOR	Ing. Helmunt Federico Chicol Cabrera
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA UN PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA TABLEROS DE ARRANQUE DE MOTORES ELÉCTRICOS CON VARIADOR DE FRECUENCIA

Tema que me fuera asignado por la Dirección de Escuela de Estudios de Postgrado con fecha 7 de agosto de 2021.

Josué Daniel Barrios Morales



EEPM-PP-0137-2022

Guatemala, 12 de enero de 2022

Director
Armando Alonso Rivera Carrillo
Escuela De Ingenieria Mecanica Electrica
Presente.

Estimado Ing. Rivera

Reciba un cordial saludo de la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingenieria.

El propósito de la presente es para informarle que se ha revisado y aprobado el Diseño de Investigación titulado: **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA UN PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA TABLEROS DE ARRANQUE DE MOTORES ELÉCTRICOS CON VARIADOR DE FRECUENCIA**, el cual se enmarca en la línea de investigación: **Gestión del Mantenimiento - Control de efectividad de mantenimiento basado en indicadores (disponibilidad, tiempo entre fallas, criticidad, tiempo medio entre fallas, entre otros)**, presentado por el estudiante **Josué Daniel Barrios Morales** carné número **201602648**, quien optó por la modalidad del "PROCESO DE GRADUACIÓN DE LOS ESTUDIANTES DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA OPCIÓN ESTUDIOS DE POSTGRADO". Previo a culminar sus estudios en la Maestría en ARTES en Ingeniería De Mantenimiento.

Y habiendo cumplido y aprobado con los requisitos establecidos en el normativo de este Proceso de Graduación en el Punto 6.2, aprobado por la Junta Directiva de la Facultad de Ingenieria en el Punto Décimo, Inciso 10.2 del Acta 28-2011 de fecha 19 de septiembre de 2011, firmo y sello la presente para el trámite correspondiente de graduación de Pregrado.

Atentamente,

"Id y Enseñad a Todos"


Mtro. Daniel Angel Figueroa Garcia
Asesor(a)

Daniel Angel Figueroa Garcia
Ing. Mecánico Electricista
Colegiado 13087


Mtra. Rocío Carolina Medina Galindo
Coordinador(a) de Maestría




Mtro. Edgar Darío Álvarez Cotí
Director
Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingenieria





EEP-EIME-0137-2022

El Director de la Escuela De Ingenieria Mecanica Electrica de la Facultad de Ingenieria de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, el visto bueno del Coordinador y Director de la Escuela de Estudios de Postgrado, del Diseño de Investigación en la modalidad Estudios de Pregrado y Postgrado titulado: **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA UN PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA TABLEROS DE ARRANQUE DE MOTORES ELÉCTRICOS CON VARIADOR DE FRECUENCIA**, presentado por el estudiante universitario **Josué Daniel Barrios Morales**, procedo con el Aval del mismo, ya que cumple con los requisitos normados por la Facultad de Ingenieria en esta modalidad.

ID Y ENSEÑAD A TODOS

Ing. Armando Alonso Rivera Carrillo
Director
Escuela De Ingenieria Mecanica Electrica

Guatemala, enero de 2022



USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

Decanato
Facultad de Ingeniería
24189101- 24189102
secretariadecanato@ingenieria.usac.edu.gt

LNG.DECANATO.OI.222.2022

La Decana de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, al Trabajo de Graduación titulado: **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA UN PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA TABLEROS DE ARRANQUE DE MOTORES ELÉCTRICOS CON VARIADOR DE FRECUENCIA**, presentado por: **Josué Daniel Barrios Morales**, después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada

Decana

Guatemala, marzo de 2022

AACE/gaoc

ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Por haberme dado la sabiduría y salud para poder completar esta etapa de mi vida.
Mi madre	Por proveerme con amor, condiciones materiales y apoyo incondicional para convertirme en un profesional.
Mi hermano	Por estar para mí, creer en mí y demostrarme su apoyo y cariño.
Mi novia	Por haberme acompañado desde el principio de esta trayectoria universitaria y brindarme su amor y apoyo incondicional.
Mi familia	Por haberme dado su apoyo durante este proceso.
Mis amigos	Por acompañarme, aconsejarme y demostrarme su lealtad.

AGRADECIMIENTOS A:

Universidad de San Carlos de Guatemala	Por brindarme una educación de calidad.
Facultad de Ingeniería	Por darme los conocimientos necesarios para poder emprender mi trayectoria como profesional.
Mis catedráticos	Por ser parte fundamental de mi formación como profesional.
Mi asesor de tesis	Por su apoyo, paciencia y consejos para poder realizar este trabajo.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	III
LISTA DE SÍMBOLOS	V
GLOSARIO	VII
1. INTRODUCCIÓN	1
2. ANTECEDENTES	3
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	7
3.1. Descripción y delimitación del problema.....	7
3.2. Pregunta central de investigación.....	8
3.3. Preguntas orientadoras	8
4. JUSTIFICACIÓN	9
5. OBJETIVOS	11
5.1. General.....	11
5.2. Específicos	11
6. NECESIDADES A CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN	13
7. MARCO TEÓRICO.....	17
7.1. Mantenimiento	17
7.1.1. Mantenimiento preventivo.....	18
7.2. Tableros eléctricos	19
7.3. Variadores de frecuencia.....	20
7.3.1. Partes de un VDF	22

7.3.1.1.	Rectificador	23
7.3.1.2.	Bus de corriente continua.....	25
7.3.1.3.	Inversor	25
7.3.2.	Beneficios de un VDF y aspectos a considerar ..	27
7.3.3.	Manuales de fabricantes	31
7.3.3.1.	Indicaciones de operación.....	32
7.3.3.2.	Indicaciones de mantenimiento...	39
7.3.3.3.	Herramientas recomendadas para el mantenimiento.....	46
7.3.	Norma NFPA 70.....	51
7.3.1.	Seguridad eléctrica.....	52
8.	PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS	55
9.	METODOLOGÍA	57
9.1.	Diseño de investigación	57
9.2.	Tipo de estudio.....	57
9.3.	Alcance de investigación.....	57
9.4.	Variables e indicadores	57
9.5.	Fases de investigación.....	58
9.6.	Muestreo	59
9.7.	Resultados esperados.....	59
	TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE INFORMACIÓN	61
	CRONOGRAMA	63
	FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO Y RECURSOS NECESARIOS	65
	REFERENCIAS	67
	APÉNDICES.....	71

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Esquema de solución.....	14
2.	Diagrama de bloques de variador de frecuencia.....	23
3.	Inversor de 6 etapas.....	26
4.	Inversor de modulación de ancho de pulsos.....	26
5.	Gráfica de la relación entre la potencia y el par.....	28
6.	Apariencia de los VDF.....	33
7.	Conexión del VDF no conmutado.....	37
8.	Conexión del VDF conmutado.....	37
9.	Descripción de las partes de la conexión del VDF.....	38
10.	Conexión del motor y rangos de voltaje.....	38
11.	Indicaciones para restauración de condensadores.....	40
12.	Mantenimiento preventivo y comprobaciones parte 1.....	42
13.	Mantenimiento preventivo y comprobaciones parte 2.....	43
14.	Mantenimiento preventivo y comprobaciones parte 3.....	44
15.	Códigos de mensajes de alarma.....	45
16.	Herramientas.....	47
17.	Tablero eléctrico.....	49
18.	Cronograma.....	63

TABLAS

I.	Tipos de rectificadores.....	24
II.	Insumos para mantenimiento eléctrico y electrónico.....	50
III.	Variables e indicadores.....	58
IV.	Presupuesto de la investigación.....	66

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
A	Amperio
hp	Caballos de fuerza
~	Entre (rango)
FP	Factor de potencia
°	Grados
°C	Grados centígrados
Hz	Hertz
h	Hora
kA	Kilo amperio
m	Metro
m.s.n.m	Metros sobre el nivel del mar
%	Porcentaje
rpm	Revoluciones por minuto
s	Segundos
V	Voltaje o voltios

GLOSARIO

Capacitores	Dispositivos electrónicos capaces de almacenar energía en forma de campo eléctrico, también conocidos como condensadores.
C.A.	Corriente Alterna
C.C.	Corriente Continua
Centrífuga	Que tiende a alejar del eje alrededor del cual gira
Chopper	Interruptor de tipo troceador, se usa para interrumpir una señal bajo control de otra
Condensadores	Dispositivos electrónicos capaces de almacenar energía en forma de campo eléctrico, también conocidos como capacitores.
Duty cycle	Ciclo de trabajo. Relación entre el tiempo en alto y tiempo en bajo de una señal.
ELCB	<i>Electric Leakage Circuit Breaker</i> , disyuntor eléctrico de fugas
EMI	<i>Electromagnetic interference</i> , interferencia electromagnética
E/S	Entradas y salidas

GTO	<i>Gate Turn-Off thyristor</i> , tiristor de puerta apagada
IGBT	<i>Insulated-gate bipolar transistor</i> , transistor bipolar de puerta aislada
MP	Mantenimiento Preventivo
MTBF	<i>Mean Time Between Failure</i>
MTTR	<i>Mean Time To Repair</i>
NFPA	<i>National Fire Protection Association</i> , es una organización dedicada a eliminar muertes, lesiones, y pérdidas económicas debido a incendios, riesgos eléctricos y relacionados.
Overshoot	Picos de tensión que se originan por una velocidad de conmutación alta en los semiconductores.
Potenciómetro	Resistencia que varía su valor a medida que se mueve la perilla que tiene incorporada
PWM	<i>Pulse Width Modulation</i> , modulación por ancho de pulso
SCADA	<i>Supervisory Control and Data Acquisition</i> , control supervisado y adquisición de datos
SCR	<i>Silicon-Controlled Rectifier</i> , rectificador controlado
VDF	Variador De Frecuencia

1. INTRODUCCIÓN

La investigación presentará un plan de mantenimiento preventivo de tableros eléctricos para arranque de motores eléctricos con variador de frecuencia. Esta solución de automatización es uno de los productos principales que ofrece una empresa de automatización a entidades de diversa índole. Muchas de estas entidades no cuentan con grupos de trabajo que realicen una rutina de mantenimiento para sus equipos, por lo que los tableros trabajan en muchas ocasiones por tiempos prolongados sin recibir ningún mantenimiento. La realización de este plan de mantenimiento puede aportar a que los equipos alarguen su vida útil, además de que tengan un mejor desempeño.

El resultado de esta investigación pretende ser un plan de mantenimiento preventivo que dé las pautas para la realización de las acciones que contribuyan a que los equipos se mantengan en óptimas condiciones de operación. Además de dar las recomendaciones de operación, instalación y condiciones ideales del medio circundante. Se pretende que con los resultados de esta investigación los beneficios sean: la aportación de un plan de mantenimiento para las entidades que tengan entre sus equipos, tableros eléctricos y variadores de frecuencia, dar una guía de las acciones de mantenimiento para que los técnicos implementen el plan mantenimiento en estos equipos.

En el desarrollo de la investigación se iniciará con una fase documental donde se establecerán las bases para las recomendaciones del plan de mantenimiento. Además, se realizará una investigación de campo para conocer las condiciones actuales de instalación, montaje y operación de los tableros eléctricos y los variadores de frecuencia.

En el capítulo I de la investigación se desarrolló el marco teórico en el que se presenta la información de diversas fuentes bibliográficas. En el marco teórico se abordó una introducción a conceptos de mantenimiento preventivo, variadores de frecuencia, manuales de fabricantes, tableros eléctricos, herramientas necesarias para el mantenimiento eléctrico y electrónico, además de conceptos de seguridad industrial, tanto de las personas como de los activos.

En el capítulo II se hará el desarrollo de la investigación.

En el capítulo III se hará la presentación de resultados.

En el capítulo IV se hará la discusión de resultados.

2. ANTECEDENTES

A la fecha de investigación existen trabajos de investigación que se basan en mantenimiento preventivo, además referentes a los variadores de frecuencia, los cuales ayudarán como soporte para la presente investigación. A continuación, se mencionan algunos que aportan información importante:

González (2019) presentó una investigación donde determina cómo la implementación de VDF en el uso de motores de inducción en la industria azucarera representa un ahorro energético y por ende monetario. Para determinar el consumo, realizó pruebas en motores eléctricos con VDF y pruebas en motores sin VDF, y comparó los resultados obtenidos. Luego de haber realizado la investigación, los resultados mostraron que utilizando esta tecnología se puede disminuir el consumo de energía eléctrica, aumentar la eficiencia de los equipos y disminuir el impacto ambiental. El aporte metodológico de la investigación será el uso de su ruta de investigación para determinar los beneficios y la importancia de los VDF en el uso de motores eléctricos.

Aldana (2019) presentó una investigación donde establece una propuesta para la gestión del mantenimiento preventivo (MP) para aumentar la disponibilidad de la maquinaria de transporte de la industria minera. Luego de realizar dicha investigación se identificó que la implementación de la gestión de un mantenimiento preventivo beneficia significativamente la disponibilidad, reduciendo, mayormente, el número promedio de fallas. Utilizando para cuantificar la disponibilidad las siguientes herramientas: MTTR y MTBF. Además, se midieron la cantidad de fallas de los equipos. El aporte metodológico es el uso de estas mediciones y herramientas que deben ser de

beneficio para reportar resultados con los que se puedan obtener tendencias de mejora en la disponibilidad de equipos.

Mancco (2019) presentó una investigación donde se plantea un plan de MP para equipos y máquinas del Laboratorio de Materiales de la Facultad de Ingeniería Mecánica y de Energía de la Universidad Nacional del Callao. Para esto, se recabó información del estado de las máquinas y equipos al momento de realizar la investigación, para poder prolongar la operatividad de estos. Después de realizar la investigación se determinaron las matrices de limpieza, inspección y mantenimiento. El aporte metodológico es la utilización de estas matrices que pueden hacer un aporte para la formación del plan de mantenimiento, de modo que esté basado en la criticidad de los equipos y máquinas.

Ruano (2011) presentó una investigación donde diseñó un procedimiento de mantenimiento preventivo rentable, competente y confiable para una planta de mecanizado. Al momento de realizar la investigación se realizó para sustituir el uso del mantenimiento correctivo como única técnica de mantenimiento. Esto lo realizó a través del diseño de un método de recolección y administración de datos, programación de la vida de los activos productivos, capacitación al personal de tareas de mantenimiento, creación de base de datos de todas las acciones de mantenimiento para una mejor toma de decisiones, y el diseño de un sistema para la determinación de acciones de mantenimiento para cada área particular de la compañía. Dentro de las áreas del procedimiento de mantenimiento preventivo se tomaron en cuenta los elementos eléctricos y electrónicos de la maquinaria e instalaciones. El aporte metodológico es el criterio e indicadores de la gestión del mantenimiento en los sistemas eléctricos y electrónicos como fiabilidad, tasa de fallos, tiempo medio entre fallos, mantenibilidad y redundancia del sistema.

