



UNIVERSIDAD
DE ATACAMA

FACULTAD DE INGENIERÍA

**IMPLEMENTACIÓN DE VARIADOR DE FRECUENCIA MODELO VACON
NXS PARA ASEGURAR LA DISPONIBILIDAD Y FUNCIONAMIENTO DE LA
CORREA TRANSPORTADORA 520CV014 EN EL ÁREA DE FILTRADO DE LA
COMPAÑÍA MINERA CANDELARIA**

Profesor guía: Mg. Servando Campillay Briones.

José Luis Pastene Cortés

2022



UNIVERSIDAD
DE ATACAMA

FACULTAD DE INGENIERÍA

**IMPLEMENTACIÓN DE VARIADOR DE FRECUENCIA MODELO VACON
NXS PARA ASEGURAR LA DISPONIBILIDAD Y FUNCIONAMIENTO DE LA
CORREA TRANSPORTADORA 520CV014 EN EL ÁREA DE FILTRADO DE LA
COMPAÑÍA MINERA CANDELARIA**

“Trabajo de Titulación Presentado en conformidad a los requisitos para obtener el Título de Ingeniero de Ejecución en Electricidad según Resolución Exenta 191/2021 enmarcado en los Programas Académicos Flexibles y Contextualizados de Titulación”

Profesor guía: Mg. Servando Campillay Briones.

José Luis Pastene Cortés

2022

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de titulación a mí querida esposa Marcela, quien me insto a seguir adelante en los momentos más difíciles y deposito toda su confianza en mí brindándome apoyo durante estos años que duro la carrera.

A mis hijas Ayelén e Isabella en ellas encontré la inspiración que me llevo a cumplir con las metas propuestas a seguir adelante cada día y con sus sonrisas me dieron inspiración para continuar.

A mis Padres José y Edith quienes fueron un pilar fundamental en mi formación tanto personal como profesional y siempre me inspiraron a seguir adelante en mis estudios.

Atte.

José Luis Pastene Cortés.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mi familia, compañeros de curso y profesores de la Universidad de Atacama por su dedicación y vocación de enseñar.

Atte.

José Luis Pastene Cortés.

Índice General

CAPÍTULO N°1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Introducción	1
1.2. Planteamiento del Problema.....	1
1.3. Justificación.....	3
1.4. Objetivo General	4
1.5. Objetivos Específicos.....	4
1.6. Alcance.....	4
1.7. Limitaciones.....	4
CAPÍTULO N°2. CONTEXTUALIZACIÓN DE LA EXPERIENCIA	5
2.1. Descripción de la Empresa.....	5
2.2. Proceso de Producción de Concentrado de Cobre	6
2.4. Descripción Correa Transportadora	8
2.5. Sistema de Potencia.....	8
2.6. Público Objetivo	10
2.7. Estrategia de Trabajo.....	10
2.8. Períodos de Ejecución	10
CAPÍTULO N°3. PROCEDIMIENTO Y DESCRIPCIÓN DE ACTIVIDADES REALIZADAS	12
3.1. Definición de Variador de Frecuencia	13
3.1.1 Ventajas de Implementar un Variador de Frecuencia	13
3.2. Recursos	14
3.3. Responsabilidades	14
3.4. Procedimiento Operativo	14
3.5. Desarrollo de la Problemática	15
3.5.1. Descripción del Variador de Frecuencia Vacon NXS.....	16
3.5.2. Selección de la Potencia del VDF.....	17
3.5.3. Diagrama Eléctrico de Fuerza y Control.....	19
3.5.4. Montaje del VDF	20
3.5.5. Cableado de Alimentación	21
3.5.6. Cableado de Control.....	22

3.5.7. Programación del VDF utilizando el panel de control.....	24
3.5.8. Ajuste de Parámetros.....	25
3.5.9. Programación del VDF utilizando el software VACON NC Driver.....	31
3.5.10. Protecciones de la Instalación	32
3.5.11. Ajuste de la Protección de Fuerza.....	32
3.5.12. Puesta en Servicio del Variador de Frecuencia.....	33
CAPÍTULO N°4. ANÁLISIS Y RESULTADOS	35
4.1. Arranques Eficientes	35
4.2. Diagnósticos más certeros.....	36
4.3. Aporte Operacional	36
4.4. Aporte a la Producción.....	37
4.5. Detalles de Producción.....	37
4.6. Costos de Implementación de la Solución	37
CAPÍTULO N°5. CONCLUSIONES	39
GLOSARIO DE TERMINOS.....	40
BIBLIOGRAFÍA.....	41
ANEXO A	42
CARACTERÍSTICAS DEL VARIADOR DE FRECUENCIA VACON NXS.....	42
A.1. Tabla de Potencias del VDF.....	42
A.2. Dimensiones del VDF	42
A.3. Códigos de Identificación del VDF.....	43
ANEXO B.....	44
DISYUNTOR.....	44
B.1. Montaje del Disyuntor.....	44
B.2. Ajustes del Disyuntor	46

Índice de Figuras

Figura 1.1. Diagrama Proceso de Producción.	1
Figura 1.2. Diagrama de proceso planta de filtrado.	2
Figura 1.3. Arraque directo del Motor.	3
Figura 2.1. Ubicación Minera Candelaria.	5
Figura 2.2. Proceso productivo Minera Candelaria.	7
Figura 2.3. Correa transportadora.	8
Figura 2.4. Sistema potencia.	9
Figura 2.5. Estrategia de trabajo.	10
Figura 3.1. Diagrama de bloques de un Variador de Frecuencia.	12
Figura 3.2. Instalación del VDF.	16
Figura 3.3. Variador de frecuencia Vacon NXS.	17
Figura 3.4. Diagrama eléctrico de fuerza y control.	19
Figura 3.5. Montaje del VDF.	20
Figura 3.6. Cableado de alimentación.	21
Figura 3.7. Cableado de control.	22
Figura 3.8. Muestra del transformador instalado.	23
Figura 3.9. Panel de control VDF.	24
Figura 3.10. Voltaje nominal del motor.	29
Figura 3.11. Intensidad nominal de motor.	29
Figura 3.12. Límite de Intensidad.	30
Figura 3.13. Frecuencia nominal del motor.	30
Figura 3.14. Paquete de Parámetros.	31
Figura 3.15. Disyuntor.	32
Figura 3.16. Ajuste y setting de cada curva.	33
Figura 4.1. Corriente de arranque con VDF.	35
Figura 4.2. Corriente de arranque directo.	35
Figura 4.3. Corriente versus tiempo.	36
Figura 4.4. Diagrama lógico de control.	37

Índice de Tablas

Tabla 3.1. Potencia del variador.....	18
Tabla 3.2. Variables de monitorizacion.	26
Tabla 3.3. Muestra parámetros ajustables.	27
Tabla 3.3. Datos y ajustes del VDF	28
Tabla 4.1. Costos del Trabajo de Titulación.	38

RESUMEN

El presente trabajo de titulación tiene la finalidad de mantener el proceso de producción de la planta de filtrado de Minera Candelaria, para lograr el objetivo debemos aumentar la disponibilidad de los equipos que están en la línea de producción, uno de los equipos fundamentales de la planta es la correa transportadora que, debido a su metodología de arranque directo a producido desperfectos eléctricos y mecánicos en sus sistemas de transmisión , uno de sus componentes más afectados es el motor que proporciona la fuerza motriz a la correa transportadora. La propuesta consiste en reemplazar el sistema de partida implementando un variador de frecuencia Vacon NXS. Para comprender el desempeño del variador de frecuencia y los beneficios que se obtienen con su implementación es necesario realizar una descripción de la teoría de funcionamiento, esto nos dará una idea clara sobre el porqué el variador de frecuencia es la mejor opción a la hora de proteger los motores eléctricos y sus componentes. Realizada la investigación de la teoría de funcionamiento se procede a la implementación de esta nueva tecnología iniciando el proceso de instalación que consiste en planificar, organizar y ejecutar el trabajo de titulación. Una vez realiza las pruebas de funcionamiento operacional y la puesta en marcha de la correa transportadora se inicia la obtención de datos proporcionados por el sistema de monitoreo PI VISION implementado por Minera Candelaria, este sistema nos permite monitorear en tiempo real las variables de corriente del motor de la correa transportadora. Por medio de las curvas de corrientes proporcionadas por el sistema los resultados son concluyentes y ratifican que el variador de frecuencia es un sistema eficiente de partida de motores.

CAPÍTULO N°1. INTRODUCCIÓN

1.1. Introducción

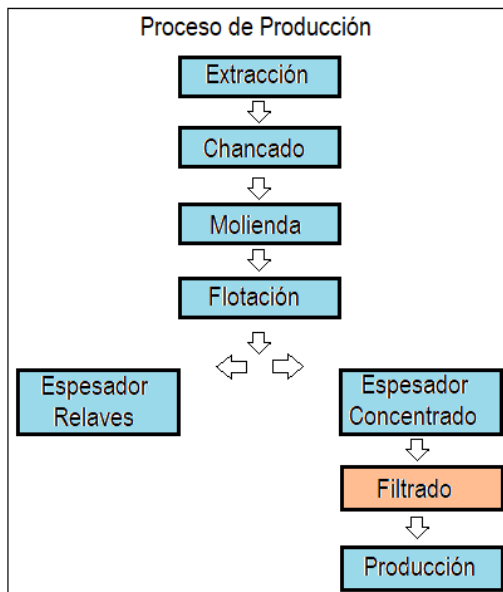
En el transcurso del tiempo la industria minera busca impulsar la productividad de sus procesos, mejorar la eficiencia energética y reducir los costos de mantenimiento a base del avance tecnológico disponible en el tiempo.

Una de las maquinas eléctricas más utilizadas en la industria moderna son los motores, a causa de sus buenas características de rendimiento y a su baja contaminación, aspectos que se tienen bien en cuenta en nuestros días. Estos motores podemos encontrarlos en todo tipo de maquinaria incluso en las más complejas como las correas transportadoras, es por ello que es imprescindible contar con un método de control eficiente que garantice el correcto funcionamiento.

1.2. Planteamiento del Problema

El proceso de producción de Minera Candelaria cuenta con ocho etapas fundamentales para producir concentrado de cobre. La Planta de Filtrado en la cual se pone en práctica este trabajo de titulación se ubica en la etapa final de producción. A través de la figura 1.1 se muestra el diagrama de producción.

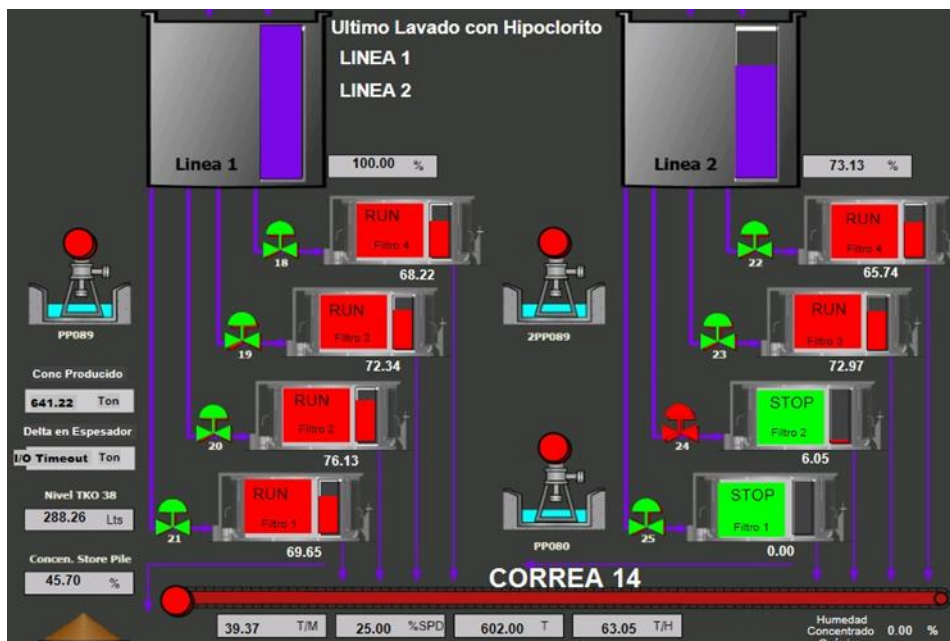
Figura 1.1. Diagrama proceso de producción.



Fuente: Elaboración propia.

El área de filtrado está compuesta por 4 filtros en la Línea 1 y 4 filtros en la línea 2, es decir 8 filtros en total, cada filtro procesa un promedio de 7.5 t/h de concentrado de cobre. Cada uno de los filtros descarga el concentrado sobre la correa transportadora número 14 la cual se encarga de transportarlo al área de almacenamiento. En cada jornada la Planta de Filtrado procesa un promedio de 1400 toneladas de concentrado de cobre por día. La importancia de mantener la correa 100% operativa es sumamente alta, si el equipo sufre algún desperfecto se detiene todo el proceso productivo de la Planta de Filtrado. A través de la Figura 1.2 se muestra el diagrama de proceso de la planta de Filtrado.

Figura 1.2. Diagrama de proceso planta de filtrado.



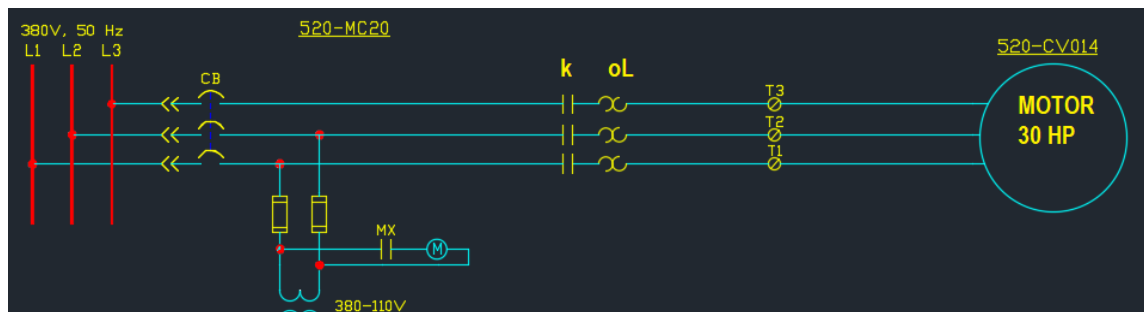
Fuente: Minera Candelaria.

Debido a las detenciones imprevistas para realizar inventarios de los diversos equipos de la compañía, el motor de la correa transportadora número 14 de la planta de Filtros ha sufrido desperfectos en sus componentes eléctricos, producto de las reiteradas partidas realizadas con carga en la correa. Estas partidas acortan la vida útil del motor y del sistema de acoplamiento (reductor) con la polea de transmisión, lo que ocasiona detenciones imprevistas del equipo.

Como se mencionó anteriormente, las partidas reiteradas son las que ocasionan las fallas en el motor, esto sucede porque la metodología de arranque es partida directa, este

tipo de partidas es el método más simple de arrancar un motor trifásico de inducción, consiste en conectar los devanados del estator directamente con el cierre del contactor de potencia, esto genera corrientes elevadas al sacar el motor de su estado de inercia. Para mejorar esta condición se realiza un reemplazo del método de partida del motor por uno más eficiente. A través de la Figura 1.3 se puede apreciar el diagrama eléctrico de arranque antes de implementar la mejora.

Figura 1.3. Arranque directo del Motor.



Fuente: Minera Candelaria.

1.3. Justificación

La responsabilidad del área de mantenimiento es mejorar la disponibilidad del motor de la correa transportadora, esto llevará a implementar nuevas tecnologías que permitan modernizar las diversas instalaciones del proceso productivo en la Minera Candelaria, el mejoramiento continuo de las personas y sus instalaciones es uno de sus objetivos principales, debido a lo anterior toda mejora en sus sistemas que permita cumplir de manera más eficiente con las metas de producción justifican la implementación del Variador de Frecuencia para el arranque de la correa.

Otra opción alternativa es el Partidor Suave que permite reducir la corriente de partida de un motor. Sin embargo, con este no se puede controlar la velocidad del equipo como hace el Variador de Frecuencia que mantiene un control permanente de velocidad y se ajusta según los requerimientos deseados.

Estos equipos innovadores ahorran en mantenimiento al conseguir que los motores trabajen en todo momento en las mejores condiciones con resultados más satisfactorios; también garantizan un uso racional de los motores prologando su vida de utilización y consiguiendo rendimiento máximo en cualquier régimen de trabajo. Este mantenimiento

no se refiere solamente al motor sino también afectará a las transmisiones, con esto se obtiene un mayor control en el proceso de producción porque el arranque y las paradas se realizan con rampas de aceleración y desaceleración, trayendo consigo menores esfuerzos y por lo tanto menores desgastes en los componentes del sistema de transmisión de la correa transportadora.

1.4. Objetivo General

Implementar variador de frecuencia modelo Vacon NXS para asegurar disponibilidad y funcionamiento en correa transportadora 520CV014 del área de filtrado en la compañía minera candelaria.

1.5. Objetivos Específicos

- Desarrollar el nuevo diseño del sistema eléctrico de la correa transportadora utilizando variadores de frecuencia.
- Elaborar un diseño para la automatización y control de la correa transportadora 520CV14.
- Comprender la estructura y características de los variadores de frecuencia.
- Analizar las ventajas y desventajas del uso de variadores de frecuencia.

1.6. Alcance

El trabajo de titulación de mejora cubre las necesidades operacionales y en general a toda la compañía ya que, el área beneficiada proporciona el producto final producido por la empresa. Implementación de variador de frecuencia modelo Vacon NXS para asegurar disponibilidad y funcionamiento en correa transportadora 520CV014 del área de filtrado en la compañía minera candelaria

1.7. Limitaciones

- Detención del equipo por un período de doce horas, esto produjo que toda la planta de filtrado permaneciera fuera de servicio mientras duraban los trabajos de implementación de la mejora.
- Elevado costo de instalación.
- Producción de armónicos a la red de suministro eléctrico de la instalación una vez en operación.

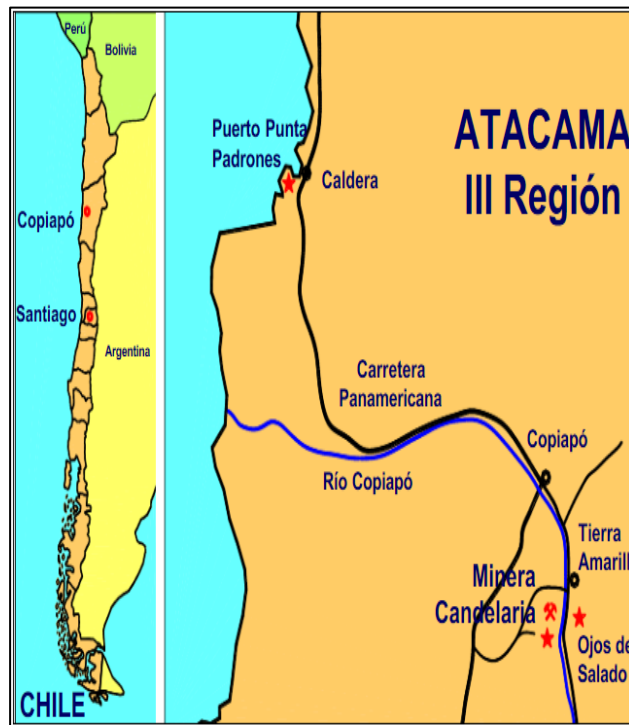
CAPÍTULO N°2. CONTEXTUALIZACIÓN DE LA EXPERIENCIA

En este capítulo se presenta una descripción de la empresa, descripción del equipo, estrategias de trabajo y periodos de ejecución.

2.1. Descripción de la Empresa

Minera Candelaria es un yacimiento de cobre ubicado en la Comuna de Tierra Amarilla Región de Atacama, distante unos 30 kilómetros al sur-este de Copiapó y a 100 kilómetros del Puerto Punta Padrones, punto de embarque del concentrado de cobre. El Puerto Punta Padrones pertenece a Minera Candelaria el cual está ubicado en la ciudad de Caldera. Los capitales pertenecen a inversionistas canadienses Lunding Mining con un 80% de la propiedad e inversionistas Japoneses Sumitomo con el 20% de la propiedad. Su materia prima es extraída de la mina rajo abierto Candelaria y desde las minas subterráneas Candelaria Norte y Alcaparrosa. A través de la Figura 2.1 se muestra el mapa de la ubicación geográfica de las instalaciones de Minera Candelaria [1].

Figura 2.1. Ubicación Minera Candelaria.



Fuente: <https://extension.cchc.cl/datafiles/21501.pdf>

Minera Candelaria fue inaugurada oficialmente en 1995. Más de dos décadas de presencia en la provincia de Copiapó, periodo en el cual se ha convertido en un motor de la economía regional y un ejemplo de trabajo hecho con excelencia operacional, seguridad, respeto al medioambiente y trabajo en conjunto de la comunidad.

Su misión es “*Ser una compañía de clase mundial que contribuye al bienestar y desarrollo de nuestros trabajadores, comunidades, la Región de Atacama y Chile*”.

La visión corporativa de seguridad es “*Cero Daño*”. Esto significa que todos los accidentes son evitables, en cada tarea que se realiza en las diferentes áreas de la compañía. Para minera Candelaria, la seguridad de sus trabajadores es lo más importante.

El sistema de gestión ambiental de la compañía, certificado bajo la norma internacional **ISO 14.001:2015**, asegura que, en cada una de las etapas del proceso productivo, se aplique rigurosos controles para mitigar eventuales impactos ambientales.

Adicionalmente la compañía cuenta con 4 pilares fundamentales que son un reflejo de la forma en que opera hoy y son representativos de los valores que tenemos en nuestra vida cotidiana.

- **Seguridad:** La salud y la seguridad son prioridad en lo que hacemos.
- **Respeto:** Promovemos la diversidad, la inclusión, el dialogo abierto y la colaboración.
- **Integridad:** Hacemos lo correcto y honramos nuestros compromisos.
- **Excelencia:** Establecemos altos estándares y nos esforzamos permanentemente para ofrecer un rendimiento superior [1].

2.2. Proceso de Producción de Concentrado de Cobre

El proceso de producción del concentrado de cobre en Minera Candelaria se lleva a cabo a través de las siguientes etapas que se describen a continuación:

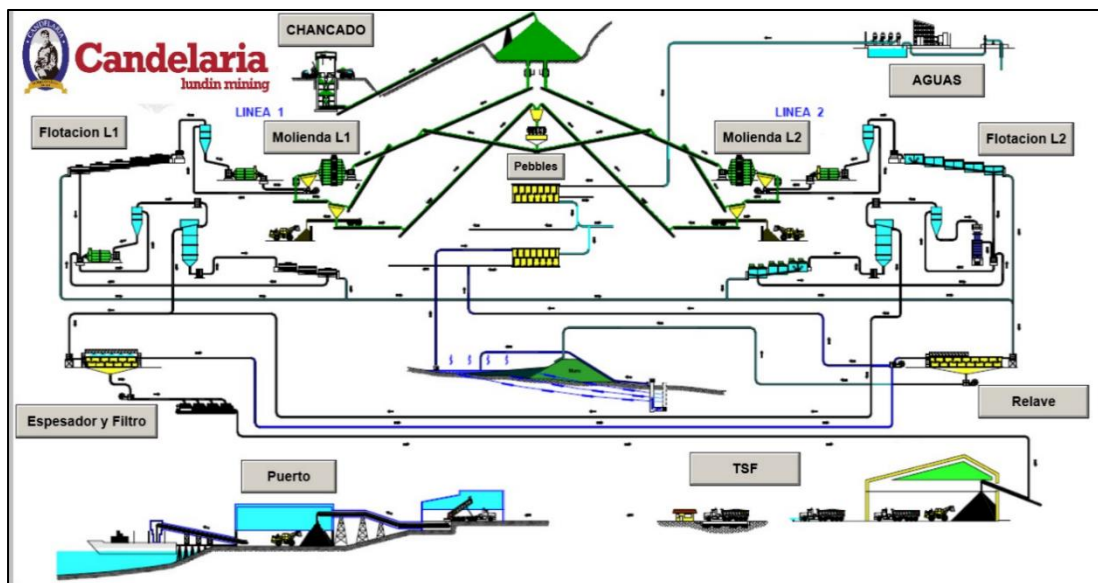
- **Minas:** El mineral es extraído desde una mina a rajo abierto y desde las minas subterráneas Candelaria Norte, Santos y Alcaparrosa. Para realizar esta labor, se cuenta con una flota de camiones de extracción, palas y equipos de apoyo, entre los que destacan camiones aljibes para el riego de los caminos y frente de carguío; radares que monitorean la estabilidad de los taludes; equipos de minería subterránea y cargadores para el mejoramiento y seguridad de caminos y bermas.

La cantidad de material extraídas es de 200 mil toneladas aproximadamente y 75 mil toneladas de mineral procesado diariamente.

- **Planta Concentradora:** El mineral extraído desde los yacimientos es enviado para su proceso a la Planta Concentradora de Candelaria. Posteriormente, el mineral pasa a molienda húmeda en dos circuitos, con molinos Sag y de Bolas. Luego, pasa al proceso de flotación y después a la Planta de filtros de extracción de agua, en la que se obtiene un concentrado de cobre con un promedio de 9% de humedad. Todo este proceso se realiza en edificios cerrados.

Finalmente, el concentrado es almacenado y enviado a camiones encapsulados hacia el Puerto Punta Padrones ubicado en la localidad de Caldera. A través de la Figura 2.2 se muestra el diagrama de producción [2].

Figura 2.2. Proceso productivo Minera Candelaria.



Fuente: <https://www.districtocandelaria.cl/proceso-productivo/>.

2.3. Descripción Correa Transportadora

La correa transportadora número 14 es un sistema de transporte continuo de concentrado de cobre, el modo de partida es remoto a través de la Sala de Control de la Planta Concentradora y trabaja en forma automática en conjunto con los equipos de la planta de filtrado. Su sistema de potencia tiene como función principal entregar energía mecánica a la polea motriz (de forma directa) y, en consecuencia, a la correa, al resto del sistema móvil, y al concentrado de cobre (de forma indirecta). A través de la Figura 2.3 se muestra la correa 14.

Figura 2.3 Correa transportadora.



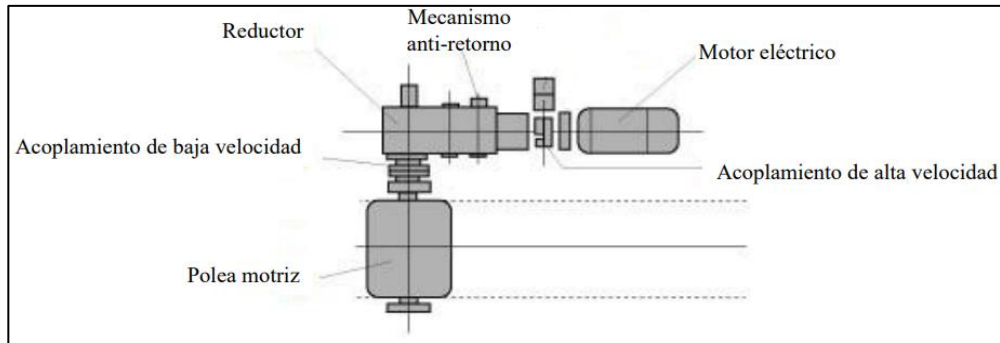
Fuente: Elaboración propia.