Wikström, Lucien y Heinz (2000) presentaron una investigación donde establecen los factores que benefician la confiabilidad de un sistema con variadores de frecuencia (VDF), a través de un análisis de los factores más comunes que los afectan. Tales como, cuidados inadecuados en la aplicación de los VDF, especialmente interferencias mecánicas (vibraciones) e interferencias eléctricas en el suministro eléctrico (armónicos), y especificaciones técnicas requeridas del equipo, que no son adecuadas para el caso de aplicación. Luego de realizar la investigación se verificó que las principales herramientas que se utilizan para mejorar la confiabilidad de los VDF son: disponibilidad del equipo, tiempo medio entre fallas (MTFB por sus siglas en inglés) y tiempo medio de reparación (MTTR por sus siglas en inglés). El aporte metodológico de la investigación es la utilización de estas herramientas para generar resultados que ayuden medir la mejora la mantenibilidad, operabilidad y disponibilidad de los variadores de frecuencia.

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

3.1. Descripción y delimitación del problema

Una de las principales soluciones de automatización que vende una empresa de automatización, es un tablero de arranque de motores eléctricos con variador de frecuencia. Dicho tablero cuenta con alimentación monofásica o trifásica, un interruptor termomagnético para la protección contra sobre corrientes, protector de fase que protege ante una inversión o ausencia de fase. También cuenta con un contactor para controlar la activación o desactivación del circuito. Asimismo, cuenta con un inversor de giro y, por último, con el variador de frecuencia. Estos equipos pueden llegar a dañarse antes de la vida útil establecida por el fabricante de cada componente del circuito, por diversas razones de operación y mantenimiento. Entre estas razones están, instalación en un ambiente en el que esté expuesto a calor excesivo, falta de ventilación, vibraciones, polvo o agua, en los cuales los componentes del circuito se pueden dañar parcial o definitivamente. Estas condiciones de operación afectan al usuario final de la solución de automatización, ya que los equipos presentan un tiempo de vida más corto de lo esperado.

El problema de investigación será abordado tomando en cuenta los componentes eléctricos de operación, centrándose en el variador de frecuencia. Las posibles causas de una falla temprana en este son: no se entrega un manual de operaciones y mantenimiento preventivo para los variadores de frecuencia. La mayoría de los clientes finales no tienen un departamento de mantenimiento. Los equipos se instalan en lugares inadecuados y están expuestos a polvo y salpicaduras. No se tienen recomendaciones definidas de protección de los equipos para los escenarios

más comunes. No se tienen recomendaciones definidas de períodos de inspección de los equipos. No se cambian los filtros de aire del gabinete metálico. Estas causas generan los siguientes efectos en el equipo: los variadores de frecuencia fallan debido a un mal uso y a falta de mantenimiento preventivo. La vida útil de los equipos termina sin recibir mucho o ningún mantenimiento preventivo. Los equipos se dañan a corto plazo por vibraciones mecánicas, humedad, polvo, entre otros. En cada diferente escenario se dañan los equipos por diferentes factores ambientales o de operación. Los equipos fallan en diferentes momentos, dependiendo de las condiciones ambientales y de operación en las que estén instalados. Se acumula polvo en los filtros, lo que produce aumento de temperatura en el gabinete y posteriormente en los componentes.

3.2. Pregunta central de investigación

¿Qué plan de mantenimiento preventivo se puede diseñar para una adecuada operación y prevención de fallas en tableros de arranque de motores eléctricos con variador de frecuencia?

3.3. Preguntas orientadoras

- ¿Cuáles son las recomendaciones de operación y rutina de mantenimiento de los tableros eléctricos y variadores de frecuencia a la fecha de investigación?
- ¿Cuáles son las recomendaciones de mantenimiento preventivo y operación para los tableros eléctricos y variadores de frecuencia?
- ¿Qué estrategias se pueden diseñar para mantener en condiciones adecuadas de operación los tableros de arranque de motores eléctricos con variador de frecuencia?

4. JUSTIFICACIÓN

El mantenimiento de tableros eléctricos y variadores de frecuencia puede tener diferentes alcances, desde un mantenimiento básico en el que se haga una limpieza superficial e inspección visual y, por otra parte, se puede dar un mantenimiento de mayor alcance al abrir el VDF hacer un mantenimiento de las partes electrónicas, hasta el reemplazo de componentes electrónicos. Este tipo de mantenimiento puede beneficiar en gran medida a que la vida útil del equipo se prolongue. Sin embargo, este requiere cierto nivel de conocimiento y mano de obra especializada. El presente trabajo está enfocado en aquellas entidades, municipalidades, pequeñas y medianas empresas las cuales no cuentan con un departamento de mantenimiento y por ende con personal con cualidades y conocimiento técnico avanzado.

A su vez, una de las líneas de investigación de interés en la Escuela de Estudios de Postgrado es administración del mantenimiento, perteneciente al área administrativa, en la cual se enfoca el presente trabajo de investigación. Entre los aportes esperados se tienen: procedimiento para el montaje de tableros para arranque de motores eléctricos con variador de frecuencia; lista de recomendaciones para la futura operación de tableros eléctricos y variadores de frecuencia tras el montaje; calendarización, equipos de protección y procedimientos seguros para el personal que se encargue de las tareas de mantenimiento durante la vida útil de tableros eléctricos y variadores de frecuencia.

En el plan de mantenimiento, un apartado es de tipo rutinario; dichas tareas son incluidas entre los aportes de la investigación. Todos los procedimientos se plantearán delimitando los alcances de seguridad

ocupacional y las inspecciones necesarias para establecer que los equipos a utilizar estén en condiciones adecuadas.

Los beneficiarios de la investigación son las empresas de fabricación y adquisición de tableros eléctricos y variadores de frecuencia, la disponibilidad de los equipos tras el montaje, técnicos que se dedican al mantenimiento de tableros eléctricos y variadores de frecuencia en distintas industrias. El mantenimiento, en tableros eléctricos y variadores de frecuencia muestra en la práctica distintas deficiencias. Dado a que el caso de aplicación y el sector al que está dirigido el producto final de esta investigación, es en usuarios que no cuentan con personal especializado y tampoco tienen acceso a los manuales de los fabricantes de los variadores de frecuencia, en la mayoría de los casos. Esto obstaculiza el poder realizar un correcto mantenimiento. Por lo tanto, se realizará de manera general en la medida de lo posible, para que pueda ser empleado en diferentes escenarios y con distintas marcas de variadores de frecuencia.

5. OBJETIVOS

5.1. General

Diseñar un plan de mantenimiento preventivo para tableros de arranque de motores eléctricos con variador de frecuencia para una empresa de automatización ubicada en zona 8 de Mixco.

5.2. Específicos

- Determinar recomendaciones de operación y rutina de mantenimiento de los tableros eléctricos y variadores de frecuencia que se hacen a la fecha de investigación.
- Establecer las recomendaciones adecuadas de operación y mantenimiento de los tableros eléctricos y variadores de frecuencia.
- Determinar la estrategia para mantener los tableros de arranque de motores eléctricos con variador de frecuencia en condiciones adecuadas de operación.

6. NECESIDADES A CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN

De acuerdo con el contexto en el que se realiza la investigación, se pueden destacar algunas de las necesidades que surgen del mismo, como la ausencia de una guía para realizar el mantenimiento eléctrico y electrónico de tableros eléctricos para arranque de motores usando VDF, para personal con conocimiento empírico. También se presenta el caso en que hay personal sin cualidades técnicas ni conocimiento teórico de conceptos básicos, los cuales son importantes para la correcta ejecución de los mantenimientos antes mencionados.

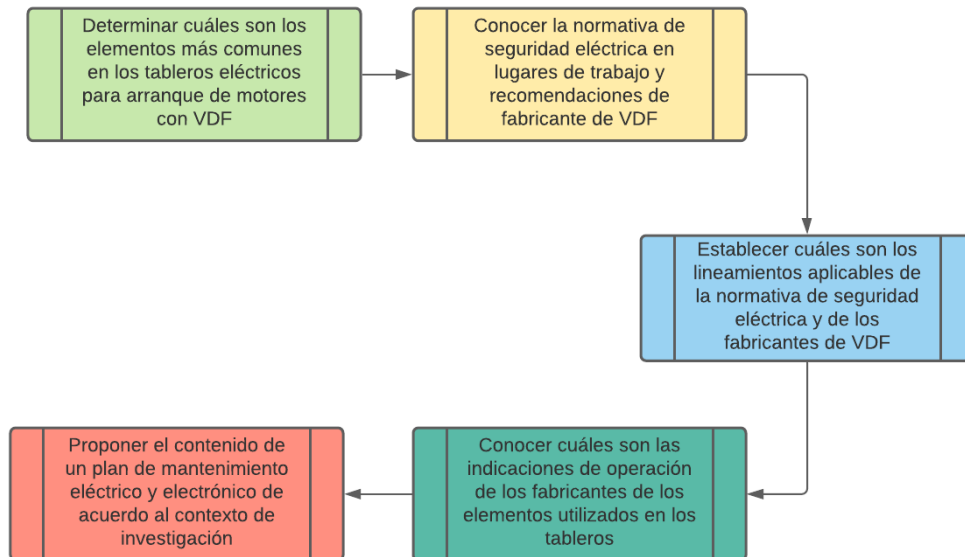
Se debe tomar en consideración al realizar dicha guía que muchos de los manuales de los fabricantes en donde hay indicaciones generales, se presentan con un lenguaje técnico y profesional. Asimismo, no todos los manuales se encuentran en idioma español.

Otro aspecto por considerar es la falta de personal especializado en muchos escenarios donde se utilizan los equipos de interés, tales como municipalidades, pequeñas y medianas empresas, entre otros. Además de algunas situaciones en donde no hay un departamento de mantenimiento conformado para realizar dichas actividades.

A causa de lo planteado anteriormente, se propone realizar una guía que contenga indicaciones de condiciones de operación, mantenimiento y seguridad tanto para los usuarios que realicen el mantenimiento, como para los equipos.

El esquema de solución para cubrir las necesidades planteadas con anterioridad se ilustra a continuación:

Figura 1. Esquema de solución



Fuente: elaboración propia, realizado con lucidchart.

Entre las condiciones de operación se incluirán lineamientos para el arranque y la parada del sistema. También se indicarán las condiciones adecuadas del medio circundante para una correcta operación y la prolongación de la vida útil de los elementos del sistema. Esto se recomendará con base en las indicaciones de los fabricantes de los diversos componentes del sistema.

En cuanto a las indicaciones de mantenimiento, se realizará un listado de los pasos que se deben seguir, con un lenguaje que no requiera conocer demasiados conocimientos eléctricos o electrónicos para llevarlos a cabo. Además, se incluirá en la medida de lo posible imágenes que ayuden a una correcta ejecución del mantenimiento. Asimismo, se establecerán períodos para la realización del mantenimiento, de acuerdo con criterios de tiempo de operación y condiciones del medio circundante, entre otros.

Para generar la solución a las necesidades antes mencionadas se comenzará determinando cuáles son los elementos más comunes en los tableros eléctricos para arranque de motores con VDF. Esto debido a que la empresa que hace estas soluciones de automatización tiene algunas variantes en los elementos de los tableros de acuerdo con los requerimientos del cliente.

Para poder dar indicaciones adecuadas de mantenimiento eléctrico y electrónico es recomendable guiarse de una normativa, lo cual se pretende hacer, en el caso del mantenimiento eléctrico, a través de la normativa NFPA 70-2018 “Seguridad eléctrica en lugares de trabajo” en su versión en español. Y en el caso del mantenimiento electrónico, se hará un compendio de recomendaciones que se dan en los manuales de los fabricantes de VDF.

Se realizará una propuesta del contenido del plan de mantenimiento eléctrico y electrónico para los tableros eléctricos para arranque de motores con VDF. En el plan se incluirán las herramientas recomendadas para poder realizar un correcto mantenimiento. También se darán recomendaciones de seguridad tanto para el personal que ejecute el mantenimiento, así como para proteger los equipos en cuestión. Y, por último, se darán recomendaciones de operación en diversas etapas del funcionamiento del sistema. Todo esto tomando en consideración el lenguaje que se utilizará y hacer las recomendaciones lo más explícitas posibles.

7. MARCO TEÓRICO

7.1. Mantenimiento

Para que una compañía tenga un correcto desempeño, éstas implementan tácticas y políticas que los lleven a alcanzar los objetivos que fueron planteados al crearla, de manera que se caractericen por su productividad; tal es la situación de las estrategias de mantenimiento de las instalaciones y maquinarias industriales, buscando la mayor eficiencia posible del proceso. Mantenimiento es el grupo de acciones realizadas en una compañía con el fin de mantener las instalaciones y maquinaria en estado óptimo, manteniendo su funcionamiento en condiciones de confiabilidad y respetando la salud, seguridad ocupacional y cuidado ambiental, adoptadas a partir de los estándares y expectativas organizacionales. Asimismo, haciendo un uso eficiente de los recursos y logrando prolongar la vida útil de la maquinaria e instalaciones (Rodríguez, 2006).

La economía y el mercado actual son muy competitivos y la capacidad productiva de las empresas tiene que ser sumamente alta. Los tiempos de disponibilidad de la maquinaria son muy exigentes ya que en muchas ocasiones se trabaja continuamente por largos períodos de tiempo. Es por esto por lo que surgió el mantenimiento como una manera de tener los equipos disponibles o de reparar los problemas que se fueran presentando conforme los equipos trabajan. La implementación del mantenimiento en una empresa se ve reflejado en los costos de producción, calidad del servicio o el producto final, la capacidad operativa, seguridad e higiene, entre otros (Ruano, 2011).

Existen distintos tipos de mantenimiento que tienen sus fortalezas y debilidades. No existe un solo tipo de mantenimiento que sea específicamente

para una industria. Incluso, en la mayor parte de las industrias que tienen bien estudiadas sus variables e indicadores, aplican diferentes tipos de mantenimiento dependiendo de la estrategia que planteen de acuerdo con cada elemento del sistema.

7.1.1. Mantenimiento preventivo

El MP tiene como definición: el conjunto de las diferentes acciones que se llevan a cabo durante un tiempo determinado para desacelerar el desgaste de un equipo o maquinaria con el objetivo de prolongar su vida útil. Siendo lo principal, la prolongación de la vida útil. Este tipo de mantenimiento se debe considerar en las partes, máquinas y sistemas que involucran operaciones clave en un proceso determinado. Las intervenciones y acciones de mantenimiento se tienen que llevar a cabo en períodos de tiempo adecuados, de acuerdo con las recomendaciones que brinde el fabricante, o bien, de la experiencia en la operación. La eficiencia y efectividad del mantenimiento preventivo tienen que ser evaluadas regularmente, esto con el fin de tener un proceso que se pueda modificar continuamente, buscando siempre mejorar (Aldana, 2019).

La gestión del MP es en la que se determina un procedimiento que facilita ocuparse principalmente en encontrar fallas y prevenirlas, de forma efectiva. Es importante prevenir las fallas, pero también lo es, estar preparado para poder atacar la falla de manera adecuada. Este tipo de mantenimiento, así como su gestión, se generó a partir de la premisa de prevenir o disminuir las fallas y los efectos que estas causan. Además, se debe considerar que el personal de mantenimiento dedica una gran porción de su tiempo laboral en la resolución de desperfectos en la maquinaria que no haya sido sometida a trabajos de mantenimiento preventivo previamente o no se realiza con regularidad. Para que el personal de mantenimiento sea más eficiente, se tiene que considerar reducir este tipo de actividades que no aportan y no son prioritarias. Debido a que todos los elementos de sistema están expuestos a

una falla espontánea que puede derivar en el paro del sistema completo, es importante realizar el mantenimiento preventivo para mantener una alta disponibilidad de los equipos (Aldana, 2019).

Hay diversas razones por las que surge la necesidad de implementar la gestión de un MP, entre las más importantes se encuentran:

- Prolongar la duración de la vida del equipo
- Aumento del tiempo disponible
- Definir períodos para realizar los mantenimientos
- Que los mantenimientos no interfieran con la producción
- Evitar las fallas súbitas

7.2. Tableros eléctricos

Los tableros eléctricos son gabinetes donde se encuentran todos los elementos de control, distribución, protección, conexión, medición, señalización y operación. Todos estos elementos posibilitan que funcione de manera correcta una instalación eléctrica. En las instalaciones eléctricas, los tableros eléctricos son los elementos fundamentales, ya que en ellos se colocan todos los dispositivos del circuito. También se colocan dentro de los tableros eléctricos, los elementos de seguridad (Sánchez, 2018).

Los tableros eléctricos se pueden clasificar en:

- Tableros primarios de distribución: están conectados con los cables de alimentación principal y de éste se bifurcan conexiones secundarias. Además, incluye una palanca primaria.
- Tableros secundarios: la conexión de estos tableros deriva directamente del tablero primario. Proveen una función secundaria para proteger y operar la subalimentación.

- Tableros de paso: su propósito es proteger las derivaciones que por la magnitud no es posible que se conecten a el cableado primario ni al secundario. Estos incluyen protecciones, normalmente fusibles.
- Gabinetes especial de medición: en él deriva la conexión de la alimentación primaria y contiene un aparato para medir el consumo del circuito primario.
- Tableros de comando: contiene elementos de control y seguridad.

Los tableros eléctricos pueden tener diferentes dimensiones y en su mayoría son de forma cuadrada o rectangular. El propósito del tablero es fundamental al considerar el tamaño, la forma y las protecciones que tendrá. Los tableros eléctricos se encuentran en casi cualquier instalación actual, ya que no se pueden tener los dispositivos eléctricos expuestos hacia las personas. Se pueden encontrar tableros en casas, establecimientos educativos, oficinas, centros de operaciones, fábricas, centros de generación de energía eléctrica, centros de distribución de energía eléctrica, hospitales, entre otros.

7.3. Variadores de frecuencia

Son dispositivos compuestos de elementos electrónicos que su principal función es, como lo dice su nombre, variar la frecuencia de su salida, respecto a la entrada. Esto permite controlar motores eléctricos. Existen inversores de C.A. (corriente alterna) y de C.C. (corriente continua); los más comunes son los de C.A. y se utilizan en motores trifásicos de inducción tipo jaula de ardilla, lo cual significa que tienen su rotor sin embobinado (Sanabria & Sánchez, 2016). También son conocidos como variadores de velocidad.

El uso de los VDF es muy útil en diversas industrias que emplean motores eléctricos para sus procesos. Entre los beneficios que se puede obtener utilizándolos se pueden destacar los siguientes:

- Ayuda a hacer procesos más precisos
- Se obtienen ahorros en el consumo de la energía eléctrica
- Controlar el cambio de giro de un motor
- Se alarga la vida útil de los motores eléctricos y los demás elementos involucrados en el circuito eléctrico
- Protege a los motores contra: sobrecargas, bajo voltaje, sobre voltajes, entre otros.
- No se somete al motor a un arranque brusco, sino que se puede configurar el variador para que tenga un arranque suave, es decir, que controla la corriente y el voltaje en el arranque de manera óptima para que funcione en forma de una rampa ascendente.
- Realizar paradas suaves en los motores

Los VDF protegen de altas temperaturas al motor conectado como a sí mismo.

Esta protección la realiza midiendo la corriente que está consumiendo el motor y la rapidez con que está girando el motor, hace una relación entre estos dos parámetros, el procesador del VDF realiza el cálculo del incremento térmico. Luego da una alarma de sobre calentamiento o bien, desconecta el equipo (Gómez, 2014). Asimismo, los VDF incluyen protección ante:

- Cortocircuito entre las fases y, entre la tierra y las fases.
- Caídas de voltaje y sobre voltajes.
- Fases desbalanceadas

En virtud de poder seleccionar el variador de frecuencia adecuado, se deben tomar en consideración algunos aspectos importantes (Caiza & Chávez, 2014), como los siguientes:

- Si es para mejorar un proceso existente o si es para uno nuevo

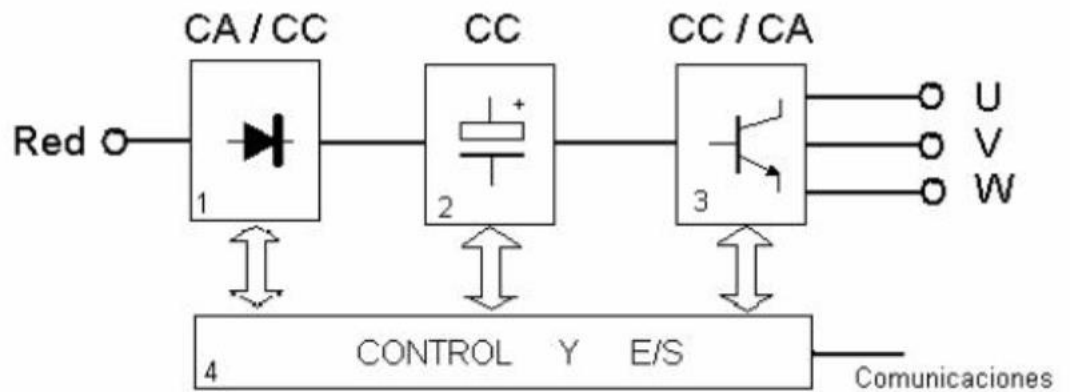
Es necesario analizar varios aspectos del sistema como el motor que controlará el VDF, la carga que controlará el motor, la velocidad de trabajo que se necesita, entre otros.

- Lo límites del cambio de rapidez
A una velocidad muy baja, menor del 50% de la nominal, se disminuye la refrigeración y, por lo tanto, es importante añadir refrigeración externa.
- La relación entre tiempo bajo y tiempo en alto de la señal (*duty cycle*)
Se tiene que tomar en cuenta el torque tanto de la carga como del motor.
- Las características del motor
Se tiene que evaluar previamente la potencia del motor, ya sea en kW o en caballos de fuerza (hp), además del voltaje (V), corriente (A), frecuencia (Hz) y velocidad nominal (rpm).
- Características del medio circundante
Se deben tomar en cuenta las condiciones ambientales del lugar donde se instalará el VDF. Condiciones como la temperatura, humedad, suciedad o altura (m.s.n.m).

7.3.1. Partes de un VDF

Los VDF, independientemente de la marca, se pueden analizar por etapas, las cuales se ilustran en el diagrama de bloques de la figura 2.

Figura 2. Diagrama de bloques de variador de frecuencia



Fuente: Sanabria & Sánchez (2016). *Sistema de control de velocidad de un motor trifásico mediante un variador de frecuencia y sistema scada.*

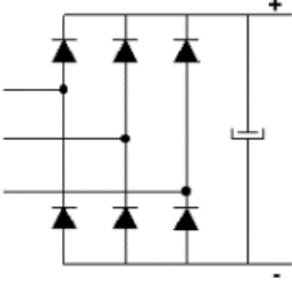
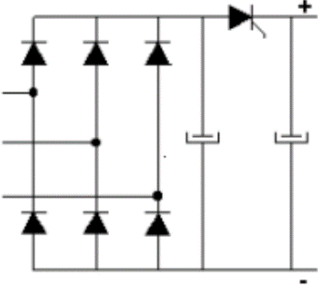
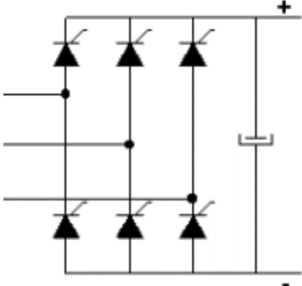
Siendo las etapas de la Figura 2:

- Rectificador
- Bus de corriente continua
- Inversor
- Control y entradas/salidas (E/S)

7.3.1.1. Rectificador

El rectificador cumple con la función de transformar la señal de entrada de CA a CC y de mantener el nivel de voltaje que entra a siguiente etapa. Existen diferentes tipos de rectificadores, los más comunes son los que se muestran en la tabla I:

Tabla I. Tipos de rectificadores

Diodos	DC Chopper	Tiristores
		
Control: No Voltaje CC: Constante Rizo CC: Bajo Inversor: PWM Armónicos: Alto Regeneración: No	Control: SCR y GTO Voltaje CC: Variable Rizo CC: Variable Inversor: 6 etapas Armónicos: Alto Regeneración: No	Control: SCR Voltaje CC: Variable Rizo CC: Variable Inversor: 6 etapas, PWM Armónicos: Alto Regeneración: Sí

Fuente: Piñero (2015). *Control de un motor de inducción usando un variador de frecuencia.*

La principal diferencia entre los rectificadores es el control, voltaje en corriente continua y el rizo en corriente continua. El rectificador con diodos no tiene la opción de poder controlar las fases, además, tiene un voltaje constante en los diodos. Por otro lado, el rizo es muy bajo ya que una vez se realiza la rectificación, la señal rectificada se mantiene constante.

En el caso de los rectificadores DC Chopper y con Tiristores sí se tiene control de la rectificación, por lo que se puede controlar cuándo se activa la rectificación. En el caso del Chopper, se puede controlar la rectificación completa, por lo que algunos autores lo denominan como semi controlado. Y en el caso del denominado tiristores, recibe su nombre por los elementos en cada fase (SCR) que son un tipo de tiristores. Esto permite controlar cada fase

por separado. Debido al funcionamiento explicado anteriormente, el voltaje y el rizo en corriente continua es variable para ambos tipos.

7.3.1.2. Bus de corriente continua

La etapa del bus de corriente continua cumple varias funciones. Luego de que la señal de entrada fue rectificadas esta tiene un rizo o bien, no está completamente lisa la señal de C.C. en su cresta, de manera que en esta etapa se colocan capacitores con una capacidad muy grande. Además de mantener estable la señal, estos capacitores almacenan energía para poder suplir la demanda del motor.

7.3.1.3. Inversor

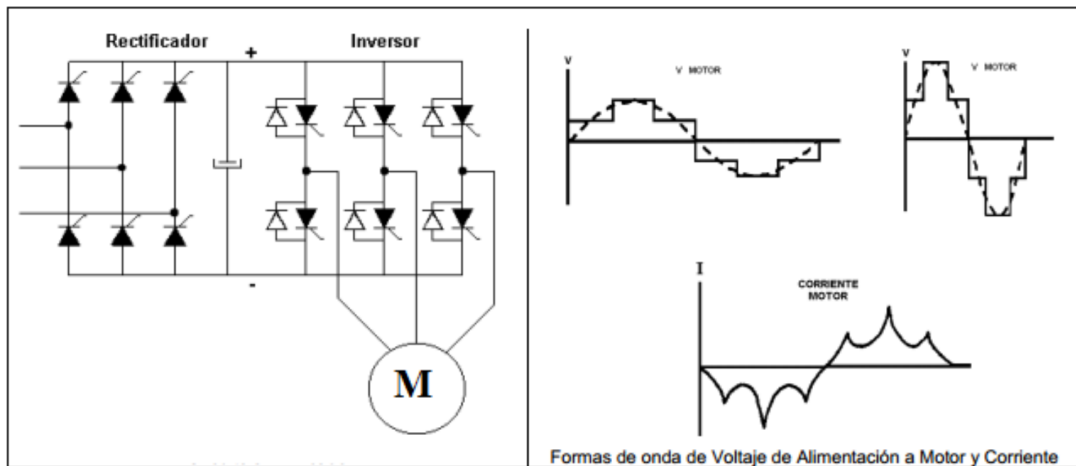
En esta etapa la señal de corriente continua es convertida nuevamente a corriente alterna, sin embargo, no es una corriente alterna pura, sino una construida a partir de la misma corriente continua. Es decir, sólo se le da la forma senoidal a partir de pulsos cuadrados (de corriente continua). Esto es posible controlando los dispositivos de salida, encendiéndolos y apagándolos en cada fase de tal manera que se forme una señal lo más parecida posible a una onda senoidal.

A continuación, se describirán los dos tipos de inversores más utilizados:

- Inversor de 6 etapas

Este tipo de inversor está compuesto por tiristores del tipo SCR, los cuales se activan en seis diferentes etapas, variando el tiempo de activación de cada SCR. De esta manera es como se obtiene una señal en forma senoidal a partir de pulsos cuadrados (Piñero, 2015).

Figura 3. Inversor de 6 etapas

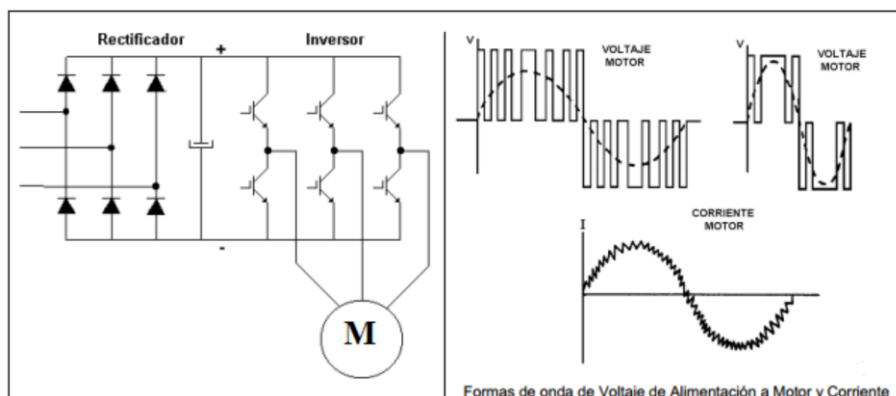


Fuente: Piñero (2015). *Control de un motor de inducción usando un variador de frecuencia.*

- Inversor de modulación de ancho de pulsos

Este tipo de inversor, como lo dice su nombre hace una modulación mediante la variación del ancho del pulso cuadrado. Está conformado por 6 transistores tipo IGBT, los cuales se activan y desactivan en un ciclo que es interpretado en la salida del inversor como una señal senoidal.