2.4. Sistema de Potencia

Sub-sistema de las correas transportadoras que tiene como función principal entregar energía mecánica a la polea motriz (de forma directa) y, en consecuencia, a la correa, al resto del sistema móvil, y al material fragmentado (de forma indirecta). Los equipos y

componentes del sistema de potencia se identifican en la Figura 2.4 y se describen a continuación:

Figura 2.4. Sistema potencia.



Fuente: https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/114562/cf-gomez_mh.pdf?sequence=1&isAllowed=y

- **Reductor:** (O caja reductora de velocidad) Equipo que multiplica el torque del eje del motor eléctrico mediante engranajes, proporcionando al eje de la polea motriz el torque requerido. En esta conversión mecánica, la velocidad angular del eje del motor eléctrico disminuye o se reduce. Adicionalmente, los reductores disponen de un sistema de lubricación, con la finalidad de reducir el roce entre engranajes y refrigerarlos. El sistema de lubricación de los reductores puede ser auto-sustentado (el aceite se acumula en el fondo del reductor) o asistido (el aceite se acumula en el fondo del reductor, pero recircula y se inyecta a los engranajes).
- **Acoplamientos:** Componentes que reducen tanto las vibraciones como las sobrecargas, que permiten el arranque progresivo, y que separan mecánicamente al eje de la polea motriz del eje de salida del reductor (acoplamiento de baja velocidad) como al eje de entrada del reductor del eje del motor eléctrico (acoplamientos de alta velocidad e hidráulico).
- **Mecanismo anti-retorno:** Equipo que retiene el material fragmentado, impidiendo que regrese. Este equipo sólo se utiliza en correas transportadoras con pendiente ascendente.
- **Motor eléctrico:** (de inducción y trifásico) Equipo que proporciona torque a la polea motriz mediante la conversión de la energía eléctrica en mecánica (energía cinética rotacional).

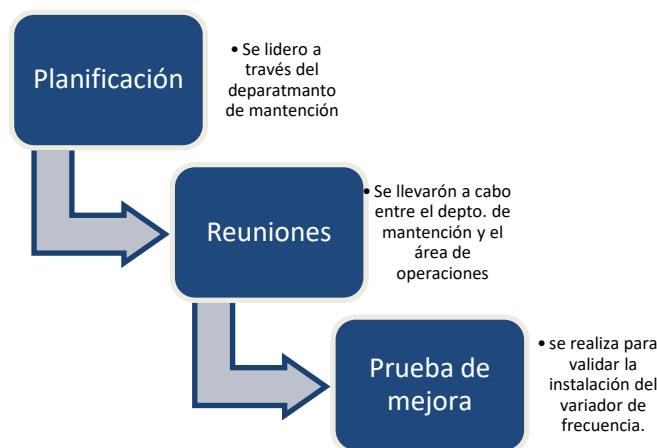
2.5. Público Objetivo

Los principales beneficiarios con la mejora realizada son los inversionistas de la compañía, mientras que el área de operaciones también es afectada ya que aporta al cumplimiento de las metas establecidas.

2.6. Estrategia de Trabajo

El trabajo realizado que permite aumentar la disponibilidad de la correa transportadora fue liderado, planificado y ejecutado por el departamento de mantenimiento, además lidero de acuerdo a lo planificado reuniones en conjunto con el área de operaciones para establecer los periodos de ejecución y prueba de la mejora. Una vez realizada la carta Gantt fue presentada al departamento de operaciones para su aprobación y fijar la fecha que tenga un impacto mínimo en la producción para ejecutar el trabajo. Cabe mencionar que el área de mantenimiento presta servicios a operaciones por lo cual debemos ajustarnos a los tiempos establecidos por este departamento. A través de la Figura 2.5 se describen los pasos de la estrategia de trabajo.

Figura 2.5. Estrategia de trabajo.



Fuente: Elaboración propia.

2.7. Períodos de Ejecución

Para la ejecución del trabajo de titulación se establecieron dos etapas de ejecución, las cuáles se describen a continuación:

- **Etapa 1:** Considera el montaje de los gabinetes y componentes de la instalación y parte del cableado eléctrico sin necesidad de detener el equipo a intervenir, por lo tanto no afecta la producción. Esta etapa inicial fue ejecutada por dos electricistas

especialistas quienes fueron realizando el montaje 2 días previos a la segunda etapa en un período de 24 horas es decir 2 turnos de 12 horas.

- **Etapa 2:** En este período fue necesario la detención del equipo por un periodo de 12 horas, además se realizaron los trabajos más importantes del trabajo de titulación, se finalizó el cableado eléctrico pendiente del periodo anterior, se programó el equipo y se realizaron pruebas en conjunto con el área de operaciones. Una vez terminadas las pruebas se dio por terminado el trabajo y se entregó a personal de operaciones para la puesta en marcha.

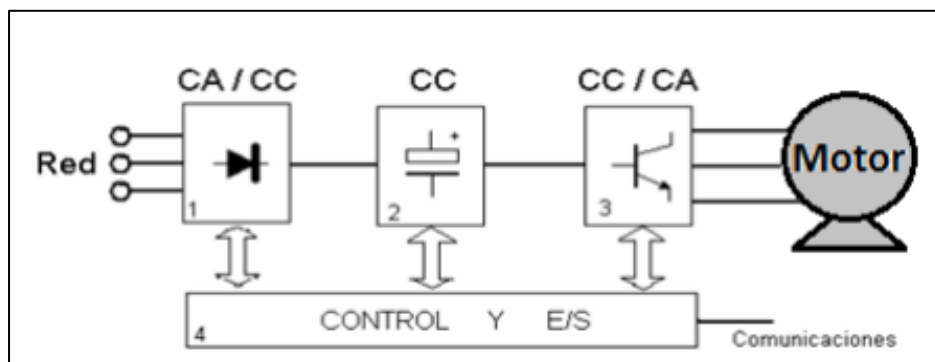
CAPÍTULO N°3. PROCEDIMIENTO Y DESCRIPCIÓN DE ACTIVIDADES REALIZADAS

3.1. Definición de Variador de Frecuencia

Un variador de frecuencia es un dispositivo para el control de velocidad de motores de inducción de corriente alterna, el cual se alimenta con un voltaje y una frecuencia constante, y como salida al motor, entrega un voltaje y una frecuencia variable, cuya principal ventaja es contar con una velocidad deseada manteniendo la capacidad de toque de los motores y lograr que el sistema se haga más eficiente, lo que provoca un importante ahorro de energía.

El variador de frecuencia está compuesto básicamente por circuitos que incorporan rectificación de la fuente de voltaje de entrada, una etapa de filtrado a través de un banco capacitivo y por transistores de potencia IGBT (transistor bipolar), siendo el principio básico de funcionamiento transformar la energía eléctrica suministrada por la red (380 [V], 50 [Hz]) en energía eléctrica de frecuencia variable controlada. Esquemáticamente, se puede representar por medio de un diagrama de bloques como se muestra en la Figura 3.1.

Figura 3.1. Diagrama de bloques de un Variador de Frecuencia.



Fuente <http://replib.ubiobio.cl/jspui/bitstream/123456789/3378/1/Barahona>.

El circuito del Variador de Frecuencia cuenta con tres etapas, donde la entrada es la red alterna trifásica, es decir por fase se tiene una señal sinusoidal. La descripción de las etapas se explica a continuación:

- **Puente Rectificador:** El puente puede ser controlado, semi-controlado o no controlado, es decir, existen variadores con puentes rectificadores que están

compuestos solo en base de tiristores, otros de diodos con tiristores, o simplemente de diodos. Esto dependerá de la elección del usuario, dependiendo la carga que se encuentre acoplada al motor conectado al variador de frecuencia, ya que, en el caso de los rectificadores controlados, es posible inyectar energía a la red. Pero la función principal del rectificador, es convertir la señal alterna en continua.

- **Bus CC:** A pesar de que el rectificador transforma la tensión de alterna a continua, es necesario tener una tensión lo más constante posible, lo cual, se aplica un filtro en paralelo, compuesto por condensadores en serie, con la finalidad de amortiguar el rizado y obtener una tensión que no varíe en el tiempo, por tanto, mientras mayor es la magnitud de los condensadores, se obtendrá una señal de tensión más constante.
- **Puente Inversor:** El puente inversor se encuentra compuesto por transistores, los cuales son activados y desactivados para generar niveles de tensión alternados en la salida, con magnitudes relacionadas a la referencia (en caso la tensión en el Bus CC). Los niveles de tensión generados, se realizarán en base a Modulación PWM, con señales moduladoras y una portadora, para obtener una tensión trifásica alternada en la salida.
- **Control y E/S:** Como se mencionó anteriormente, existe un sistema de control y comunicaciones. El sistema de control permite generar los disparos de los tiristores, en caso de que el rectificador sea controlado o semi-controlado. También se encarga de la activar y desactivar los transistores del puente inversor, en el caso del variador de frecuencia NXS, mediante modulación PWM en base a control Escalar, y por otro lado, controla la activación de las protecciones por sobretensión, sobre corriente, temperatura, etc.

Las entradas y salidas pueden ser digitales o análogas. Se utilizan para conectar diferentes dispositivos para generar otros medios de interacción con el usuario.

3.1.1 Ventajas de Implementar un Variador de Frecuencia

El Variador de Frecuencia (VDF) tiene mayores cualidades que otros aparatos para controlar los motores de Inducción, debido que es posible entregar solución a los problemas comunes que surgen en las máquinas eléctricas. A continuación, se mencionan las ventajas de implementar un VDF:

- Permite establecer arranques suaves, progresivos y sin saltos en los motores de corriente alterna.
- Controla la aceleración y frenado de los motores.
- Limita la corriente de arranque en el motor.
- Permite el control y ajuste de rampas de aceleración y desaceleración.
- Protege el motor de sobretensiones u otros problemas.
- Se obtiene un mayor rendimiento del motor.
- El VDF no posee elementos móviles de contactos.
- Entrega los valores de las variables de interés (tensión, frecuencia, velocidad, etc)[4].

3.2. Recursos

A continuación, se describen los recursos que involucra el trabajo de titulación, los cuáles se mencionan a continuación:

- **Elementos de seguridad:** Elementos de protección básica del electricista, guantes dieléctricos, ropa anti-flama, careta facial, candado de seguridad y tarjeta de bloqueo.
- **Herramientas:** Set de herramientas eléctricas, tester digital, taladro inalámbrico.
- **Especialistas:** Dos electricistas para el montaje, programación y prueba del variador de frecuencia.

3.3. Responsabilidades

A continuación, se describen las responsabilidades que involucra el trabajo de titulación, los cuáles se mencionan a continuación:

- **Supervisor Eléctrico:** Conocer, instruir respetar y hacer respetar las condiciones establecidas en este procedimiento y por último verificar que se cuente con los recursos necesarios para la tarea.
- **Personal Electricista:** Utilizar los elementos de protección básicos del electricista, usar permanentemente la ropa anti flama en cada intervención y cumplir con el procedimiento operativo.

3.4. Procedimiento Operativo

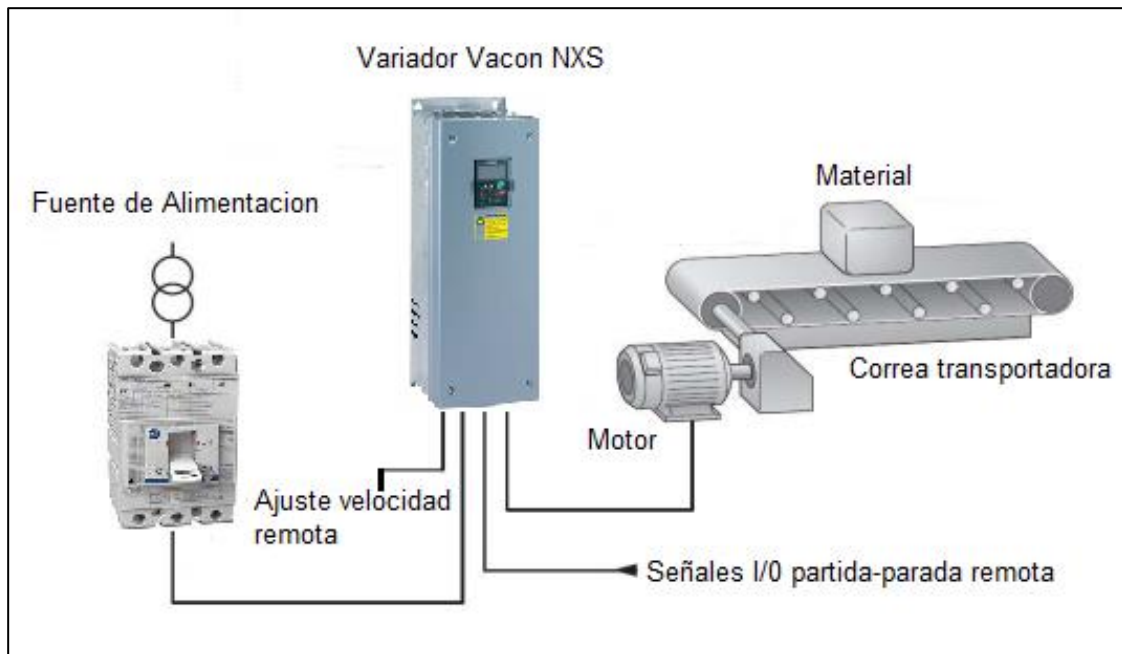
A continuación, se describe las etapas que conforman el procedimiento operativo que involucra el trabajo de titulación, los cuáles se mencionan a continuación:

1. Antes de empezar la ejecución del trabajo de titulación se debe solicitar el equipo a la sala de control de la Planta Concentradora.
2. Desenergizar y bloquear el equipo a intervenir desde su alimentador principal conforme al procedimiento de bloqueo.
3. Montar el variador de frecuencia y los componentes eléctricos en el gabinete de control.
4. Realizar el cableado eléctrico de control y fuerza siguiendo el plano de instalación del trabajo de titulación.
5. Avisar a sala de control que se energizara el equipo para comenzar con la programación.
6. Realizar pruebas de control.
7. Después del término del trabajo dejar el área limpia y ordenada.
8. Guardar los instrumentos y herramientas utilizadas en la instalación.
9. Avisar a sala de control el término del trabajo.