Figura 4. Inversor de modulación de ancho de pulsos



Fuente: Piñero (2015). *Control de un motor de inducción usando un variador de frecuencia.*

- Control y entradas/salidas

Para lograr modificar la velocidad de un motor mediante el VDF, se varía la cantidad de pulsos y se acopla el ancho para poder obtener un ciclo de tiempo determinado. La variación del tiempo del ciclo se verá reflejado en la velocidad, si se tiene un tiempo más prolongado, se bajará la velocidad; si se tiene un tiempo más corto la velocidad aumentará.

Para poder controlar los transistores IGBT de tal forma que se pueda generar la señal senoidal, es necesario un controlador que calcule el tiempo de apagado y encendido de cada transistor a partir de la velocidad deseada en la salida (Piñero, 2015).

7.3.2. Beneficios de un VDF y aspectos a considerar

Los variadores de frecuencia tienen múltiples beneficios en las actuales industrias, donde la complejidad de los procesos demanda una serie de requisitos que, sin un dispositivo de control para los motores eléctricos, es muy complicado suplir. Tal es el caso de la variación de velocidad (principal característica de este equipo), cambio de giro del motor, ajuste del torque del motor, y, por ende, ahorro energético, entre otros.

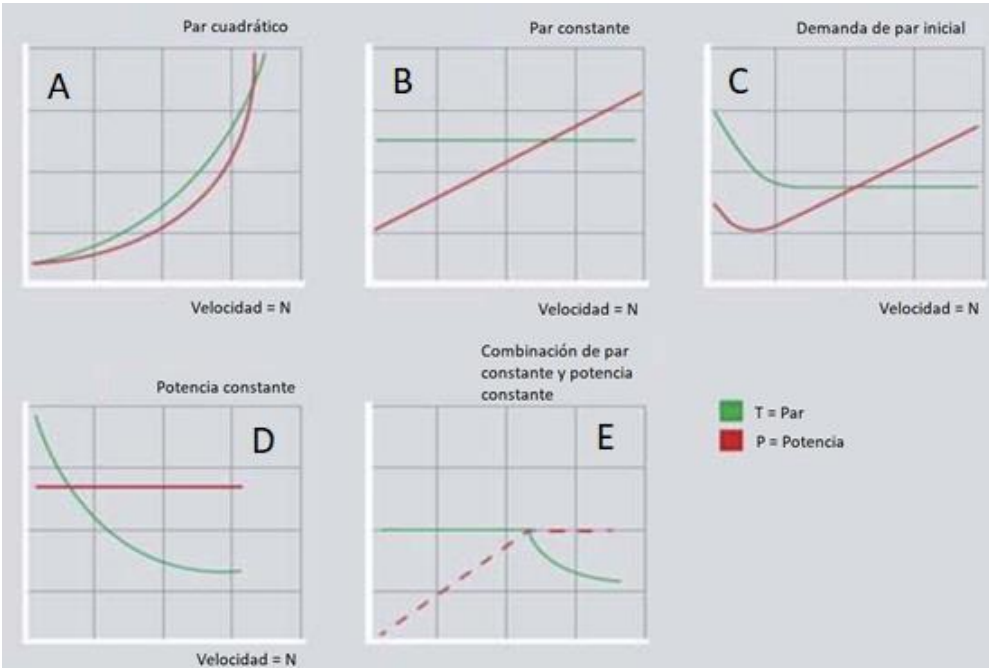
El cambio en el sentido de giro se logra haciendo una inversión en las fases de alimentación del motor, este cambio se realiza internamente del VDF mediante la conmutación de los transistores IGBT en la fase del inversor que tiene conexión directa con la salida hacia el motor.

El ahorro energético y el ajuste en el torque del motor están directamente relacionados. Los VDF generan un ahorro en el consumo energético modelando la señal de salida hacia el motor, acorde al proceso en

el que se esté empleando y la carga que se esté operando. La manera que usa el VDF para reducir la energía empleada es cambiando la frecuencia en las líneas de alimentación del motor, lo que causa la reducción en la rapidez del motor (Robles, 2017).

La cantidad de energía que se ahorre dependerá del uso que se le dé al VDF y la carga que esté controlando. Existen diferentes tipos de cargas que dependen de la naturaleza de funcionamiento del equipo. En la figura 5 se ejemplifican los tipos de carga, con el par y la potencia en relación con la rapidez del motor.

Figura 5. Gráfica de la relación entre la potencia y el par



Fuente: Robles (2017). *Modelación Simulación y Análisis del VDF SD 700 con frenado regenerativo.*

Donde:

- La gráfica “A” muestra el par con comportamiento cuadrático, que se puede encontrar mayormente en aplicaciones en los que se usen bombas centrífugas.
- En la gráfica “B”, este tipo de comportamiento se da cuando el proceso involucra condiciones constantes, sobre todo la carga a la que se somete el motor.
- El gráfico “C” se da cuando la rapidez inicial es muy baja y, por ende, el torque aplicado en el motor es muy elevado.
- La gráfica “D” se da cuando el consumo de potencia es continuo, este tipo de comportamiento se da en su mayoría en las aplicaciones donde se enrolla algún producto como tela, papel, alambre, entre otros.
- Por último, en la gráfica “E” se puede observar una mezcla entre un consumo de potencia continuo y un par constante, este comportamiento depende específicamente de la magnitud de la carga.

Los VDF también cuentan con la ventaja de aumentar la productividad y hacer más rentables los procesos, esto porque se aumenta la rapidez de éstos. Además, puede proteger el motor del impacto mecánico, ya que lo disminuye mediante un método en el que modifica la aceleración de las etapas de arranque y parada. También simplifican los procesos por la manera en la que se pueden controlar mediante las alarmas que genera el VDF cuando se presentan fallos y las opciones de control PID (Pivaral L. E., 2018).

Otro de los aspectos a considerar es cómo se relaciona el VDF, el motor y voltaje de alimentación. En un tiempo prolongado, el VDF puede llegar a tener efectos secundarios en el motor. Sino se consideran varios puntos, estos efectos secundarios pueden llegar a reducir la vida útil del motor (Pivaral L. E., 2018). Estos aspectos son:

Los armónicos, son inherentes a la corriente que fluye en el VDF y el motor. Estas se producen en su mayoría en la etapa rectificadora del variador, en el lado de alimentación de este. Por ejemplo, en un rectificador con seis diodos, que quiere decir que el rectificador tendrá 6 pulsos. Los armónicos de las ondas son múltiplos de la frecuencia primaria del sistema, estos disminuyen su amplitud mientras el múltiplo crece. Estas armónicas de la corriente tienen una alta probabilidad de causar un factor de potencia (FP) inadecuado, así como también crecen las pérdidas de la energía eléctrica porque los conductores, motores, y demás componentes inductivos aumentan su temperatura.

Una forma de poder disminuir o tratar de eliminar los armónicos y poder subir el FP es agregar una inductancia en la alimentación del VDF. Algunos variadores traen incluida esta inductancia de fábrica, pero los que no lo traen incorporado, se les puede añadir. Por otro lado, si el voltaje de alimentación del motor es por medio del VDF, este está expuesto a un voltaje PWM y consecuentemente, está expuesto a voltajes armónicos. Por supuesto, depende de varios aspectos como la modulación, ciclo de trabajo y otros aspectos relacionados al control.

Hay otros aspectos que pueden perjudicar al motor como temperatura alta, la eficiencia de la energía, las vibraciones, entre otros. Para poder eliminar este problema existen otras soluciones como la instalación de los filtros activos que pueden incluso ayudar a mejorar la calidad de la modulación. También se pueden usar en la etapa de rectificación transistores de tipo IGBT con el fin de controlar la potencia de la red eléctrica y aumentar el factor de potencia (Pivaral L. E., 2018).

Es importante considerar algunos aspectos que también pueden ser contraproducentes para el motor que se conecta al variador de frecuencia. Los aspectos inherentes del VDF que afectan al motor, son la modificación del voltaje, corriente y en general la señal senoidal que crea el VDF a través de

su etapa inversora. El aislante de la bobina del rotor del motor puede dañarse anticipadamente si no se respeta el límite de torque para el que está diseñado el mismo. Al sobrepasar el torque nominal la temperatura aumenta y esto daña el aislante del embobinado (Canales, 2019).

Otro aspecto que aumenta la temperatura del motor y como consecuencia causa daños en el aislante del embobinado es la frecuencia de conmutación de los semiconductores de potencia que se utilizan en la parte de rectificación e inversión del VDF (Pivaral L. E., 2018). Esta frecuencia alta causa pulsos que se denominan *overshoot*, este fenómeno depende principalmente de los siguientes aspectos:

- Tiempo en alto del pulso: período en que la señal de la modulación por ancho de pulso hace la transición del valor mínimo al valor máximo. Y esto depende de la frecuencia de conmutación de los transistores tipo IGBT (Pivaral L. E., 2018).
- Longitud del cable: la longitud puede afectar a los picos de tensión en las conexiones del motor. Se puede tomar en consideración que, si la longitud es menor que 100m, no se necesitan filtros, si está entre 100 y 300m, necesita una reactancia de salida y si es mayor a 300m, necesita filtros especializados para esto (Pivaral L. E., 2018).
- Período entre un pulso y otro: si el tiempo entre pulsos es muy pequeño, se reflejará en gran medida en el *overshoot*.
- Velocidad de conmutación: mientras más grande sea esta, será más probable que el aislamiento del motor sufra daños.

7.3.3. Manuales de fabricantes

Los productos, maquinaria o dispositivos que cuentan una serie de funcionalidades de complejidad considerable, en la mayoría de los casos incluyen manuales en donde se describe el producto, sus principales

funciones, características esenciales, aplicaciones, cuidados para proteger y prolongar la vida útil del mismo, además de proteger al usuario.

Los variadores de frecuencia no son la excepción, la mayoría incluyen el manual del fabricante, pero no todos los fabricantes hacen los manuales en todos los idiomas para todas sus líneas de VDF. Los VDF al tener una serie de funcionalidades muy amplia pueden llegar a tener una gran cantidad de instrucciones, en muchas ocasiones, con lenguaje técnico-profesional.

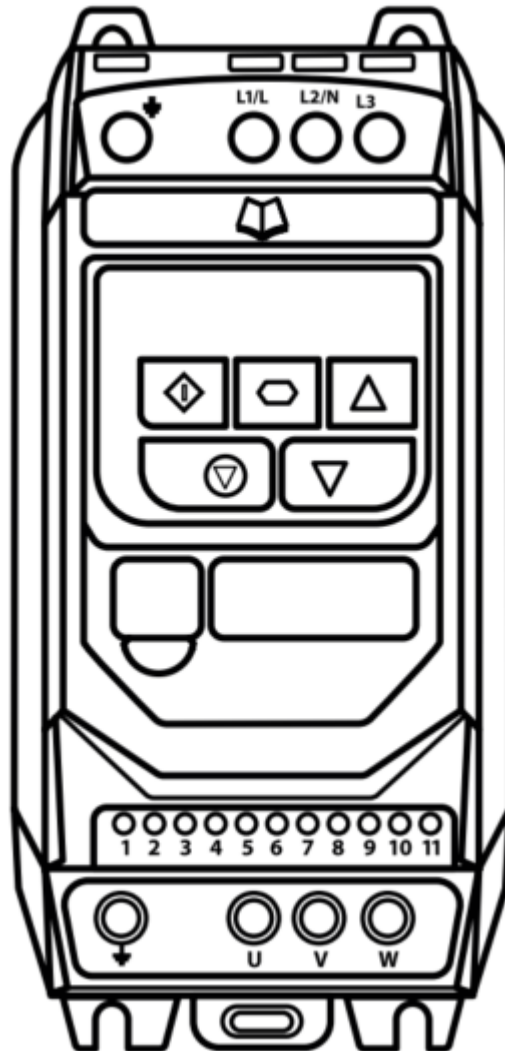
Cuando se quieren detectar fallas, encontrar la causa y la posterior solución, el mejor método es abocarse al manual original del VDF. En muchos de los casos, estos tienen una sección de las posibles fallas más comunes y un diagrama con los pasos que se deben tomar para arreglar el desperfecto. Los VDF también tienen una serie de alarmas que avisan al usuario sobre precauciones acerca del uso que se le está dando o bien, el aviso de una falla que ya se dio. Consultar el manual del fabricante puede llegar a facilitar mucho el mantenimiento correctivo de los VDF (Yalli, 2020).

7.3.3.1. Indicaciones de operación

Algunos fabricantes realizan manuales de operación individuales, donde sólo dan una pequeña introducción al producto y se centran en la operación adecuada del VDF. Otros fabricantes entregan manuales más completos donde se incluyen las indicaciones de operación, además de una amplia explicación del producto, cuidados del producto y precauciones para el usuario.

En la figura 6 se muestra la apariencia más común de los VDF.

Figura 6. Apariencia de los VDF



Fuente: Invertek (2016). *Optidrive E3, AC Variable Speed Drive IP20 & IP66 (NEMA 4X)*.

En la figura 6 se puede observar las partes más comunes que incluyen los VDF, dependiendo de la marca y el modelo del variador, las partes serán diferentes, ya sea botones análogos, pantalla LCD, *display* (mensajes que se forman por segmentos), pantallas táctiles, borneras de diferente tipo, entre otras variaciones. Entre las partes más comunes se pueden destacar:

- Terminales de alimentación (ya sea para monofásica o trifásica)
- Terminales de salida hacia el motor
- Terminal de conexión a tierra
- Terminales de señales de control, incluidas entradas y salidas (E/S)
- Botones de navegación (flechas con dirección arriba y abajo)
- Botón de selección (Ok)
- Potenciómetro con perilla para regular la velocidad manualmente
- Indicador de carga, indica que el alto voltaje aún está en el inversor
- Indicador “*RUN*”, marca cuando uno de los comandos de encendido está seleccionado, pero aún no está en marcha el motor. Y parpadea cuando el motor entra en marcha
- Indicador “*PROGAM*”, señala cuando el VDF está en etapa de programación, es decir que se le están asignando las pautas de operación deseadas
- Indicador de Hertz (Hz), marca cuando el valor numérico en pantalla está en unidades de Hz
- Indicador Porcentaje (%), señala cuando el valor numérico en pantalla está indicando un porcentaje (%)
- Botón de “*RUN*”, su función es que, al presionarlo, el motor se pone en marcha
- Botón “*STOP*”, al presionarlo, la operación se para lentamente

Una buena operación del VDF comienza desde una buena conexión, tener un cableado adecuado con protección a tierra, elegir un calibre correcto de los cables acorde a la carga que se controlará. Además, es importante usar los conectores en los cables que se acoplen al tipo de conectores del VDF, ya que de no usar el adecuado, esto puede causar un falso contacto y meter “ruido” al VDF, o, en otras palabras, distorsionar la señal o los elementos electrónicos.

De acuerdo con Invertek (2016) las terminales de conexión a tierra deben cumplir con los siguientes lineamientos y consideraciones:

- Cada terminal de tierra debe ser conectada individualmente directo al bus de tierra física.
- Las conexiones de tierra no deben mezclarse entre VDF o con cualquier otro dispositivo.
- La impedancia del sistema de tierra física debe cumplir con los lineamientos de seguridad industrial de la ley local.
- La integridad de las conexiones a tierra debe ser evaluada con regularidad.
- El calibre del cable de tierra debe ser al menos el mismo que el del cable de la línea de alimentación.
- La conexión de tierra del motor debe estar conectado a una de las terminales de tierra del VDF.

Debido a que en todos los VDF existe una corriente de fuga, los más actuales están diseñados para producir una corriente de fuga mínima. Sin embargo, la magnitud de la corriente de fuga se ve afectada por la longitud y el tipo del cable del motor, la frecuencia de conmutación, las conexiones a tierra utilizadas o el filtro de interferencia electromagnética (EMI, por sus siglas en inglés). Si se usa un circuito de corte de corriente de fuga (ELCB, por sus siglas en inglés), se tienen que cumplir las siguientes condiciones:

- Debe ser adecuado para proteger al equipo contra un componente de corriente de C.C. de fuga.
- Se debe de usar un dispositivo ELCB para cada variador de frecuencia por aparte.

Para la conexión de alimentación del VDF, según Invertek (2017), si es una alimentación monofásica, debe conectarse la línea de alimentación a la

terminal del VDF con el siguiente orden y denominación (Terminal del VDF/Conexión de la alimentación) (L1/L) y (L2/N). Por otro lado, si se desea utilizar con alimentación trifásica, debe conectarse a las terminales del VDF L1, L2 y L3, y el neutro de la alimentación, a la terminal N, el orden de las líneas no es importante en esta conexión. El calibre de los cables debe ser seleccionado de acuerdo con la ley local.

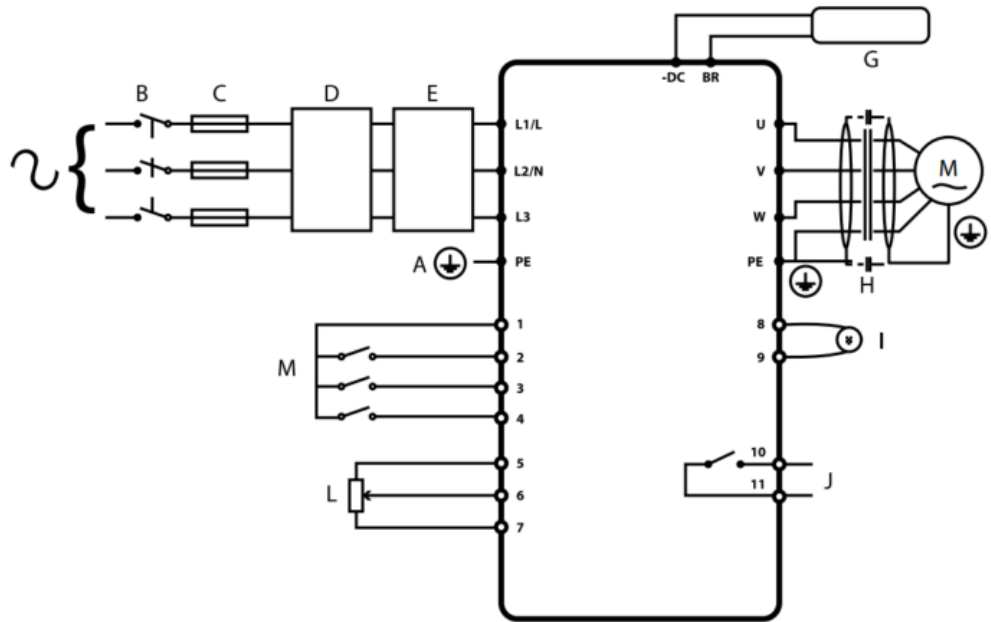
Acorde a este mismo manual, también es importante incluir fusible(s) en la(s) línea(s) de alimentación. Teniendo en cuenta que el tiempo de operación (o respuesta) debe ser menor a 0.5 s. La corriente máxima permitida para un circuito de corte de corriente en las terminales del VDF de este fabricante, está definida en la normativa IEC60439-1 como 100kA.

Respecto a la conexión del motor con el VDF, éste último tiene terminales de salida hacia el motor, en la mayoría de las ocasiones, con denominación U, V, W. La longitud permitida para los cables debe ser, para todos los modelos de VDF, no mayor a 100m los cables blindados, y no mayor a 150m los cables sin blindaje. Si se usan cables en paralelo para el mismo VDF, es imperativo utilizar una inductancia de salida, también conocida como *output choke*.

La mayor parte de los VDF están diseñados para ser utilizados con alimentación monofásica o trifásica. Esto se incluye regularmente en el nombre del motor. El voltaje de operación es seleccionado al momento de instalación o en los parámetros de diseño de circuito; eligiendo conexión en estrella o en delta. La conexión en estrella proporciona rangos de voltaje de operación más altos. La figura 10 muestra los rangos de voltaje acorde al tipo de conexión del motor.

El diagrama de conexión típico del VDF depende del tipo de variador, según la marca Invertek, se pueden clasificar, en conmutado y no conmutado, en la figura 7 se muestra el tipo de conexión no conmutado.

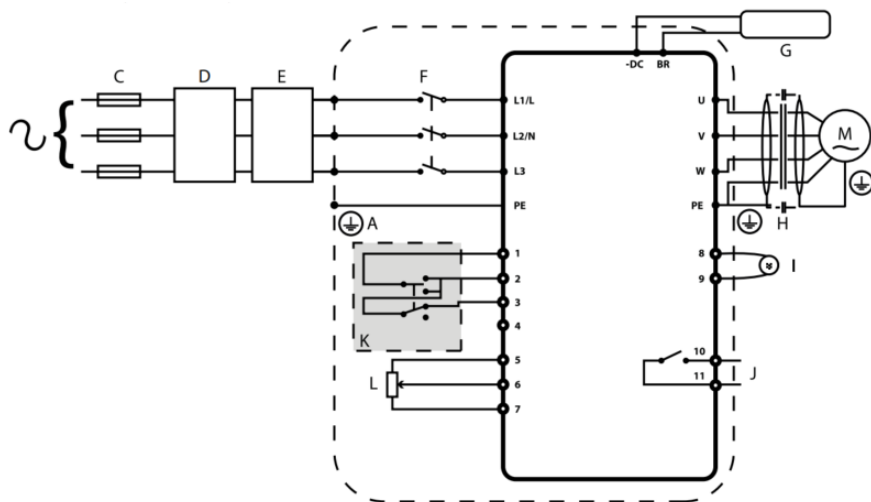
Figura 7. **Conexión del VDF no conmutado**



Fuente: Inverterk (2016). *Optidrive E3, AC Variable Speed Drive IP20 & IP66 (NEMA 4X)*.

En la figura 8 se muestra la conexión del VDF tipo conmutado.

Figura 8. **Conexión del VDF conmutado**



Fuente: Inverterk (2016). *Optidrive E3, AC Variable Speed Drive IP20 & IP66 (NEMA 4X)*.

Las literales de las figuras 7 y 8, significan lo que se muestra en la figura

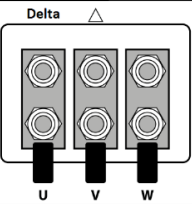
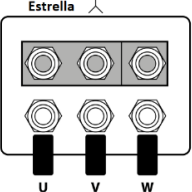
9:

Figura 9. Descripción de las partes de la conexión del VDF

	Descripción
A	Conexión de protección a tierra (PE)
B	Conexión de alimentación
C	Fusible
D	Acople opcional de entrada (Choke)
E	Filtro EMC opcional externo
F	Desconexión interna / aislador
G	Resistencia de freno opcional
H	Conexión del motor
I	Salida análoga
J	Relé de salida
K	Usando el selector REV/0/FWD (solo en la versión conmutada)
L	Entradas análogas
M	Entradas digitales

Fuente: Invertek (2016). *Optidrive E3, AC Variable Speed Drive IP20 & IP66 (NEMA 4X)*.

Figura 10. Conexión del motor y rangos de voltaje

Voltaje de alimentación	Voltaje en la placa del motor	Conexión	
230	230 / 400	Delta	
400	400 / 690		
400	230 / 400	Estrella	

Fuente: Invertek (2016). *Optidrive E3, AC Variable Speed Drive IP20 & IP66 (NEMA 4X)*.

Los VDF tienen incluidas terminales de señales, para poder tener un monitoreo o controlar otros dispositivos por medio de las señales generadas por el variador. El cableado para las terminales de control debe de ser adecuadamente blindado. Lo que se recomienda usar es cable de par trenzado. Sin embargo, el cableado de alimentación y de control deben estar separados en la medida de lo posible, no deben estar en paralelo uno con el otro.

7.3.3.2. Indicaciones de mantenimiento

La mejor manera de prolongar la vida útil de los aparatos eléctricos, electrónicos o de casi cualquier índole, es realizando un mantenimiento predictivo o preventivo. En el caso de los VDF no es la excepción, por lo que este se debe de realizar con regularidad, con períodos de tiempo que vayan acorde con las condiciones en las que esté trabajando el variador. Tales como las condiciones del medio circundante, el tiempo de operación, el uso que se le dé (si maneja cargas grandes y con torques grandes la mayor parte del tiempo), entre otros factores.

Respecto a los condensadores del bus de C.C., si el VDF ha estado almacenado por un período de tiempo mayor a un año, se tienen que restaurar los condensadores del bus de C.C. El tiempo que se toma en cuenta para el almacenamiento del equipo es desde que este fue fabricado y no desde que se adquiere. La fecha de fabricación se puede conocer yendo al número de serie que se encuentra impreso a un costado del equipo. Para poder restaurar los condensadores, se aplica voltaje al equipo a cierta proporción durante un período de tiempo, dependiendo del tiempo de almacenamiento del VDF (Invertek, 2018). En la figura 11 se muestran las indicaciones para restaurarlos.

Figura 11. **Indicaciones para restauración de condensadores**

Tiempo	Principio operacional
Tiempo de almacenamiento inferior a 1 año	Operación sin carga previa
Tiempo de almacenamiento de 1-2 años	Conectar la potencia (red de alimentación) 1 hora antes de darle la primera orden de marcha
Tiempo de almacenamiento 2-3 años	Dar tensión progresivamente al variador <ul style="list-style-type: none"> • Aplicar un 25% de la tensión nominal durante 30 minutos • Aplicar un 50% de la tensión nominal durante 30 minutos • Aplicar un 75% de la tensión nominal durante 30 minutos • Aplicar el 100% de la tensión nominal durante 30 minutos
Tiempo de almacenamiento de más de 3 años	Dar tensión progresivamente al variador <ul style="list-style-type: none"> • Aplicar un 25% de la tensión nominal durante 2 horas • Aplicar un 50% de la tensión nominal durante 2 horas • Aplicar un 75% de la tensión nominal durante 2 horas • Aplicar un 100% de la tensión nominal durante 2 horas

Fuente: Invertek (2018). *Manual de Instrucciones, variador de velocidad Goodrive 20.*

Según Invertek (2018), la correcta elección del voltaje de carga depende del voltaje de alimentación aplicado al VDF. Los VDF de entrada monofásica o trifásica de 230 voltios C.A. les es suficiente con un voltaje de 230 C.A. a 2 amperios (en los VDF de alimentación trifásica, es suficiente con aplicar este voltaje sólo en 2 de las 3 líneas de entrada). Todos los capacitores del bus de C.C. se cargan a la vez, ya que el rectificador es el mismo para todos. En los VDF con alimentación trifásica se necesita un voltaje de entrada de 400 V C.A. a 2 amperios. Además, se tiene que considerar el reemplazo de los capacitores electrolíticos si el tiempo de operación es mayor a 35,000h.

De acuerdo con General Electric (2017), se deben cumplir algunas condiciones generales para que el VDF tenga un desempeño óptimo, entre las cuales están:

- La temperatura del lugar de instalación debe ser no mayor a 50°C.

- Los ventiladores del VDF que se encargan de refrigerarlo, tienen que poder girar libres (sin obstáculos) y en un entorno que no acumulen polvo. En caso de que en el medio haya mucho polvo presente, se debe de colocar el VDF en un gabinete que aisle los equipos en la medida de lo posible del polvo.
- El gabinete donde se instale el VDF y los demás equipos del circuito, debe de tener una protección envolvente instalada, para que estos estén libres de polvo y humedad. Además, debe tener circulación de aire, por lo que se recomienda colocar ventiladores en el gabinete para crear una corriente de aire que esté circulando constantemente. Es importante que se añada a los ventiladores filtros para que el polvo del exterior no entre al interior del gabinete.
- Debe revisarse regularmente que haya una buena circulación de aire, que los filtros y ventiladores del gabinete no estén obstruidos por la acumulación de polvo.
- Es importante verificar las conexiones eléctricas con regularidad, cerciorándose que los tornillos de las borneras estén adecuadamente ajustados y que el cableado no presente averías debido a las altas temperaturas que se pueden dar en algunos períodos de la operación.