3.5. Desarrollo de la Problemática

El trabajo consiste en la modificación de la metodología de arranque de la correa transportadora número 14 implementado un variador de frecuencia marca Vacon, con el cual permite optimizar el consumo de energía eléctrica, ampliar la vida útil del motor y especialmente reducir el número de fallas por altas corrientes en la partida, adicionalmente con el VDF se puede justar la velocidad del equipo y controlar la carga de concentrado que se deposita sobre la correa. Obteniendo mejores resultados en el pesaje de la carga. A continuación, a través de la Figura 3.2 se muestra la instalación del VDF.

Figura 3.2. Instalación del VDF.



Fuente: Elaboración propia.

3.5.1. Descripción del Variador de Frecuencia Vacon NXS

El variador Vacon NXS de corriente alterna es un equipo compacto, con una gama de potencias de 0,37-200 kW y tensiones de red de 208-690 V, para trabajo en maquinaria, edificios y en todos los sectores industriales. A través de la Figura 3.3 se muestra variador Vacon.

El diseño incorpora protecciones efectivas frente a perturbaciones de red, el buen funcionamiento está garantizado gracias a los sofisticados principios de control de motor, a las características de protección del conjunto variador/motor, a la selección de los componentes y a la eficacia de su refrigeración.

Las protecciones en clases IP21 e IP54 hacen que sea adecuado para todos los ambientes, el asistente de Puesta en Marcha es una guía fácil que nos permite realizar el ajuste de parámetros de manera más adecuada.

El software del microprocesador controla al motor basándose en la información que recibe a través de mediciones, ajustes de parámetros, E/S de control y panel de control, el puente del inversor IGBT produce una tensión de corriente alterna simétrica, trifásica y con modulación por ancho de pulsos hacia el motor [5].

Figura 3.3. Variador de frecuencia Vacon NXS.



Fuente:<https://www.rpmecatronica.com/system/storage/download/Manual%20NXS%20NX>

3.5.2. Selección de la Potencia del VDF

Para seleccionar la potencia del Variador de Frecuencia (VDF) se debe considerar las especificaciones técnicas del motor, estas se encuentran en la placa de identificación del equipo y contiene todos los datos necesarios para determinar la capacidad del Variador y finalmente realizar la programación. Para este caso la potencia del motor es de 22 KW y la corriente nominal es de 43 Amperes, por lo cual se instaló un VDF de 22 KW y 46 Amperes.

En la Tabla 3.1 se puede apreciar el número de serie del equipo según la potencia y corriente requerida. El número de serie corresponde a la dimensión y capacidad del variador que se debe solicitar al proveedor.

Tabla 3.1. Potencia del variador.

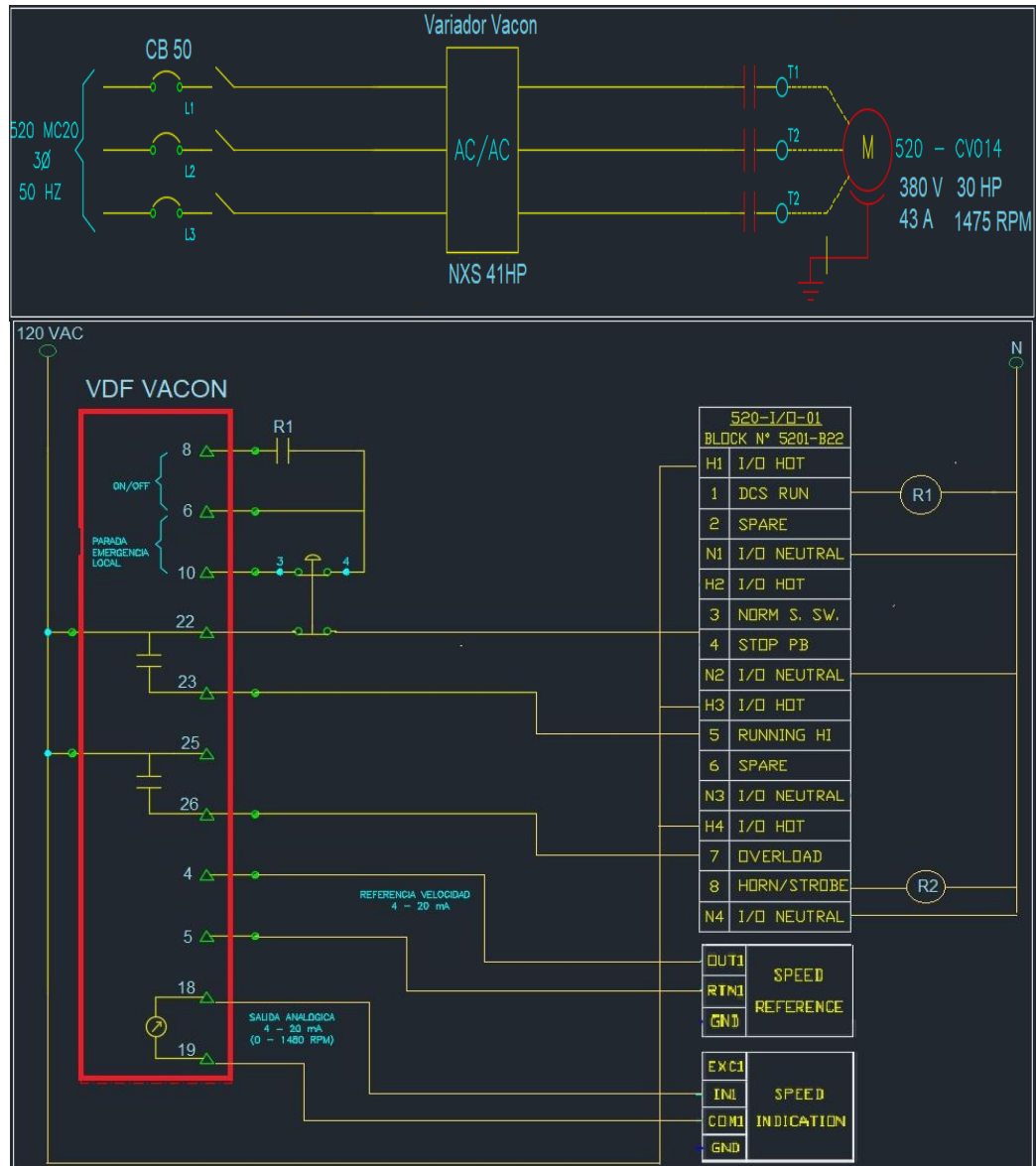
Tamaño de la carcasa	Tipo de convertidor	Intensidad de entrada I _{Lin} [A]	Sobrecarga					Potencia eje motor			
			Baja *		Alta *		Intensidad máxima I _s 2 s	Red de alimentación 400 V		Red de alimentación 480 V	
			Intensidad continua I _L [A]	10% intensidad de sobrecarga [A]	Intensidad continua I _H [A]	50% intensidad de sobrecarga [A]		10% sobrecarga 40 °C [104°F] [kW]	50% sobrecarga 50 °C [122°F] [kW]	10% sobrecarga 40 °C [104°F] [hp]	50% sobrecarga 50 °C [122°F] [hp]
FR4	0003*	3.3	3.3	3.6	2.2	3.3	4.4	1.1	0.75	2	1.5
	0004	4.3	4.3	4.7	3.3	5	6.6	1.5	1.1	3	2
	0005	5.6	5.6	6.2	4.3	6.5	8.6	2.2	1.5	4	3
	0007	7.6	7.6	8.4	5.6	8.4	11.2	3	2.2	5	4
	0009	9	9	9.9	7.6	11.4	15.2	4	3	7.5	5
	0012	12	12	13.2	9	13.5	18	5.5	4	10	7.5
FR5	0016	16	16	17.6	12	18	24	7.5	5.5	13	10
	0022	23	23	25.3	16	24	32	11	7.5	20	13
	0031	31	31	34	23	35	44	15	11	25	20
FR6	0038	38	38	42	31	47	62	18.5	15	30	25
	0045	46	46	49.5	38	57	76	22	18.5	40	30
	0061	61	61	67	46	69	92	30	22	50	40
FR7	0072	72	72	79	61	92	122	37	30	60	50
	0087	87	87	96	72	108	144	45	37	75	60
	0105	105	105	116	87	131	174	55	45	90	75
FR8	0140	140	140	154	105	158	210	75	55	125	90
	0168	170	170	187	140	210	280	90	75	150	125
	0205	205	205	226	170	255	340	110	90	175	150
FR9	0261	261	261	287.1	205	308	410	132	110	200	175

Fuente: <https://files.danfoss.com/download/Drives/Vacon-NXS-NXP-User-Manual-DPD01220F-ES.pdf>

3.5.3. Diagrama Eléctrico de Fuerza y Control

El diagrama muestra el circuito eléctrico del trabajo de titulación y define el conexionado del VDF tanto del sistema de fuerza como de control. A través de la Figura 3.4 se muestra diagrama eléctrico.

Figura 3.4. Diagrama eléctrico de fuerza y control.



Fuente: Minera Candelaria.

3.5.4. Montaje del VDF

El variador se monta en posición vertical para asegurar una refrigeración óptima, además no deben quedar obstruidas las aberturas de ventilación, para esto hay que dejar por lo menos 100 mm de separación por encima y por debajo del equipo. A través de la Figura 3.5 se muestra el montaje del equipo. El variador debe conectarse siempre a la tierra de protección, si no está correctamente conectado a tierra pueden presentarse condiciones extremadamente peligrosas que pueden ser potencialmente fatales (ver anexo B).

Figura 3.5. Montaje del VDF.

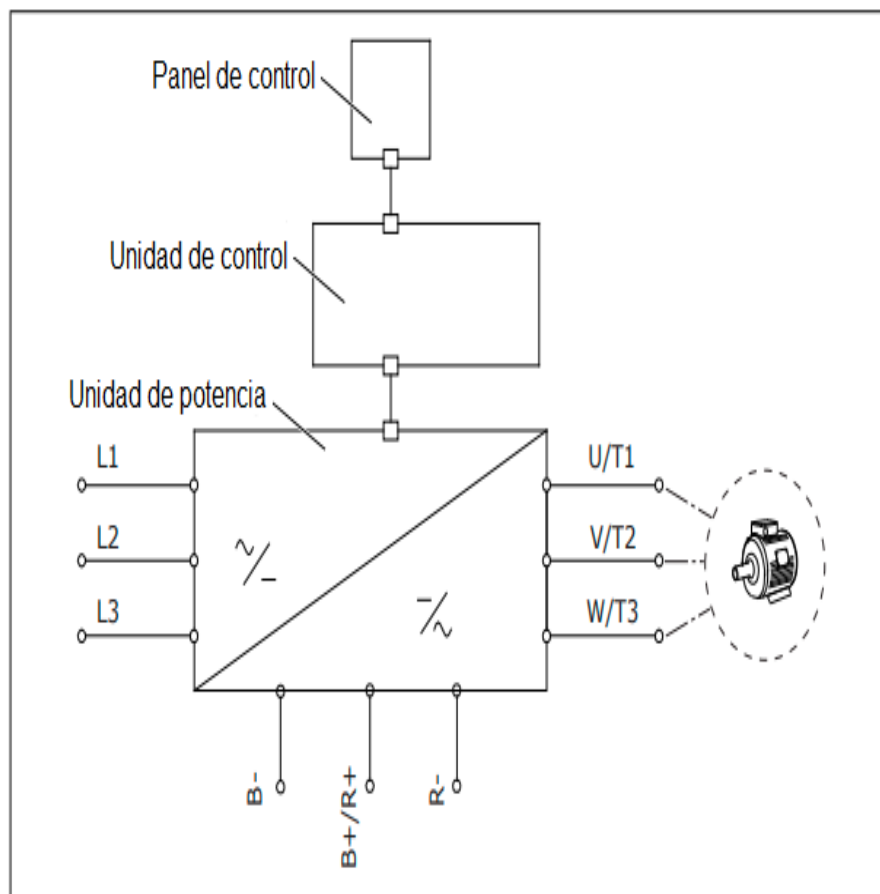


Fuente: Elaboración propia.

3.5.5. Cableado de Alimentación

Los cables de la Red se conectan a los terminales L1, L2, L3 y los cables del motor se conectan a los terminales U, V y W. Para seleccionar la sección del conductor hay que tener en cuenta la corriente nominal de salida del Variador. Para este caso el calibre de los conductores es de 6 AWG. A través de la Figura 3.6 se muestra el cableado de alimentación [6].

Figura 3.6. Cableado de alimentación.