Para las acciones de mantenimiento preventivo y comprobaciones, según Invertek (2018), las acciones y comprobaciones que se deben tomar para mantener el VDF en un estado óptimo son las siguientes:

Figura 12. **Mantenimiento preventivo y comprobaciones parte 1**

Parte a comprobar	Comprobación del elemento	Método de comprobación	Criterio
Entorno ambiental	Compruebe la temperatura ambiente, humedad y vibración y asegúrese de que no haya polvo, gas, niebla de aceite o caída de agua.	Inspección visual e instrumentos de medida	Conforme a este manual
	Asegúrese de que no hayan herramientas u otros objetos extraños o peligrosos	Inspección visual	No hay herramientas u objetos peligrosos.
Tensión	Asegúrese de que el circuito principal y el circuito de control sean normales.	Medida mediante multímetro	Conforme a este manual
Consola	Asegúrese de que el display sea lo suficientemente claro	Inspección visual	Los caracteres se muestran con normalidad.
	Asegúrese de que los caracteres se muestren totalmente	Inspección visual	Conforme al manual

Fuente: Invertek (2018). *Manual de Instrucciones, variador de velocidad Goodrive 20.*

Los criterios para tomar en cuenta respecto a las partes de la figura 12 son los siguientes:

- Entorno ambiental: evitar las vibraciones en el transporte o instalación del equipo. La humedad tiene que ser menor al 90 %, sin condensación. La temperatura ambiente tiene que estar en un rango entre $-10^{\circ}\sim 50^{\circ}\text{C}$.
- Tensión: Monofásica 220V (-15 %) ~ 240V (+10 %). Trifásica 220V (-15 %) ~ 240V (+10 %). Trifásica 380V (-15 %) ~ 440V (+10 %).
- Los caracteres deben ser legibles, si es en display de 7 segmentos, deben de verse completas las letras/números para no confundir códigos o alarmas.

Figura 13. **Mantenimiento preventivo y comprobaciones parte 2**

Parte a comprobar		Comprobación del elemento	Método de comprobación	Criterio
Circuito de control	Placas electrónicas y terminales de control	Asegúrese de que no se hayan perdido tornillos o elementos de contacto de los terminales	Apretar	ND
		Asegúrese de que no hayan cambios en el olor o el color	Oler e inspección visual	ND
		Asegúrese de que no existen grietas, deformaciones u óxido.	Inspección visual	ND
		Asegúrese de que los condensadores no estén deformados ni derretidos.	Inspección visual o estime el tiempo de funcionamiento de acuerdo con la información de mantenimiento	ND
Sistema de refrigeración	Ventilador	Estime si existe ruido o vibración anormal	Escuchar e inspección visual, o rotar con la mano	Rotación estable
		Asegúrese de que no se han perdido tornillos	Apretar	ND
		Asegúrese de que no se haya producido cambio de color debido a la sobretemperatura	Inspección visual o estime el tiempo de funcionamiento de acuerdo a la información de mantenimiento	ND
	Conducto de ventilación	Asegúrese de que no existen objetos extraños en el ventilador o en la salida de aire	Inspección visual	ND

Fuente: Invertek (2018). *Manual de Instrucciones, variador de velocidad Goodrive 20.*

Figura 14. Mantenimiento preventivo y comprobaciones parte 3

Parte a comprobar		Comprobación del elemento	Método de comprobación	Criterio
Circuito principal	De uso público	Asegúrese de que los tornillos estén bien apretados	Apretar	ND
		Asegúrese de que no se ha producido ninguna deformación, grietas, daños o cambio de color debido al sobrecalentamiento, envejecimiento del variador o su aislamiento.	Inspección visual	ND
		Asegúrese de que no haya polvo y suciedad	Inspección visual	ND Nota: si el color del cobre cambia, esto no significa que haya algún problema.
	La puntera de los cables	Asegúrese de que no haya deformaciones o cambios de	Inspección visual	ND
		color en las punteras de los cables debido a sobrecalentamiento.		
		Asegúrese de que no hayan grietas o cambios de color en los aislamientos de los cables	Inspección visual	ND
	Terminales	Asegúrese de que no exista daño alguno	Inspección visual	ND
	Condensadores de filtrado	Asegúrese de que no se haya derretido el plástico, existan cambios de color, grietas o expansión del chasis.	Inspección visual	ND
		Asegúrese de que la válvula de seguridad esté en el sitio correcto.	Estimar el tiempo de funcionamiento de acuerdo al mantenimiento o medida de la capacidad estática.	ND
		Si fuera necesario, mida la capacidad estática.	Mida la capacidad con los instrumentos adecuados	La capacidad estática debe ser mayor o igual al valor original *0.85.
	Resistencias	Asegúrese de que éstas no se encuentren partidas debido al sobrecalentamiento	Oler e inspección visual	ND
		Asegúrese de que no esté desconectada.	Inspección visual o medida con multímetro	Las resistencias deben estar en un $\pm 10\%$ de su valor original
	Inductancias y transformadores	Asegúrese de que no exista una vibración anormal, ruido u olor	Escuchar, oler e inspección visual	ND
	Contactores y relés	Asegúrese de que no exista vibración en el sitio de trabajo	Escuchar	ND
		Asegúrese de que el contactor esté en buen estado	Inspección visual	ND

Fuente: Invertek (2018). *Manual de Instrucciones, variador de velocidad Goodrive 20.*

En la figura 15 se muestran algunas de las alarmas que se pueden presentar en un VDF.

Figura 15. Códigos de mensajes de alarma

Código de alarma	Número	Descripción	Acción correctiva
no-FLt	00	Sin Fallo	No se requiere.
Ol-b	01	Sobrecorriente de circuito frenada	Comprobar el estado de la resistencia externa de frenada y el cableado de conexión al equipo.
DL-br	02	Sobrecarga de resistencia frenada	El convertidor entra en modo fallo para evitar daño a la resistencia de frenada.
Q-I	03	Sobrecorriente de salida	Sobrecorriente instantánea en la salida del convertidor. Exceso de carga o sobrecarga en el motor.
I .t-trP	04	Térmico de sobrecarga motor (I2t)	El equipo se bloquea después de entregar > 100% del valor en F-08 durante un período de tiempo para evitar daños en el motor.
PS-trP	05	Alarma de etapa potencia	Compruebe si hay cortocircuito en el motor y cable de conexión.
O-uolt	06	Sobre Voltaje en el bus DC	Compruebe si el voltaje de alimentación está dentro de los límites permitidos para el equipo. Si se produce el fallo en desaceleración o parando, aumentar el tiempo de desaceleración en F-04 o instale una resistencia de frenado adecuada y active la función de frenado dinámico en H-34.
U-uolt	07	Bajo voltaje en el bus DC	El voltaje de alimentación de entrada es demasiado bajo. Este fallo se produce siempre cuando se desconecta la alimentación del equipo. Si se produce durante la marcha, comprobar la tensión de alimentación de entrada y todos los componentes en la línea de alimentación al equipo.
O-t	08	Sobretemperatura radiador	El equipo está demasiado caliente. Compruebe que la temperatura ambiental alrededor del equipo está dentro de la especificación del equipo. Asegure que un caudal de aire suficiente circule libremente alrededor del equipo. Aumentar la ventilación del envoltorio si es necesario. Asegurar que un caudal de aire suficiente entra en el equipo, y que las rejillas de entrada inferior y de salida superior no estén bloqueadas u obstruidas.
U-t	09	Baja temperatura	Se produce cuando la temperatura ambiente es inferior a -10 ° C. La temperatura debe elevarse por encima de -10 ° C para permitir poner en marcha el equipo.
P-dEF	10	Parámetros predeterminados de fábrica cargados	
E-tr iP	11	Alarma externa	E-trip activado en la entrada digital 3. El contacto normalmente cerrado se ha abierto por alguna razón. Si termistor del motor está conectado asegúrese si el motor está demasiado caliente.
SC-ObS	12	Perdida de comunicación	Compruebe enlace de comunicación entre el equipo y los dispositivos externos. Asegúrese de que cada equipo de la red tiene una dirección única.
FLt-dc	13	Rizado DC bus elevado	Compruebe que las fases de alimentación entrantes están todas conectadas y equilibradas.
P-L0SS	14	Perdida de fase entrada	Compruebe que las fases de alimentación entrantes están todas conectadas y equilibradas.
h O-I	15	SobreCorriente de Salida	Compruebe si hay cortocircuito en el motor y cable de conexión.
th-FLt	16	Termistor defectuoso en radiador	Contacte con su distribuidor GE.
dRtR-F	17	Fallo de memoria interna (IO)	Pulse la tecla de paro. Si el fallo persiste, consulte con su proveedor.
4-20 F	18	Perdida de Señal 4-20mA	Compruebe la configuración (H-16 y H-47) y conexión de las dos entradas analógicas.
dRtR-E	19	Fallo de Memoria interna (DSP)	Pulse la tecla de paro. Si el fallo persiste, consulte con su proveedor.
F-Ptc	21	Alarma Termistor PTC motor	Sobre temperatura en Termistor del motor, revise el motor y las conexiones a este.
FAn-F	22	Fallo Ventilador equipo (solo IP66)	Revise / cambie el ventilador de refrigeración.
O-hERt	23	Temperatura interna del equipo demasiado elevada	La temperatura ambiente del equipo es demasiado alta, compruebe que el aire de refrigeración proporcionado es el adecuado.
RtF-O I	40	Fallo de autoajuste	Los parámetros del motor medidos a través del autoajuste no son correctos.
RtF-O2	41		Compruebe la continuidad entre motor y equipo.
RtF-O3	42		Compruebe que las tres fases del motor estén equilibradas.
RtF-O4	43		
RtF-O5	44		
SC-F0 I	50	Pérdida de comunicación Modbus	Compruebe el cable entrante de la conexión del bus Modbus RTU. Compruebe que al menos un registro está siendo escrito o leído cíclicamente dentro del límite de tiempo de pérdida de comunicación establecido en H-36 Índice 3.
SC-F02	51	Pérdida de comunicación CANopen	Compruebe el cable entrante de la conexión del bus CAN open. Compruebe que existen comunicaciones cíclicas dentro del límite de tiempo de pérdida de comunicación establecido en H-36 Índice 3.

Fuente: General Electric (2017). *AF-70 LP Guía del Usuario IP20 & IP66 (NEMA 4X) Convertidor de Frecuencia.*

Hay muchas acciones de mantenimiento que se pueden llevar a cabo en todos los VDF, y esto se facilita ya que éstos tienen mensajes en forma de código que describen una alarma. Estas alarmas pueden describir sobre

voltaje y voltaje bajo en el bus de C.C.; sobrettemperatura o baja temperatura en el radidador; pérdida de comunicación; fallo en el termistor del radiador; rizado muy alto en el bus de C.C.; sobrecorriente de salida; pérdida de señal en la corriente de salida; falla del ventilador interno; alarma del termistor del motor; sobrecarga del motor; pérdida de fase de entrada; temperatura interna del equipo demasiado elevada; fallo en memoria interna; pérdida de comunicación Modbus; pérdida de comunicación CANopen; entre otros.

Además de las alarmas que se generan, en la mayor parte de los manuales de los fabricantes de VDF, se dan las acciones correctivas que pueden ayudar a mitigar las fallas. Estas acciones serían para realizar un mantenimiento correctivo, es decir, que es para fallas que se presentan en el momento y se corrigen lo más pronto posible para que el equipo pueda seguir funcionando de manera óptima.

7.3.3.3. Herramientas recomendadas para el mantenimiento

Para poder realizar un mantenimiento preventivo eléctrico y electrónico, se deben tomar en consideración, aparte del conocimiento de qué acciones de mantenimiento realizar, contar con un mínimo de herramientas. En esta sección se presentan algunos productos de ciertas marcas, sin embargo, no tiene que ser estrictamente de las mismas marcas.

En cuanto al mantenimiento eléctrico del tablero, no son necesarias muchas herramientas especializadas. Para la mayoría de los casos será suficiente con las siguientes herramientas de la Figura 16:

Figura 16. **Herramientas**



Alicate dieléctrico conductor



Llave ajustable dieléctrica



Llaves fijas



Destornilladores dieléctricos



Navaja



Voltiamperímetro

Fuente: Ordoñez (2020). *Mantenimiento de sistemas eléctricos de distribución*.

Las herramientas como los desarmadores, llaves fijas, llave ajustable, alicate, pelador de cables (todos los anteriores con mango dieléctrico), brocha y aspiradora, y navaja son para tareas sencillas tales como:

- Ajustar las borneras de conexiones
- Arreglar conexiones mal ajustadas
- Remover el polvo del tablero

El revestimiento aislante en el mango de las herramientas tiene que contar con dos capas. Una capa que sea contra choques y que no sea inflamable. Además de que con textura y no sea resbaloso para mejor

maniobrabilidad. Por otro lado, la capa de adentro debe tener un nivel dieléctrico bastante alto, que la capa sea gruesa y resistente.

El voltiamperímetro de gancho es un elemento muy importante en cuanto al mantenimiento netamente eléctrico. Con se puede medir si hay una conexión entre dos puntos, si existe corriente circulando en un elemento de cobre, así como medir si la alimentación fue correctamente desactivada en el tablero. Hay que ser precavido al seleccionar el tipo de dimensional que se quiere medir y el rango de medición. Ya que al realizar la medida de voltaje puede ser en C.C. o en C.A., y se puede medir diferentes niveles de voltaje dependiendo de qué parte del tablero se mida, qué componente o bien, del tipo de tablero y voltaje que tenga.

Lo importante a considerar en cuestión de las marcas de las herramientas e insumos es que sean de buena calidad y de preferencia de una marca conocida para poder tener certeza de los materiales de fabricación. Además de que las marcas reconocidas suelen cumplir con certificaciones que garantizan aspectos como la inflamabilidad, reactividad, salud del usuario y protección del medioambiente. Los tableros a los que se les aplica el mantenimiento tienen una apariencia parecida a la figura 17:

Figura 17. **Tablero eléctrico**



Fuente: Vanegas (2016). *Mantenimiento de tableros eléctricos de baja tensión en subestaciones eléctricas en la Planta de Tratamiento de Aguas y Aguas de Pereira.*



Muchos de estos insumos se utilizan en el mantenimiento eléctrico y electrónico. Para poder llevar a cabo el mantenimiento electrónico existen varias herramientas e insumos que son altamente recomendables utilizar para no dañar los componentes electrónicos. Estas precauciones son en virtud de evitar que fenómenos como la estática afecten los componentes. Este fenómeno se da cuando dos cuerpos que están a diferente potencial entran en contacto, de modo que se produce una descarga electrostática.

Las descargas electrostáticas pueden llegar a dañar severamente los equipos electrónicos, por lo que es recomendable utilizar equipo antiestático

cuando se realiza el mantenimiento electrónico. Existen bases antiestáticas, pulseras que se conectan a una superficie para poder descargar la estática allí, previamente de entrar en contacto con los componentes electrónicos. Los repuestos electrónicos también es recomendable manipularlos con pinzas antiestáticas y almacenarlos en bolsas antiestáticas.

Con la finalidad de realizar una limpieza y/o reparación adecuada de las placas electrónicas, existen diversos insumos que es recomendable utilizar para evitar causar un daño en las placas. Muchos de estos normalmente están en presentación de aerosol y es deseable que se utilicen en el mantenimiento electrónico al menos algunos de los insumos que se muestra en la Tabla II:

Tabla II. **Insumos para mantenimiento eléctrico y electrónico**

	Limpiador de contactos	Removedor de Fundente
		
Función	Remover grasas y aceites, partículas, polvo y siliconas de equipos eléctricos y electrónicos delicados	Remover fundentes de soldadura usados para reparar o fabricar equipos electrónicos
Uso en	Conectores, PCBs, relevadores, interruptores y elementos de instrumentación en general	Fundentes a base de resina y otros sin plomo y que no necesitan limpiarse

Fuente: 3m (2021). *Aerosoles de limpieza para mantenimiento y reparación.*

7.3. Norma NFPA 70

Esta normativa da las pautas prácticas para que las personas que desarrollan trabajos que involucren el acercamiento o manipulación de elementos que conduzcan electricidad puedan realizar sus actividades sin correr riesgos. Por ello se abordan las exigencias de seguridad cuando se ejecuta un mantenimiento; la manera en que se ejecutan las tareas de mantenimiento; las condiciones previas, durante y después de estas tareas; requerimientos administrativos para resguardar a los trabajadores en el área de trabajo.

Se pretende proteger a los trabajadores en situaciones tales como la instalación, operación, extracción, mantenimiento, inspección y desmantelamiento de dispositivos eléctricos (máquinas, conductores, equipos, entre otros). Asimismo, buenas prácticas de mantenimiento en escenarios que podrían poner en riesgo a los trabajadores que lo ejecuten, como los que se presentan a continuación:

- Lugares donde haya elementos que tengan conexión directa al abastecimiento eléctrico.
- Instalaciones que sean usadas por las compañías que crean, distribuyen, transforman o transmiten la energía eléctrica.
- Oficinas, talleres, bodegas que no son en donde se lleva control o actividades completamente esenciales para las generación, transformación o transmisión de energía.

Por otro lado, esta normativa no contempla actividades con relación a la seguridad en los casos que se describen a continuación:

- Instalaciones ferroviarias que se use para generar, convertir, transmitir o distribuir la electricidad que se use solo para hacer funcionar la

maquinaria del tren o los establecimientos que sean usadas únicamente para señalar y comunicar los distintos sistemas ferroviarios.

- Instalaciones de dispositivos de telecomunicaciones, que se usen únicamente en compañías de este mismo ámbito y que estén ubicadas al aire libre o en el interior de lugares destinados solamente para las actividades dichas compañías.

En esta normativa, al priorizar la seguridad de quien ejecuta los procedimientos y las prácticas laborales, establece garantías que el empleador debe tener, como determinar, registrar y cumplir con buenas prácticas laborales teniendo en cuenta la seguridad y garantizar un adecuado entrenamiento respecto a los procedimientos que se establecen en la normativa NFPA 70.

Debido a que el empleador toma responsabilidad de la seguridad de sus trabajadores, estos también deben tomar una actitud de responsabilidad y apegarse a las indicaciones que se establezcan para poder garantizar un ambiente laboral seguro para todos los trabajadores. Teniendo como prioridad de ambas partes (empleador y empleado) eliminar la mayor cantidad de peligros posibles.

7.3.1. Seguridad eléctrica

Se debe determinar y llevar a la práctica un programa para la seguridad eléctrica que tome en cuenta todas las prácticas que se realizan, el empleador debe velar por la implementación de este programa. Se tiene que tomar en cuenta que los sistemas o la maquinaria eléctrica que haya sido instalada recientemente cumpla con la normativa de seguridad eléctrica, las indicaciones del fabricante y las experiencias previas que se tengan respecto

a la maquinaria o sistema eléctrico en cuestión. Asimismo, debe incluir el mantenimiento eléctrico de los equipos y sistemas.

Este programa se tiene que planear con priorizando el proveer los lineamientos acerca de los posibles riesgos eléctricos a los trabajadores que se desenvuelven en un lugar donde están expuestos a peligros eléctricos. Uno de los propósitos del programa tiene que ser generar un sentido de responsabilidad y disciplina en los trabajadores involucrados.

Se tienen que incluir las bases de seguridad eléctrica sobre las cuáles se realizó el programa. También es importante saber cuáles son las métricas por las que se evaluará el programa. Por otra parte, se deben reconocer cuáles actividades suponen un riesgo para los trabajadores desde antes de que suceda un incidente.

Un aspecto muy importante para considerar es la inclusión de un método para evaluar los posibles peligros, entre los aspectos que se pueden considerar en este aspecto son:

- Identificar las situaciones donde se puede necesitar la asistencia de otra persona, además de las cualidades y herramientas con las que debe contar la persona que apoyará.
- Reconocer los peligros y el riesgo que conllevan.
- Establecer un método para evaluar riesgos y determinar el orden de prioridad en el que se mitigarán.
- Descuidos inherentes al ser humano, los cuales pueden derivar en un potencial riesgo en los trabajadores que estén involucrados en el área donde se producen o bien en el medio circundante, además de poder dañar las instalaciones o la maquinaria.
- Que tome en consideración el siguiente orden para la evaluación de peligros y la prevención de estos:

- Erradicar
- Reemplazar
- Inspección de ingeniería
- Aviso
- Mando administrativo
- Equipo de protección personal

Todos estos lineamientos son según la normativa NFPA 70 y en virtud de preservar la salud y prevenir riesgos en trabajos eléctricos, se recomienda apegarse a estos lineamientos en la medida de lo posible. Los lineamientos que no se puedan implementar por falta de herramientas, presupuesto o infraestructura deberán tomarse en cuenta para futuras mejoras del plan de seguridad eléctrica.

8. PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

LISTA DE SÍMBOLOS

GLOSARIO

1. INTRODUCCIÓN
2. ANTECEDENTES
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA
 - 1.1. Descripción y delimitación del problema
 - 1.2. Pregunta central de investigación
 - 1.3. Preguntas orientadoras
2. JUSTIFICACIÓN
3. OBJETIVOS
 - 3.1. General
 - 3.2. Específicos
4. NECESIDADES A CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN
5. MARCO TEÓRICO
 - 7.1. Mantenimiento
 - 7.1.1. Mantenimiento preventivo
 - 7.2. Tableros eléctricos
 - 7.2.1. Partes de un tablero eléctrico
 - 7.2.2. Elementos más comunes en un tablero eléctrico
 - 7.3. Variadores de frecuencia
 - 7.3.1. Partes de un variador de frecuencia
 - 7.3.1.1. Rectificador
 - 7.3.1.2. Bus de corriente continua
 - 7.3.1.3. Inversor

- 7.3.2. Beneficios de un VDF
 - 7.3.3. Manuales de fabricantes
 - 7.3.4. Indicaciones de operación
 - 7.3.5. Indicaciones de mantenimiento
 - 7.4. Norma NFPA 70
 - 7.4.1. Seguridad eléctrica
 - 8. PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS
 - 9. METODOLOGÍA
 - 9.1. Diseño de investigación
 - 9.2. Tipo de estudio
 - 9.3. Alcance de investigación
 - 9.4. Variables e indicadores
 - 9.5. Fases de investigación
 - 9.6. Muestreo
 - 9.7. Resultados esperados
- TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE INFORMACIÓN
CRONOGRAMA
FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO Y RECURSOS NECESARIOS
REFERENCIAS
APÉNDICES

9. METODOLOGÍA

9.1. Diseño de investigación

El estudio a realizar es de tipo no experimental debido a que en el desarrollo no se manipulan variables. Las variables serán observadas, medidas y documentadas para identificar las condiciones de operación y del medio circundante que sean óptimas para el correcto desempeño de los tableros eléctricos para arranque de motores eléctricos con VDF.

9.2. Tipo de estudio

El estudio a realizar es cuantitativo, ya que la mayor parte de las variables que se utilizarán son cuantitativas. Asimismo, se utilizarán variables cualitativas como soporte. Ya que se tomarán datos de las variables para tener indicadores que respondan al objetivo de la investigación y ayuden a orientarla de manera que se obtenga los resultados esperados.

9.3. Alcance de investigación

El alcance de investigación a realizar es descriptivo porque las variables serán observadas, medidas y documentadas con el objetivo de conocer a profundidad los indicadores que permitan describir los equipos y las condiciones de operación y del medio circundante a la fecha de investigación.

9.4. Variables e indicadores

Las variables e indicadores de estudio se muestran en la siguiente Tabla III:

Tabla III. **Variables e indicadores**

Variables	Indicadores	Tipo
Tiempo total de vida de los equipos		Cuantitativo
MTBF	Condición de variador de frecuencia	Cuantitativo
MTTR		Cuantitativo
Disponibilidad		Cuantitativo
Estado físico		Cualitativo
Tiempo total de vida de los equipos		Cuantitativo
MTBF	Condición del tablero eléctrico	Cuantitativo
MTTR		Cuantitativo
Disponibilidad		Cuantitativo
Estado físico		Cualitativo
Exposición a salpicaduras		Cualitativo
Exposición a vibraciones	Condición del medio circundante de operación	Cualitativo
Exposición a humedad		Cualitativo
Exposición a polvo		Cualitativo

Fuente: elaboración propia, realizado con Excel.

9.5. Fases de investigación

Fase 1: Revisión documental. Previo a realizar la investigación, se llevará a cabo una investigación documental sobre los conceptos, teorías e investigaciones que se han realizado previamente y que estén relacionadas con la investigación propuesta. En ella se ampliará el concepto de mantenimiento preventivo a equipo eléctrico y electrónico, la metodología para realizar dicho mantenimiento en VDF y las condiciones en las que es preferible que éste sea instalado.

Fase 2: Recopilación de información. En esta fase se realizará una visita a campo para obtener la información base necesaria para elaborar la investigación. Con base a la información obtenida, se generarán las tendencias que diagnostiquen la situación a la fecha de investigación de los

tableros eléctricos, sus componentes principales y principalmente, el VDF. La recopilación se realizará mediante las tablas indicadas en el Apéndice.

Fase 3: Trabajo de gabinete. Tras la recolección de datos en campo y el posterior análisis de las carencias de las acciones de mantenimiento llevadas a cabo en los tableros eléctricos para arranque de motores eléctricos con VDF, se generarán comparativas de estado situacional. Éstas serán comparadas con los manuales de diferentes modelos de variadores de frecuencia, las especificaciones generales de los fabricantes y se plantearán los procedimientos.

Fase 4: Presentación y discusión de resultados. En esta fase se realizará un resumen de la información tabulada. Asimismo, se establecerán las fases para la realización del plan de mantenimiento y condiciones de operación de los tableros eléctricos para arranque de motores eléctricos con VDF.

9.6. Muestreo

El estudio se realizará en tableros eléctricos para arranque de motores eléctricos con VDF que son la principal solución de automatización de una empresa de automatización industrial. Por lo tanto, no se tiene una muestra determinada de equipos, sino que se realizará el estudio de acuerdo con esta solución de automatización en general.

9.7. Resultados esperados

Los resultados esperados luego de la realización de la investigación son: la obtención de un plan de mantenimiento de tipo preventivo para tableros eléctricos para arranque de motores eléctricos con variador de frecuencia. Recomendaciones de operación, instalación y condiciones del medio circundante.

TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE INFORMACIÓN

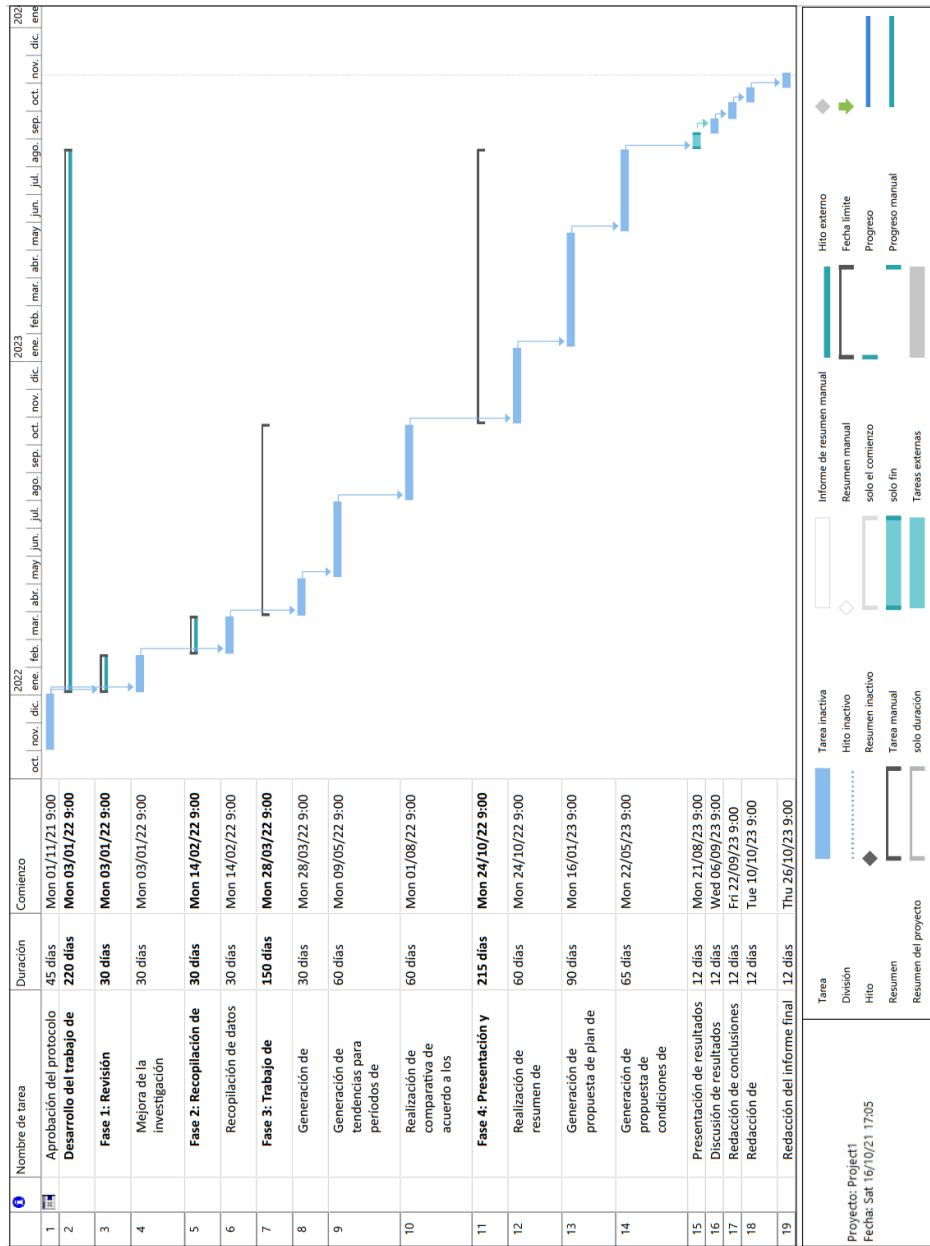
La información que se recolectará para el desarrollo de esta investigación se analizará por medio de distintas técnicas de estadística descriptiva. Dentro de la información que se analizará, se hará un compendio de las recomendaciones de operación y mantenimiento por parte de los fabricantes de variadores de frecuencia. Asimismo, se tomarán en cuenta factores para la correcta ubicación, instalación y condiciones del medio circundante de los tableros eléctricos, basados en normativas e investigaciones de diversos autores.