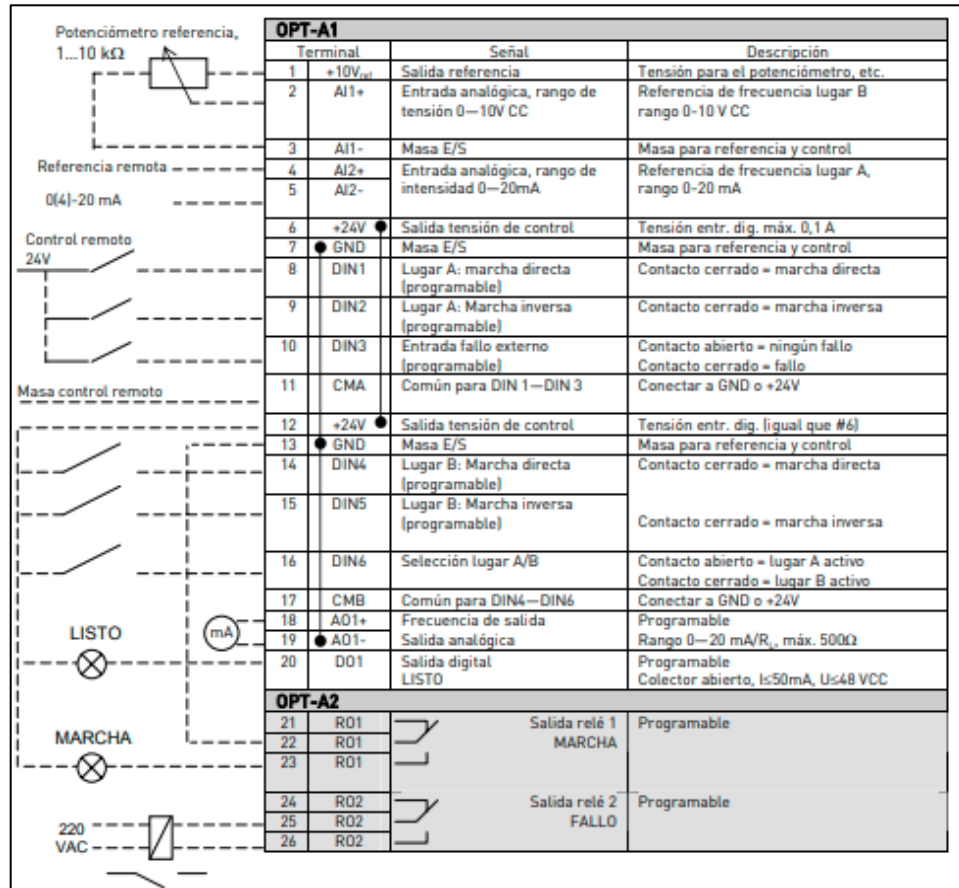
Fuente: [https://files.danfoss.com/download/Drives/Vacon-NXS-NXP-User-Manual-](https://files.danfoss.com/download/Drives/Vacon-NXS-NXP-User-Manual-DPD01220F-ES.pdf)

[DPD01220F-ES.pdf](https://files.danfoss.com/download/Drives/Vacon-NXS-NXP-User-Manual-DPD01220F-ES.pdf)

3.5.6. Cableado de Control

A través de la Figura 3.7 se muestra el diagrama de control, las entradas y salidas tanto analógicas como digitales que son prescindibles para el buen funcionamiento del equipo.

Figura 3.7. Cableado de control.



Fuente: <https://files.danfoss.com/download/Drives/Vacon-NXS-NXP-User-Manual-DPD01220F-ES.pdf>

La tarjeta de control OPT-A1 de la Figura 3.7, se alimenta con una fuente interna de 24 VDC y consta con 20 terminales de control de los cuales se usan 6 para la aplicación básica.

- Terminal 4-5 Referencia remota de Frecuencia.
- Terminal 6 Salita de tensión de control 24 VDC.
- Terminal 8 Marcha directa.
- Terminal 18-19 Frecuencia de salida analógica.

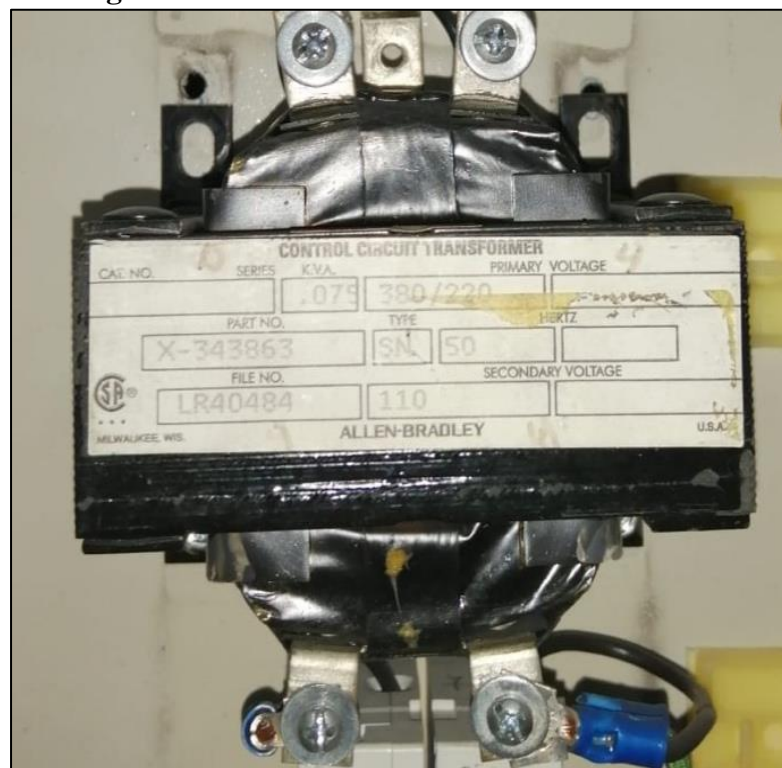
La tarjeta de control OPT-A2 de la figura 3.7, corresponde a los relés de estado, de estos se ocupa un contacto normalmente abierto (NO) y un contacto normalmente cerrado (NC).

- Terminal 22-24 Marcha del equipo (relé 1).
- Terminal 25-26 Falla del VDF (relé 2)

La tensión de la tarjeta es suministrada por un transformador de 380/110 VAC con una capacidad de 0.075 KVA, además suministra tensión al resto del circuito de control. A través de la Figura 3.8 se muestra el transformador de control instalado.

Para el circuito de control se utilizó un conductor de 14 AWG que según el manual es la máxima sección permitida.

Figura 3.8. Muestra del transformador instalado.

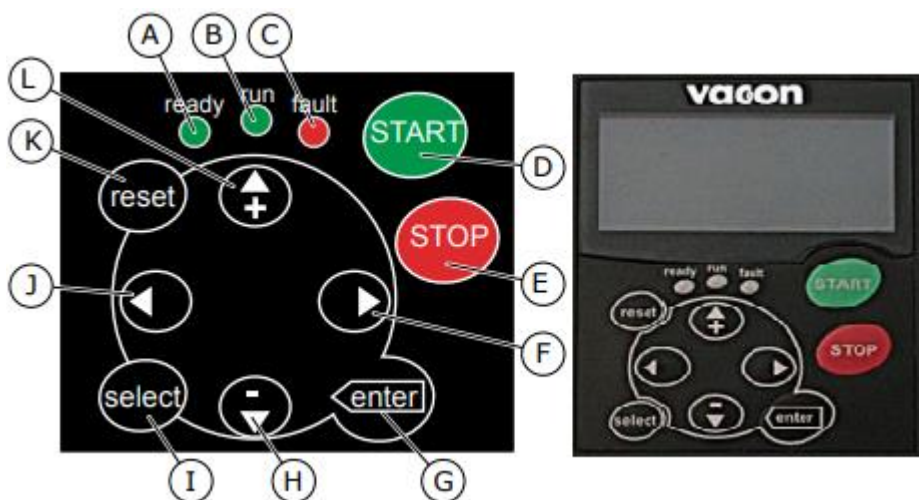


Fuente: Elaboración propia.

3.5.7. Programación del VDF utilizando el panel de control.

Los parámetros se ingresan en el panel de control del Variador de Frecuencia Vacon NXS que es la interfaz entre el variador y el usuario, posee una pantalla de 9 teclas con las que se puede controlar el variador, el motor y supervisar los valores actuales. A través de la Figura 3.9 se muestra el panel de control Vacon.

Figura 3.9. Panel de control VDF.



Fuente: <https://files.danfoss.com/download/Drives/Vacon-NXS-NXP-User-Manual-DPD01220F-ES.pdf>

Descripción:

- A) Led indicador del estado del variador.
- B) Led indicador de marcha, parpadea cuando el equipo se está deteniendo.
- C) Led indicador de falla.
- D) Botón de partida (cuando se selecciona controlar desde el panel), según programación.
- E) Botón de parada (cuando se selecciona controlar desde el panel), según programación.
- F) El botón se utiliza para desplazarse por el menú hacia la derecha y para acceder al modo de edición.
- G) El botón enter se utiliza para aceptar una selección, reestablecer el historial de fallas.
- H) El botón se utiliza para desplazarse por el menú principal, sub-menús hacia abajo y reducir un valor.
- I) El botón de selección se utiliza para desplazarse en las dos últimas pantallas.

J) El botón se utiliza para desplazarse por el menú hacia la izquierda y a hacia atrás en el menú.

K) El botón reset se utiliza para resetear fallas.

L) El botón se utiliza para desplazarse hacia arriba por el menú principal, sub-menús y para aumentar un valor.

El variador de frecuencia cuenta con siete aplicaciones por defecto que se pueden utilizar según las necesidades del trabajo de titulación:

- 1) Aplicación básica.
- 2) Aplicación estándar.
- 3) Aplicación Local/Remoto.
- 4) Aplicación control velocidad múltiple.
- 5) Aplicación control PID.
- 6) Aplicación control multipropósito.
- 7) Aplicación control de bombas y ventiladores.

El principal objetivo es proteger al motor de altas corrientes en cada arranque y adicionalmente controlar la velocidad, por lo que se inclinó por la Aplicación Básica que es una aplicación sencilla, pero a la vez cuenta con los ajustes necesarios para obtener buenos resultados en el control del motor de la correa transportadora.

La Aplicación Básica cuenta con un grupo de valores de monitorización que son valores actuales de los parámetros y señales, así como los estados y las mediciones. Los valores de monitorización no son editables. A través de la Tabla 3.2 se muestran los valores de monitorización.

Tabla 3.2. Valores de monitorización.

Cód.	Parámetro	Ud.	ID	Descripción
V1.1	Frecuencia de salida	Hz	1	Frecuencia de salida a motor
V1.2	Referencia de frecuencia	Hz	25	Referencia de frecuencia al control del motor
V1.3	Velocidad del motor	rpm	2	Velocidad del motor en rpm
V1.4	Intensidad motor	A	3	
V1.5	Par motor	%	4	Par en árbol calculado
V1.6	Potencia motor	%	5	Potencia eje motor
V1.7	Tensión motor	V	6	
V1.8	Tensión enlace CC	V	7	
V1.9	Temperatura unidad	°C	8	Temperatura del refrigerador
V1.10	Temperatura motor	%	9	Temperatura calculada del motor
V1.11	Entrada de tensión	V	13	AI1
V1.12	Entrada de intensidad	mA	14	AI2
V1.13	DIN1, DIN2, DIN3		15	Estados de entrada digital
V1.14	DIN4, DIN5, DIN6		16	Estados de entrada digital
V1.15	DO1, RO1, RO2		17	Estados de salida digital y relé
V1.16	I _{out} analógica	mA	26	A01

Fuente: <https://files.danfoss.com/download/Drives/Vacon-NXS-NXP-User-Manual-DPD01220F-ES.pdf>

3.5.8. Ajuste de Parámetros

Para realizar la parametrización del motor se ingresan al variador los datos descritos en la placa de características del motor.

- Tensión nominal del motor.
- Intensidad nominal del motor.
- Velocidad (rpm)
- Factor de Potencia.
- Factor de servicio.

Luego se ajustan los parámetros de control del variador y motor.

Variador

- Referencia de frecuencia.
- Salida analógica.
- Optimización V/F.
- Terminal de control E/S.

Motor

- Frecuencia mínima.
- Frecuencia Máxima.
- Tiempo aceleración y desaceleración.
- Tipo de marcha y tipo de paro.

A través de la Tabla 3.3 se muestra los parámetros que se deben programar según los datos del motor y según la lógica de control, como la correa transportadora trabaja en modo remoto y en conjunto con otros equipos se debe ajustar a esta necesidad.

Tabla 3.3. Muestra parámetros ajustables.

Código	Parámetro	Mín	Máx	Ud.	Por defecto	Cti.	ID	Nota
P2.1	Frecuenc. mín.	0,00	Par. 2.2	Hz	0,00		101	
P2.2	Frecuencia máx	Par. 2.1	320,00	Hz	50,00		102	NOTA: Si $f_{máx} >$ que la velocidad sincr. motor, compr. que tanto el motor como el sistema lo permiten
P2.3	Tiempo acele1	0,1	3000,0	s	3,0		103	
P2.4	Tiempo deceleración 1	0,1	3000,0	s	3,0		104	
P2.5	Límite intensidad	$0,1 \times I_H$	$2 \times I_H$	A	I_L		107	
P2.6	Tensión nominal del motor	180	690	V	NX2: 230V NX5: 400V NX6: 690V		110	Ver la placa de características del motor
P2.7	Frecuencia nominal motor	8,00	320,00	Hz	50,00		111	Ver la placa de características del motor
P2.8	Velocidad nominal motor	24	20 000	rpm	1440		112	Ver placa de características motor. Valor por defecto para motor de cuatro polos y convertidor de frecuencia de potencia nominal.
P2.9	Intensidad nominal del motor	$0,1 \times I_H$	$2 \times I_H$	A	I_H		113	Ver la placa de características del motor.
P2.10	Cos phi del motor	0,30	1,00		0,85		120	Ver la placa de características del motor
P2.11	Tipo marcha	0	1		0		505	0 =Rampa 1 =Marcha motor girando
P2.12	Tipo paro	0	3		0		506	0 =Libre 1 =Rampa 2 =Rampa + Libre permiso marcha 3 =Libre + Rampa permiso marcha
P2.13	Optimización U/f	0	1		0		109	0 =No se usa 1 =Sobrepasar automático
P2.14	Referencia E/S	0	3		0		117	0 =AI1 1 =AI2 2 =Panel 3 =Fieldbus
P2.15	Ajuste referencia intensidad	0	1		1		302	0 = Ningún ajuste 1 = Ajuste 4mA – 20 mA
P2.16	Contenido salida analógica	0	8		1		307	0 =No se usa 1 =Frec. salida ($0-f_{máx}$) 2 =Referencia frec. ($0-f_{máx}$) 3 =Velocidad del motor ($0-Velocid. nominal motor$) 4 =Intens. salida ($0-I_{nMotor}$) 5 =Par motor ($0-T_{nMotor}$) 6 =Potencia mo. ($0-P_{nMotor}$) 7 =Tensión mot. ($0-U_{nMotor}$) 8 =Tensión enlace CC ($0-1000V$)
P3.1	Lugar de control	1	3		1		125	1 =Terminales E/S 2 =Panel 3 =Fieldbus
R3.2	Referencia de panel	Par. 2.1	Par. 2.2	Hz				
P3.3	Dirección [en e. panel]	0	1		0		123	Petición de inversión activada desde el panel
R3.4	Pulsador de Paro	0	1		1		114	0 =Función limitada del pulsador de Paro 1 =Pulsador de Paro siempre activado

Fuente: <https://files.danfoss.com/download/Drives/Vacon-NXS-NXP-User-Manual->

DPD01220F-ES.pdf

A través de la Tabla 3.4. Se muestran los datos y ajustes de parámetros del VDF.

Tabla 3.4. Datos y ajustes del VDF.

Datos Placa del Motor		
Marca: Weg.	Frame: 324/T	FS: 115%.
In: 43 A	Voltaje: 380 V	Potencia: 30 HP (22 kw)
RPM: 1475	FP: 0,84	
Ajuste de los parámetros:		
P 2.1 = 25 HZ.	Frecuencia mínima.	
P 2.2 = 50 HZ.	Frecuencia máxima.	
P 2.3 = 3 seg.	Tiempo de aceleración.	
P 2.4 = 3 seg.	Tiempo de desaceleración.	
P 2.5 = 49 A.	Intensidad máxima (factor de servicio 115%).	
P 2.6 = 380 V.	Voltaje nominal.	
P 2.7 = 50 HZ.	Frecuencia nominal.	
P 2.8 = 1475 RPM.	Velocidad nominal.	
P 2.9 = 43 A.	Intensidad nominal.	
P 2.10 = 0,84.	Factor de potencia.	
P 2.11 = 1	Tipo de Marcha (Rampa).	
P 2.12 = 1	Tipo de Paro (Rampa)	
P 2.13 = 1	Optimización V/F (Sobre par automático)	
P 2.14 = 1	Referencia de Velocidad (AI2)	
P 2.16 = 1	Contenido salida analógica	
P 3.1 = 1	Lugar de control.	

Fuente: Elaboración propia.

A través de las Figuras 3.10; 3.11; 3.12 y 3.13 se muestra el panel de control con los siguientes ajustes realizados:

- A través de la figura 3.10 se muestra el voltaje nominal del motor con un valor de 380 volts.

Figura 3.10. Voltaje nominal del motor



Fuente: Elaboración propia

- A través de la figura 3.11 se muestra la intensidad nominal del motor con un valor de 43 amperes.

Figura 3.11. Intensidad nominal de motor.



Fuente: Elaboración propia

- A través de la figura 3.12 se muestra el Límite de Intensidad máxima que permite aplicar al motor con un valor de 48 amperes.

Figura 3.12. Límite de Intensidad.



Fuente: Elaboración propia.

- A través de la figura 3.13 se muestra la Frecuencia nominal del motor con un valor de 50 Hz.

Figura 3.13. Frecuencia nominal del motor.

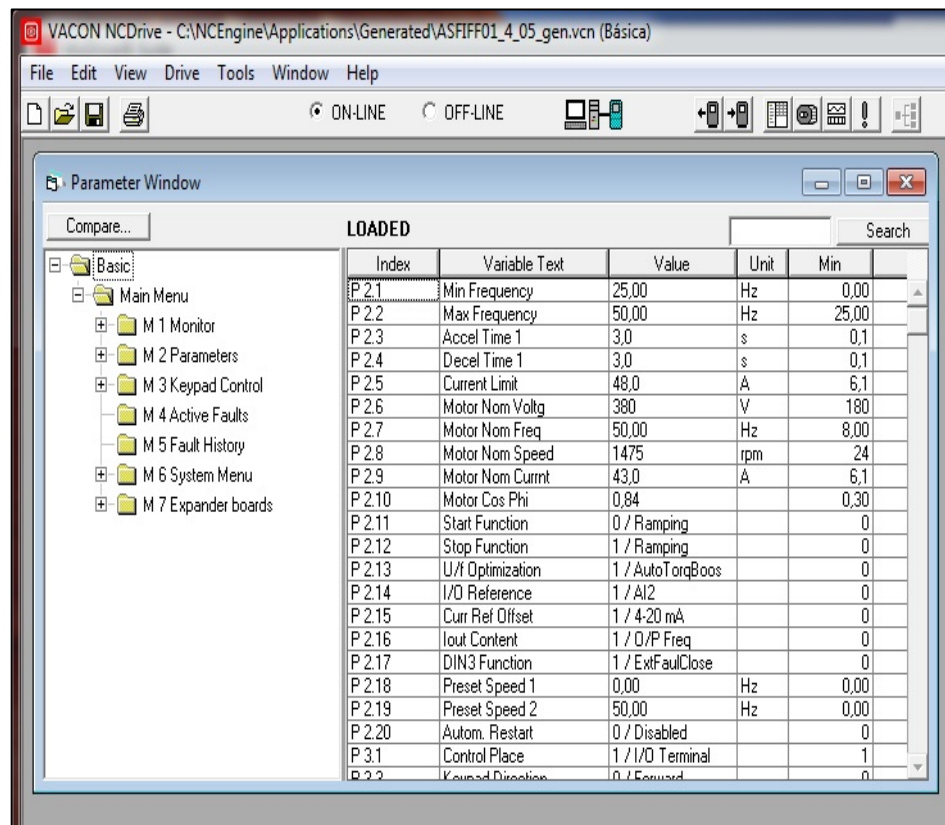


Fuente: Elaboración propia

3.5.9. Programación del VDF utilizando el software VACON NC Driver

Los parámetros se ingresan por medio del software VACON NC Driver, esta es una herramienta que se utiliza para la puesta en servicio, parametrización, supervisión y diagnóstico de los variadores de frecuencia Vacon. A través de la Figura 3.14 se muestran los parámetros ajustables en la carpeta M 2.

Figura 3.14. Paquete de Parámetros.



Index	Variable Text	Value	Unit	Min
P 2.1	Min Frequency	25,00	Hz	0,00
P 2.2	Max Frequency	50,00	Hz	25,00
P 2.3	Accel Time 1	3,0	s	0,1
P 2.4	Decel Time 1	3,0	s	0,1
P 2.5	Current Limit	48,0	A	6,1
P 2.6	Motor Nom Voltg	380	V	180
P 2.7	Motor Nom Freq	50,00	Hz	8,00
P 2.8	Motor Nom Speed	1475	rpm	24
P 2.9	Motor Nom Currnt	43,0	A	6,1
P 2.10	Motor Cos Phi	0,84		0,30
P 2.11	Start Function	0 / Ramping		0
P 2.12	Stop Function	1 / Ramping		0
P 2.13	U/f Optimization	1 / AutoTorqBoos		0
P 2.14	I/O Reference	1 / AI2		0
P 2.15	Curr Ref Offset	1 / 4-20 mA		0
P 2.16	Iout Content	1 / O/P Freq		0
P 2.17	DIN3 Function	1 / ExtFaulClose		0
P 2.18	Preset Speed 1	0,00	Hz	0,00
P 2.19	Preset Speed 2	50,00	Hz	0,00
P 2.20	Autom. Restart	0 / Disabled		0
P 3.1	Control Place	1 / I/O Terminal		1
P 3.2	Keypad Direction	0 / Forward		0

Fuente: Software VACON NC Driver.

El software permite monitorear, graficar y comparar las diferentes tipos de variables en tiempo real (véase la Tabla 3.2 de variables), con la ayuda de esta herramienta es posible realizar diagnósticos más exactos en caso de cualquier avería que se presente durante su periodo de funcionamiento. A continuación, la Figura 3.12 muestra la corriente de funcionamiento del motor de la correa 14 en tiempo real.

La comunicación del Variador de frecuencia y el PG se establece con un interfaz RS 232 que permite el flujo de datos entre ambos equipos, en caso de un PC es necesario disponer de un adaptador USB a RS 232 para establecer la comunicación.

3.5.10. Protecciones de la Instalación

Durante el funcionamiento de los motores eléctricos pueden ocurrir diversas alteraciones del régimen normal trabajo. Las causas más comunes de régimen anormales del motor son sobrecargas y cortocircuitos, estas alteraciones pueden provocar daños permanentes al equipo o instalación. La protección es el dispositivo encargado de desenergizar el circuito cuando se alteran las condiciones normales de funcionamiento y así proteger el sistema.

3.5.11. Ajuste de la Protección de Fuerza

La capacidad del disyuntor del circuito de fuerza se determina por la intensidad nominal y factor de servicio del motor. Considerando la corriente nominal de 43 amperes y el factor de servicio de 115% se obtiene una capacidad máxima de 50 amperes. A través de la Figura 3.15 se muestra la intensidad nominal del disyuntor.

Figura 3.15. Disyuntor.

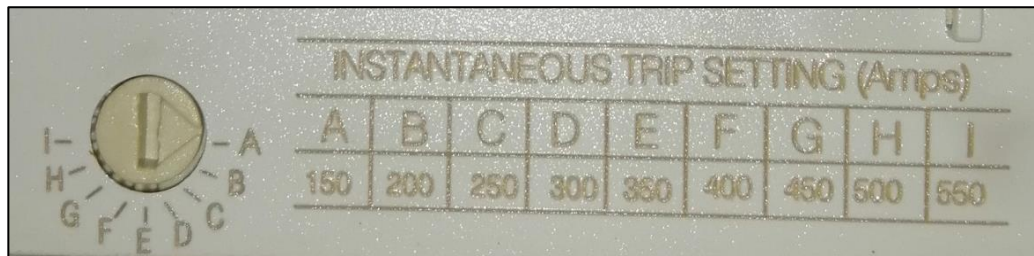


Fuente: Elaboración propia.

La curva de partida está determinada por la corriente máxima que está programado el variador en el parámetro P 2.5 que corresponde a 49 Amperes.

Por lo tanto, se debe ajustar al valor mínimo indicado en las especificaciones del disyuntor tal como lo muestra la Figura 3.16 que corresponde a las especificaciones técnicas de las curvas de ajuste. Cada letra mayúscula presente en la tabla de la Figura 3.12 corresponde a las curvas proporcionadas por el fabricante, además se muestra el valor de corriente para cada una de ellas. Para este circuito la curva A es el ajuste ideal.

Figura 3.16. Ajuste y setting de cada curva.



Fuente: Elaboración propia.

3.5.12. Puesta en Servicio del Variador de Frecuencia

Para la puesta en servicio se tomaron todas las medidas de control en conjunto con la jefatura, personal de mantenimiento y personal de operaciones. Se inicia el proceso considerando lo siguiente.

- Verificar la conexión a tierra del variador y el motor.
- Los terminales U, V y W tienen energía cuando el equipo está conectado a la red.
- La tarjeta de control está aislada de la red, sin embargo, la tarjeta de relé tiene tensión peligrosa de 120 vac.
- Antes de conectar el equipo a la red debe comprobar que la cubierta frontal del variador esté instalada.
- No realizar conexiones cuando el equipo esté conectado a la red.
- Después de desconectar el variador de la red se debe esperar que el ventilador se detenga y el panel de control se apague.

Luego de estas recordaciones se procede a la puesta en servicio del variador.

- Paso 1 Avisar a la sala de control que se realizarán pruebas.
- Paso 2 Desacoplar el motor del sistema de transmisión.
- Paso 3 Verificar el cableado de fuerza y de control de la instalación.
- Paso 4 Energizar el variador.
- Paso 5 Chequear la programación.
- Paso 6 Realizar pruebas en modo local.
- Paso 7 Verificar giro del motor.
- Paso 8 Realizar pruebas en modo remoto.
- Paso 9 Verificar las señales de estado del equipo.
- Paso 10 Verificar que estén operativo los sistemas de seguridad.

- Paso 11 Detener, desenergizar y acoplar el motor, luego energizar.
- Paso 12 Realizar inspección visual de la correa transportadora.
- Paso 13 Antes de realizar la prueba con el motor acoplado, asegurarse que se pueda llevar a cabo de modo seguro.
- Paso 14 Repetir las pruebas local/remoto.
- Paso 15 Repetir el paso 10.
- Paso 16 Tomar datos de variables del variador y motor.
- Paso 17 Si todas las pruebas fueron satisfactorias entregar el equipo a operaciones.