Se realizarán entrevistas a algunos usuarios de los tableros eléctricos para conocer cuáles son las condiciones en las que generalmente se encuentran dichos equipos, períodos de tiempo en que trabajan los equipos sin interrupción y la frecuencia de fallo tanto de los variadores de frecuencia, como de los demás elementos del tablero eléctrico. Con esto se realizará una correlación entre la frecuencia de fallo, las condiciones del medio circundante (humedad, temperatura, vibraciones, y polvo) y las condiciones de operación. Con esto se generará una predicción de los intervalos de mantenimiento predictivo para todos los elementos del tablero eléctrico, incluyendo el VDF. Esta predicción se realizará por medio del coeficiente de determinación R^2 (pronunciado R cuadrado).

Se deducirá qué tipo de distribución tienen de los datos para con ello poder sugerir períodos de funcionamiento durante el día/semana/mes, a partir del rango de los parámetros obtenidos en la distribución. Esto para que los equipos no trabajen mucho tiempo sin interrupción, basándose también en las recomendaciones de los fabricantes.

CRONOGRAMA

Figura 18. Cronograma



Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Project.

FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO Y RECURSOS NECESARIOS

Para poder efectuar el estudio de investigación, es necesario tomar en cuenta que se debe contar con tiempo disponible para realizarlo. Además, se tiene que contar con los recursos materiales, humanos y financieros. Para esto, se contará con la disposición y facilitación de estos, por parte de la empresa que realiza el montaje de los tableros eléctricos, así como de algunos de los clientes que los obtienen.

En el caso de los recursos financieros en los que se incurrirá para efectuar el estudio, se toman en cuenta solamente los honorarios del asesor de tesis que serán financiados por el investigador. Los recursos que se deben tomar en cuenta de parte de la empresa de fabricación de tableros eléctricos y variadores de frecuencia son:

Recurso Material, Físico y Tecnológico: es necesario contar con los recursos mencionados en la Tabla IV. Asimismo, son necesarios los manuales de los fabricantes de variadores de frecuencia.

Recurso humano: se necesita la asesoría de los electricistas que realizan el montaje de los tableros eléctricos, ya que ellos son los que realizan el diseño de acuerdo con los requerimientos del cliente y saben las indicaciones de operación para los tableros eléctricos y los VDF.

Tabla IV. **Presupuesto de la investigación**

Recurso Material, Físico y Tecnológico				
No.	Descripción		Unidad	Costo (Q)
1	Equipo de cómputo		Global	5,000
2	Impresora		Global	2,000
3	Hojas bond		Ciento	25
Subtotal				7,025
Recurso humano				
No.	Descripción	Horas	Unidad	Costo (Q)
1	Investigador	50	100	5,000
2	Electricista	20	125	2,500
3	Asesor	20	125	2,500
Subtotal				10,000
Resumen				
1	Recurso Material, Físico y Tecnológico			7,025
2	Recurso humano			10,000
Total				17,025

Fuente: elaboración propia, realizado con Excel.

REFERENCIAS

1. Aldana, C. R. (2019). Gestión del Mantenimiento Preventivo para mejorar la disponibilidad en los equipos mineros de transporte en la unidad Inmaculada-Ayacucho de la empresa Unión de Concreteras S.A. [Tesis de maestría, Universidad del Callao]. <http://hdl.handle.net/20.500.12952/4374>
2. Caiza y Chávez. (2014) Desarrollo e implementación de una estación de medición para la evaluación de efectos que producen las señales de los variadores de frecuencia en los motores eléctricos trifásicos. [Tesis de licenciatura, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo] <http://dspace.espoch.edu.ec/handle/123456789/4197>
3. Canales, I. M. (2019). Análisis de los efectos que causan los armónicos en los motores a inducción cuando usan los variadores de frecuencia [Tesis de licenciatura, Universidad Católica de Santiago de Guayaquil]. <http://repositorio.ucsg.edu.ec/handle/3317/12508>
4. Emheater. (2020). User's Manual EM-GW Series Online Soft Starter. 2da edición. <https://www.emheater.co.za/wp-content/uploads/2020/10/Soft-Starter-EM-GW-User-Manual.pdf>
5. General Electric (2017). AF-70 LP Guía del Usuario IP20 & IP66 (NEMA 4X) Convertidor de Frecuencia. Versión 1. Recuperado de https://library.industrialsolutions.abb.com/publibrary/checkout/DET1019?TNR=Installation%20and%20Instruction%7CDET1019%7CPDF&filename=DET1019%20-%20AF-70%20LP%20User%20Manual%20v1_0%20%28EN%29.pdf

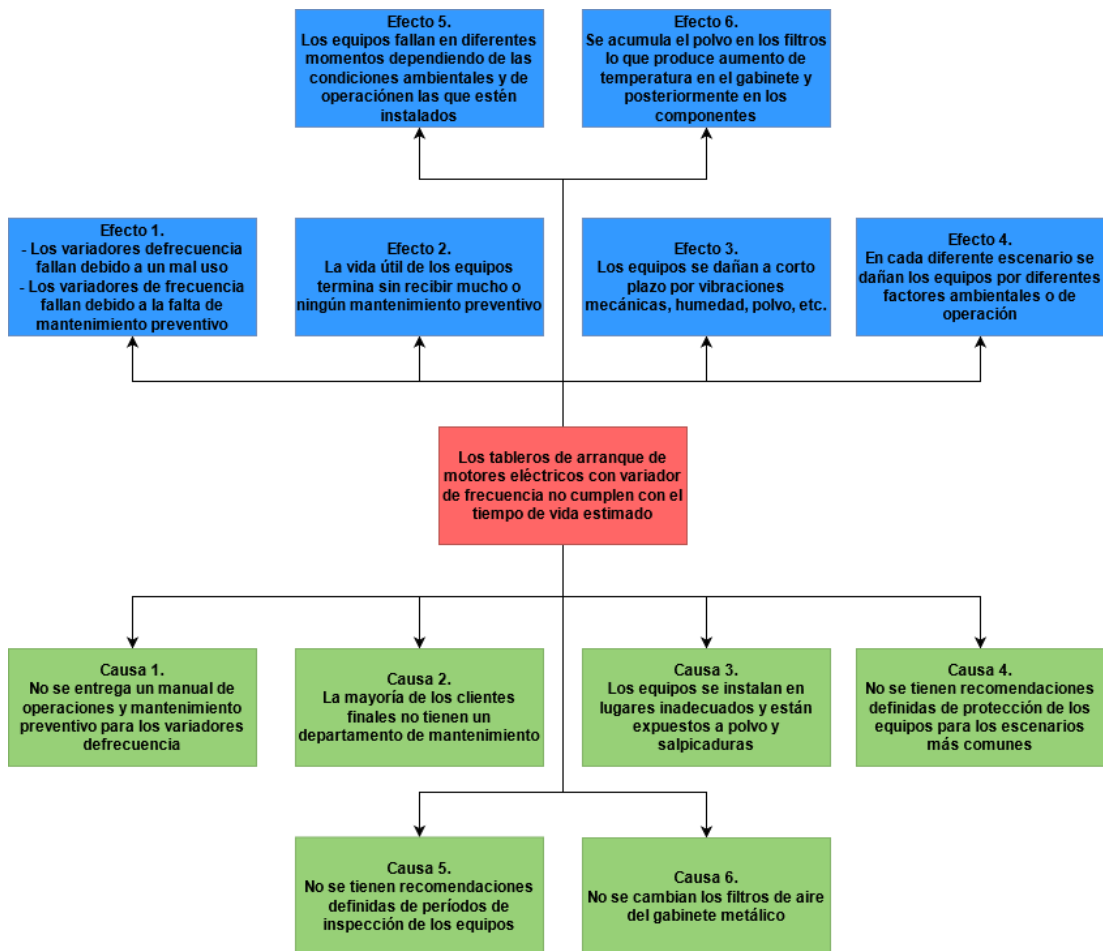
6. Gómez, O. (2014). Configuración del variador de frecuencia para reducir el alto consumo de energía en el sistema de izaje de la empresa Mundo Perú Gold S.A.C. [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional del Centro del Perú] <http://hdl.handle.net/20.500.12894/3625>
7. González, L. E. (2018). Ahorro energético mediante la implementación del uso de variadores de frecuencia, en el tratamiento de jugo de caña de azúcar, Ingenio La Unión [Tesis de Maestría, Universidad de San Carlos de Guatemala]. <http://www.repositorio.usac.edu.gt/12119/>
8. González, L. E. (2019). Ahorro energético mediante la implementación del uso de variadores de frecuencia, en el tratamiento de jugo de caña de azúcar, Ingenio La Unión. Revista de la Escuela de Estudios de Postgrado, 10(1), 62–64. <http://www.revistasguatemala.usac.edu.gt/index.php/reep/article/view/1394>
9. Inveretek, (2018). Manual de Instrucciones, variador de velocidad Goodrive 20. Versión 2. Recuperado de <http://invtek.es/wp-content/uploads/2018/03/Manual-GD20-V1.4.5.pdf>
10. Invertek (2013). Manual de Operación, Inversor Goodrive 200. Versión 1.3. Recuperado de <https://www.manualslib.es/manual/189178/Invt-Goodrive-200.html>
11. Invertek (2017). Optidrive E3, Convertidor de Frecuencia IP66 (NEMA 4X). Versión 1.05. Recuperado de <https://www.manualslib.es/manual/314006/Invertek-Drives-Optidrive-Ode-3.html>

12. Invertek (2016). Optidrive E3, AC Variable Speed Drive IP20 & IP66 (NEMA 4X). Versión 2. Recuperado de <https://inverterdrive.com/file/Invertek-Optidrive-E3-Manual>
13. Mancco, J. G. (2019). Plan de mantenimiento preventivo para prolongar la operatividad de las máquinas y equipos del laboratorio de mecánica de materiales de la Facultad de Ingeniería Mecánica y de Energía de la Universidad Nacional del Callao [Tesis de maestría, Universidad del Callao]. <http://hdl.handle.net/20.500.12952/4399>
14. Piñero, J. M. (2015). Control de un motor de inducción usando un variador de frecuencia. [Tesis de licenciatura, Universidad de Sevilla]. <https://biblus.us.es/bibing/proyectos/abreproy/90201/>
15. Rodríguez, P. A. (2006). Elaboración de un manual de procedimientos para el mantenimiento y operación de los variadores de velocidad de la PTAR-C. [Tesis de licenciatura, Universidad Autónoma de Occidente]. <http://hdl.handle.net/10614/6291>
16. Robles, J. D. (2017). Modelación Simulación y Análisis del VDF SD 700 con frenado regenerativo. [Tesis de licenciatura, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso]. http://opac.pucv.cl/pucv_txt/txt-1000/UCC1495_01.pdf
17. Ruano, J. L. (2011). Mantenimiento de una planta de mecanizado. [Tesis de maestría, Universidad Politécnica de Valencia]. <http://hdl.handle.net/10251/11370>
18. Sanabria, E. A. (2016). Sistema de control de velocidad de un motor trifásico mediante un variador de frecuencia y sistema scada. [Tesis de licenciatura, Universidad Tecnológica de Pereira]. <http://hdl.handle.net/11059/7003>

19. Sánchez, O. (2018). Manual de mantenimiento al tablero general eléctrico. [Tesis de licenciatura, Universidad Tecnológica del Centro de Veracruz].
<http://reini.utcv.edu.mx:80/handle/123456789/444>
20. Wikström, P., Terens, L. A. & Kobi, H. (2000). Reliability, Availability, and Maintainability of High-Power Variable-Speed Drive Systems. *Revista IEEE Transactions on Industry Applications*, 36(1), 231-241. <https://doi.org/10.1109/28.821821>
21. Yalli, F. A. (2020). Análisis de las causas de fallas de operación del variador de frecuencia del molino en la sociedad minera “El Brocal” para mejorar su confiabilidad [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional del Centro del Perú].
<http://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/6447>
22. 3m (2021). Aerosoles de limpieza para mantenimiento y reparación (Limpiador de Contactos Eléctricos 3M™ Novec™, 325 ml, 6/Caja). Recuperado de https://multimedia.3m.com/mws/mediawebserver?mwsId=SSSSSuUn_zu8l_0eMxtSNxt9Pv70m17zHvu9IxB7SSSSSS--
23. 3m (2021). Aerosoles de limpieza para mantenimiento y reparación (3M® Novec® Removedor de Fundente, lata de 12 onzas, 6 latas por caja). Recuperado de https://multimedia.3m.com/mws/mediawebserver?mwsId=SSSSSuUn_zu8l_0eMxtSNxt1nv70m17zHvu9IxB7SSSSSS--

APÉNDICES

Apéndice 1. Árbol de problemas



Fuente: elaboración propia, realizado con lucidchart.com.

Apéndice 2. **Matriz de coherencia**

PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA TABLEROS DE ARRANQUE DE MOTORES ELÉCTRICOS CON VARIADOR DE FRECUENCIA		
Objetivo general		
Establecer un plan de mantenimiento preventivo para tableros de arranque de motores eléctricos con variador de frecuencia para una empresa de automatización ubicada en zona 8 de Mixco.		
¿Qué plan de mantenimiento preventivo se puede establecer para una adecuada operación y prevención de fallas en tableros de arranque de motores eléctricos con variador de frecuencia?		
Objetivo específico	Pregunta de investigación	Indicadores
1 Determinar recomendaciones de operación y rutina de mantenimiento de los tableros eléctricos y variadores de frecuencia que se hacen a la fecha de investigación.	¿Cuáles son las recomendaciones de operación y rutina de mantenimiento a la fecha de investigación?	Períodos de rutinas de mantenimiento. Acciones y precauciones al ejecutar el mantenimiento. Condiciones del medio circundante de operación.
2 Establecer las recomendaciones adecuadas de operación y mantenimiento de los tableros eléctricos y variadores de frecuencia.	¿Cuáles son las recomendaciones de mantenimiento preventivo y operación para los tableros eléctricos y variadores de frecuencia?	Períodos de rutina de mantenimiento. Condiciones de instalación y operación.
3 Determinar la estrategia para mantener los tableros de arranque de motores eléctricos con variador de frecuencia en condiciones adecuadas de operación.	¿Qué estrategias se pueden diseñar para mantener en condiciones adecuadas de operación los tableros de arranque de motores eléctricos con variador de frecuencia?	MTBF. Tiempo total de vida de los equipos.

Fuente: elaboración propia, realizado con Excel.