CAPÍTULO N°4. ANÁLISIS Y RESULTADOS

En el presente capítulo muestra los resultados del trabajo de título en base a la metodología aplicada y los costos que se involucrarán en su implementación, además de las respectivas conclusiones, en materia del ahorro de costo obtenido.

4.1. Arranques Eficientes

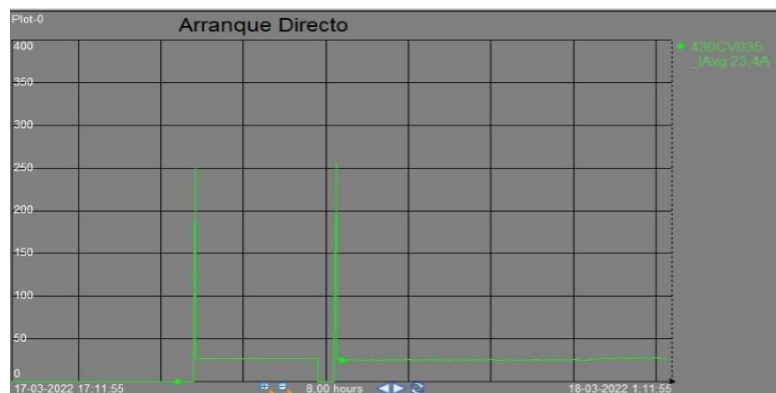
Ya implementado el trabajo de titulación y por medio de la función PI Visión se muestran las gráficas en las Figuras 4.1 y 4.2 donde se evidencia el comportamiento de las magnitud física de corriente v/s tiempo en el proceso de arranque del motor de la correa transportadora número 14 y otra correa transportadora, la cual tiene un motor de similares características pero que su metodología es arranque directo.

Figura 4.1. Corriente de arranque con VDF.



Fuente: Sistema de monitoreo PI Visión de Minera Candelaria.

Figura 4.2. Corriente de arranque directo.



Fuente: Sistema de monitoreo PI Visión de Minera Candelaria.

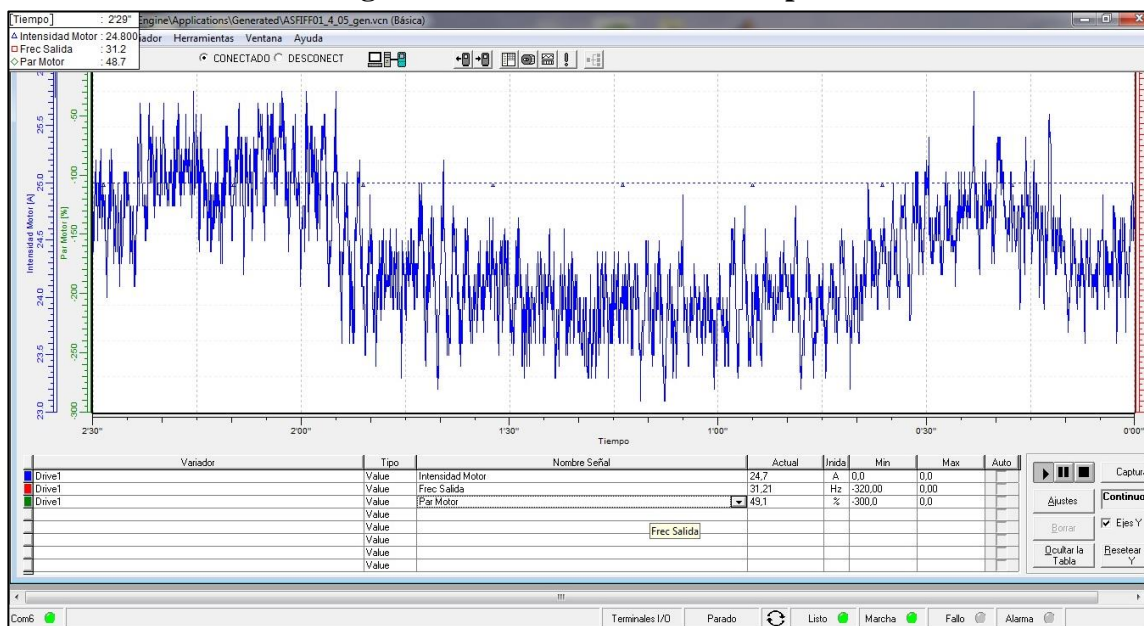
Como se observa en la gráfica de la Figura 4.1 la corriente de arranque no sufre ningún Peak, aumenta progresivamente hasta llegar a estabilizarse a su valor nominal de operación, por el contrario la gráfica de la Figura 4.2 la corriente de arranque sobrepasa

considerablemente los valores nominales de operación, esto demuestra que el arranque del motor con el variador de frecuencia es el método más eficiente ya que no se crean Peak de corriente que generan perturbaciones en la red y por otra parte los arranques son más controlados evitando golpes, desgastes al motor y a los componentes mecánicos.

4.2. Diagnósticos más certeros.

El software VACON NC Driver permite monitorear, graficar y comparar las diferentes tipos de variables en tiempo real (véase la Tabla 3.2 de variables), con la ayuda de esta herramienta es posible realizar diagnósticos más exactos en caso de cualquier avería que se presente durante su periodo de funcionamiento. A través de la Figura 4.3 se muestra la corriente de funcionamiento del motor de la correa 14 en tiempo real.

Figura 4.3. Corriente versus tiempo.

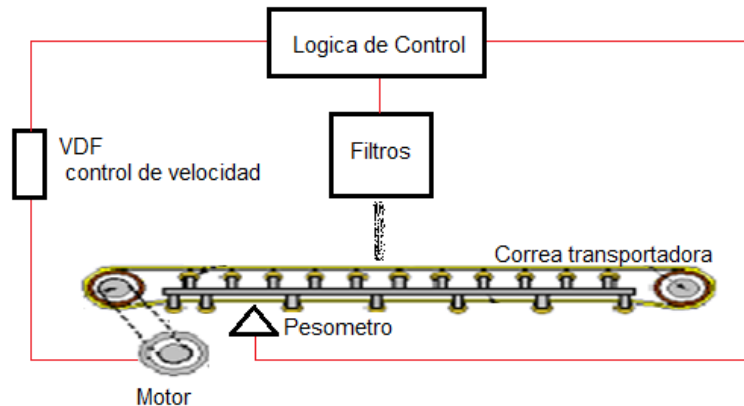


Fuente: Software VACON NC Driver.

4.3. Aporte Operacional

En el ámbito operacional a través de la implementación del variador de frecuencia se consigue finalmente una lógica que controla la velocidad de la correa transportadora en función de la cantidad de filtros operativos. Esto permite que la cantidad de concentrado que se deposita en la correa sea más estable permitiendo que el pesómetro trabaje con mayor precisión, además se reducen las detenciones para realizar inventario producto de las lecturas más exactas en el pesómetro. A través de la Figura 4.4 se muestra el diagrama lógico de control.

Figura 4.4. Diagrama lógico de control



Fuente: Elaboración propia.

4.4. Aporte a la Producción

Este trabajo ha sido un aporte importante para mantener las metas de producción de Minera Candelaria, cada mes la Planta de Filtrado produce un promedio de 42.000 toneladas de concentrado de cobre con una ley de 30% lo cual se traduce a 12.600 toneladas de cobre fino vendible.

4.5. Detalles de Producción

A continuación se mencionan los detalles de producción de la Planta de filtrado:

- Promedio de producción de concentrado de cobre al mes 42.000 t.
- Promedio ley de concentrado de cobre 30%
- Toneladas de cobre fino vendible al mes $42.000t \times 0,3 = 12.600 t$.
- Toneladas de cobre fino vendible por día $12.600t/30días = 420 t$.
- Producción de cobre fino vendible $420t/24h = 17,5 t/h$.

Por lo tanto por cada hora de detención de la correa transportadora se estaría dejando de producir un promedio de 17,5 toneladas de cobre fino vendible. Sin embargo las detenciones por falla producto de arranques reiterados se han eliminado y la disponibilidad del sistema de transmisión ha aumentado prácticamente al 100%.

4.6. Costos de Implementación de la Solución.

Para el desarrollo de la solución se escogieron los equipos que están disponible en forma inmediata en la bodega de materiales de Minera Candelaria, además de personal propio de la empresa quien realiza los cálculos de los equipos a instalar y los planos

asociados a la instalación, cabe señalar que solo se reemplazó la metodología de arranque del motor de la correa transportadora por lo cual se utilizó el mismo motor marca WEG y sus componentes asociados a su instalación.

Según el estudio de mercado y las cotizaciones realizadas a los proveedores los costos asociados a la implementación del variador se muestran en la Tabla 4.1.

Tabla 4.1. Costos del trabajo de titulación.

N°	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unidad	Total (M\$)
1	Variador de Frecuencia Vacon 30kw/41HP	1	1	5.429.900	\$5.430
2	Interruptor termomagnético A-B 140MG-H8P-C50	1	1	826.000	\$826
3	Armario Tekpan 800x2000 mm IP55	1	1	491.324	\$491
4	H/H Personal Compañía	2	24	7.850	\$377
Total					\$7.124

Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO N°5. CONCLUSIONES

La correa transportadora es un elemento importante dentro de la empresa, la mayoría de sus componentes son robustos y bien definidos a acepción de su sistema de transmisión, por lo mismo el trabajo de mejoramiento cumplió con los procedimientos y cuidados pertinentes para ejecutar la terea de forma segura y eficaz.

El presente trabajo de título pone en práctica la instalación de un nuevo sistema de arranque de la correa número 14 de Minera Candelaria, el sistema incorpora un Variador de Frecuencia Vacon nxs que permite reducir la corriente de arranque del motor de la correa, además proporciona el control de velocidad del equipo.

La implementación del variador de frecuencia posibilita la automatización del sistema productivo por lo cual, la ejecución del proceso de producción torna a ser más eficiente, ya que, es posible obtener un control adecuado para la utilización de las máquinas eléctricas, además permite reducir las fallas en el motor y los componentes asociados a la transmisión debido a partidas y detenciones más suaves, prolongar la vida útil de los equipos y mejorar la disponibilidad.

Con una inversión de 8300 \$USD la Planta de filtrado de Minera Candelaria ahora cuenta con un sistema de arranque más eficiente en la correa transportadora, lo que permite realizar detenciones por inventario sin afectar el sistema de transmisión, adicionalmente ajustando la velocidad de la correa se controla la carga de concentrado traduciéndose en lecturas más exactas en el pesaje.

El desarrollo de este trabajo de titulación me ha permitido poner en práctica todos los conocimientos adquiridos tanto académicamente como a lo largo de mi carrea profesional y durante el desarrollo del mismo he alcanzado un conocimiento más profundo del funcionamiento del Variador de frecuencia Vacon nxs.

Ahora solo queda cumplir con las inspecciones, chequeos y mantenciones a su debido tiempo para que así la instalación cumpla de buena manera su función y ofrezca la mayor disponibilidad posible.

GLOSARIO DE TERMINOS

A: Intensidad.

Ac: corriente alterna.

AWG: diámetro de los conductores eléctricos.

Contactor: aparato eléctrico que funciona como interruptor controlado para mayores potencias que un relé.

Dc : corriente directa.

E/S : Control externo

Hz: frecuencia.

HP: unidad de medida de potencia 1 hp= 746 watts.

IP21: protegido de los cuerpos solidos de más de 12 mm. Protegido contra la caída vertical de gotas de agua.

IP54: protegido contra la penetración de polvo. Protegido contra la proyección de agua.

IGBT: transistor bipolar de compuerta aislada.

KW: Kilowatts.

Potencia: cantidad de energía eléctrica transferida.

Relé: aparato eléctrico que funciona como interruptor controlado.

Rpm: revoluciones por minuto

VDF: Variador de velocidad.

V: voltaje o tensión

v/f : voltaje versus frecuencia.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Página distrito candelaria <https://www.districtocandelaria.cl/distrito/>
- [2] Página distrito candelaria <https://www.districtocandelaria.cl/proceso-productivo/>.
- [3] Página CF Gómez https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/114562/cf-gomez_mh.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- [4] Página Barahona Suazo http://repobib.ubiobio.cl/jspui/bitstream/123456789/3378/1/Barahona_Suazo_Fernando_Ignacio.pdf
- [5] Página Manual Vacon <https://www.rpmecatronica.com/system/storage/download/Manual%20NXS%20NX>
- [6] Página Manual Vacon <https://files.danfoss.com/download/Drives/Vacon-NXS-NXP-User-Manual-DPD01220F-ES.pdf>
- [7] Software VACON NC Driver.
- [8] Sistema de monitoreo PI Visión de Minera Candelaria.

ANEXO A

CARACTERÍSTICAS DEL VARIADOR DE FRECUENCIA VACON NXS

A.1. Tabla de Potencias del VDF

Tensión de red 380—500 V, 50/60 Hz, 3-

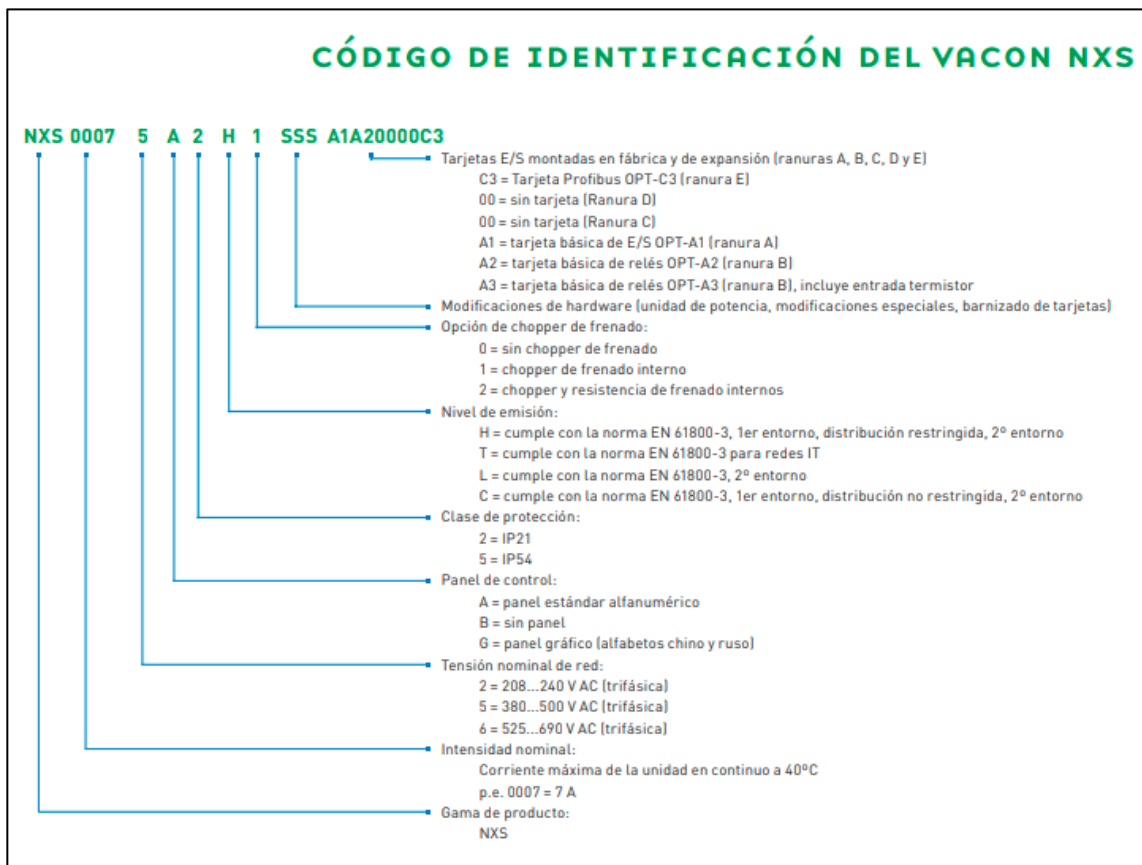
Tipo de variador	Sobrecarga					Potencia de motor en el eje			Talla
	Baja		Alta		Intensidad máxima I_s [A]	Red de 400 V			
	Intensidad nominal en continuo I_L [A]	10% de intensidad de sobrecarga [A]	Intensidad nominal en continuo I_H [A]	50% de intensidad de sobrecarga [A]		10% sobrecarga 40°C P [kW]	50% sobrecarga 50°C P [kW]		
NXS 0003 5 A 2 H 1	3,3	3,6	2,2	3,3	4,4	1,1	0,75	FR4	
NXS 0004 5 A 2 H 1	4,3	4,7	3,3	5,0	6,2	1,5	1,1	FR4	
NXS 0005 5 A 2 H 1	5,6	6,2	4,3	6,5	8,6	2,2	1,5	FR4	
NXS 0007 5 A 2 H 1	7,6	8,4	5,6	8,4	10,8	3	2,2	FR4	
NXS 0009 5 A 2 H 1	9	9,9	7,6	11,4	14	4	3	FR4	
NXS 0012 5 A 2 H 1	12	13,2	9	13,5	18	5,5	4	FR4	
NXS 0016 5 A 2 H 1	16	17,6	12	18,0	24	7,5	5,5	FR5	
NXS 0022 5 A 2 H 1	23	25,3	16	24,0	32	11	7,5	FR5	
NXS 0031 5 A 2 H 1	31	34	23	35	46	15	11	FR5	
NXS 0038 5 A 2 H 1	38	42	31	47	62	18,5	15	FR6	
NXS 0045 5 A 2 H 1	46	51	38	57	76	22	18,5	FR6	
NXS 0061 5 A 2 H 1	61	67	46	69	92	30	22	FR6	
NXS 0072 5 A 2 H 0	72	79	61	92	122	37	30	FR7	
NXS 0087 5 A 2 H 0	87	96	72	108	144	45	37	FR7	
NXS 0105 5 A 2 H 0	105	116	87	131	174	55	45	FR7	
NXS 0140 5 A 2 H 0	140	154	105	158	210	75	55	FR8	
NXS 0168 5 A 2 H 0	170	187	140	210	280	90	75	FR8	
NXS 0205 5 A 2 H 0	205	226	170	255	336	110	90	FR8	
NXS 0261 5 A 2 H 0	261	287	205	308	349	132	110	FR9	
NXS 0300 5 A 2 H 0	300	330	245	368	444	160	132	FR9	

A.2. Dimensiones del VDF

Mains voltage 380—500 V, 50/60 Hz, 3-, Wall-mounted units


AC drive type	Loadability					Motor shaft power			Frame size	Dimensions W*H*D (mm)
	Low (+40°C)		High (+50°C)		Maximum current I_s	400 V supply				
	Rated continuous current I_L [A]	10% overload current [A]	Rated continuous current I_H [A]	50% overload current [A]		10% overL. P [kW]	50% overL. P [kW]			
NXS 0003 5 A 2 H 1 SSS	3.3	3.6	2.2	3.3	4.4	1.1	0.75	FR4	128*292*190	
NXS 0004 5 A 2 H 1 SSS	4.3	4.7	3.3	5.0	6.2	1.5	1.1	FR4	128*292*190	
NXS 0005 5 A 2 H 1 SSS	5.6	6.2	4.3	6.5	8.6	2.2	1.5	FR4	128*292*190	
NXS 0007 5 A 2 H 1 SSS	7.6	8.4	5.6	8.4	10.8	3	2.2	FR4	128*292*190	
NXS 0009 5 A 2 H 1 SSS	9	9.9	7.6	11.4	14	4	3	FR4	128*292*190	
NXS 0012 5 A 2 H 1 SSS	12	13.2	9	13.5	18	5.5	4	FR4	128*292*190	
NXS 0016 5 A 2 H 1 SSS	16	17.6	12	18.0	24	7.5	5.5	FR5	144*391*214	
NXS 0022 5 A 2 H 1 SSS	23	25.3	16	24.0	32	11	7.5	FR5	144*391*214	
NXS 0031 5 A 2 H 1 SSS	31	34	23	35	46	15	11	FR5	144*391*214	
NXS 0038 5 A 2 H 1 SSS	38	42	31	47	62	18.5	15	FR6	195*519*237	
NXS 0045 5 A 2 H 1 SSS	46	51	38	57	76	22	18.5	FR6	195*519*237	
NXS 0061 5 A 2 H 1 SSS	61	67	46	69	92	30	22	FR6	195*519*237	
NXS 0072 5 A 2 H 0 SSS	72	79	61	92	122	37	30	FR7	237*591*257	
NXS 0087 5 A 2 H 0 SSS	87	96	72	108	144	45	37	FR7	237*591*257	
NXS 0105 5 A 2 H 0 SSS	105	116	87	131	174	55	45	FR7	237*591*257	
NXS 0140 5 A 2 H 0 SSS	140	154	105	158	210	75	55	FR8	291*758*344	
NXS 0168 5 A 2 H 0 SSS	170	187	140	210	280	90	75	FR8	291*758*344	
NXS 0205 5 A 2 H 0 SSS	205	226	170	255	336	110	90	FR8	291*758*344	
NXS 0261 5 A 2 H 0 SSF	261	287	205	308	349	132	110	FR9	480*1150*362	
NXS 0300 5 A 2 H 0 SSF	300	330	245	368	444	160	132	FR9	480*1150*362	

A.3. Códigos de Identificación del VDF




ANEXO B DISYUNTOR

B.1. Montaje del Disyuntor


Allen-Bradley
Bul. 140G/140MG

DIR 1000719R0001 Version 02 - 140G-G_ ; 140MG-G_

Installation instruction for 140G-G, 140MG-G
Istruzioni di installazione
Installationsanleitung
Instructions pour l'installation
Instrucciones de instalación


**Installation - Installazione - Instalación
Instalação - 取付け方法 - 安裝**

WARNING: To prevent electrical shock, disconnect from power source before installing or servicing. Install in suitable enclosure. Keep free from contaminants. (Follow NFPA70E requirements).

AVVERTENZA: Per prevenire infortuni, togliere tensione prima dell'installazione o manutenzione. Installare in custodia idonea. Tenere lontano da contaminanti. (Seguire i requisiti NFPA70E).

WARNUNG: Vor Installations- oder Servicearbeiten Stromversorgung zur Vermeidung von elektrischen Unfällen trennen. Die Geräte müssen in einem passenden Gehäuse eingebaut und gegen Verschmutzung geschützt werden. (Befolgen Sie die Anforderungen nach NFPA70E).

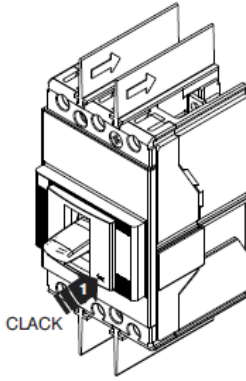
AVERTISSEMENT: Avant le montage et la mise en service, couper l'alimentation secteur pour éviter toute décharge. Prévoir une mise en coffret ou armoire appropriée. Protéger le produit contre les environnements agressifs. (Vous devez respecter la norme NFPA70E).

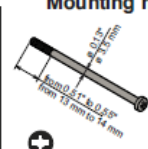


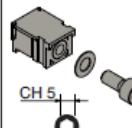
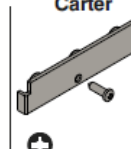

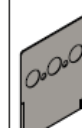

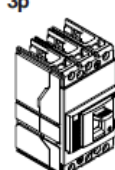
ADVERTENCIA: Desconéctese de la corriente eléctrica, antes de la instalación o del servicio, a fin de impedir sacudidas eléctricas. Instálelo en una caja apropiada. Manténgalo libre de contaminantes. (Cumpla con los requisitos NFPA70E).

ATENÇÃO: Para evitar choques, desconectar da corrente elétrica antes de fazer a instalação ou a manutenção. Instalar em caixa apropriada. Manter livre de contaminantes. (Cumpra as exigências da norma NFPA70E).

警告：感電事故防止のため、取付けまたは修理の際は電源から取り外してください。適切なケース内に取付けてください。また、汚染物質がないことを確認してください。（NFPA70Eの要件に従ってください）

警告：为了防止触电，在安装或维修之前必须先切断电源。安装在合适的设备箱内，防止接触污染物。符合NFPA70E要求）



	Mounting hardware		Phase barrier	End cap kit	Carter	Insulator	Insulator	Side cover														
	 <table border="1" style="margin-top: 5px; font-size: 8px;"> <tr><th>LENGTH</th><th>M</th></tr> <tr><td>73 mm (2.87")</td><td>M4</td></tr> </table>	LENGTH	M	73 mm (2.87")	M4	 <p>CH 7</p> <table border="1" style="margin-top: 5px; font-size: 8px;"> <tr><th>M</th></tr> <tr><td>M4</td></tr> </table>	M	M4		 <table border="1" style="margin-top: 5px; font-size: 8px;"> <tr><th>LENGTH</th><th>M</th></tr> <tr><td>14 mm (0.55")</td><td>M8</td></tr> </table>	LENGTH	M	14 mm (0.55")	M8	 <table border="1" style="margin-top: 5px; font-size: 8px;"> <tr><th>LENGTH</th><th>ø</th></tr> <tr><td>12 mm (0.47")</td><td>3</td></tr> </table>	LENGTH	ø	12 mm (0.47")	3			
LENGTH	M																					
73 mm (2.87")	M4																					
M																						
M4																						
LENGTH	M																					
14 mm (0.55")	M8																					
LENGTH	ø																					
12 mm (0.47")	3																					
 <p>3p</p>	<p>140G-G-MH3</p> <p>x2</p>	<p>x2</p> <p>x2</p>	<p>140G-G-PB3M</p> <p>x4</p>	<p>x6</p>	<p>x2</p>	<p>x2</p>	<p>—</p>	<p>x1</p>														

B.2. Ajustes del Disyuntor

7 140MG-G MAGNETIC ONLY TRIP UNIT

1 CLACK

2 USE FLAT BLADE SCREW DRIVER

- Manually trip the breaker prior to any adjustment of the magnetic trip settings.
- E'obbligatorio mettere l'interruttore in posizione Trip test prima di regolare il termomagnetico.
- Der Leistungsschalter muss vor Einstellung des thermomagnetischen Auslösers zwingend in die Prüfstellung geschaltet werden.
- Il est obligatoire de mettre le disjoncteur en position de Test de Déclenchement avant de régler le déclencheur magnétothermique.
- Es obligatorio situar el interruptor en posición "Test de Disparo" antes de realizar el ajuste del relé termomagnético.

		I3								
In		A	B	C	D	E	F	G	H	I
3	from 4 In to 11 In	12	15	17	20	23	25	28	30	33
7	from 4 In to 11 In	28	34	40	46	53	59	65	71	77
15	from 3 In to 11 In	45	60	75	90	105	120	135	150	165
30	from 3 In to 11 In	90	120	150	180	210	240	270	300	330
50	from 3 In to 11 In	150	200	250	300	350	400	450	500	550
70	from 3 In to 11 In	210	280	350	420	490	560	630	700	770
80	from 3 In to 11 In	240	320	400	480	560	640	720	800	880
100	from 3 In to 11 In	300	400	500	600	700	800	900	1000	1100
125	from 3 In to 11 In	375	500	625	750	875	1000	1125	1250	1375