

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Eléctrica

Tesis

**Impacto de la adaptación de los variadores de
velocidad en la confiabilidad de las perforadoras
Bucyrus 49HR en una compañía minera de tajo
abierto**

Gustavo Henry Cuba Ventura

Para optar el Título Profesional de
Ingeniero Electricista

Arequipa, 2022

Repositorio Institucional Continental
Tesis digital



Esta obra está bajo una Licencia "Creative Commons Atribución 4.0 Internacional" .

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Continental, por haberme brindado a través de su programa profesional, la oportunidad de prepararme para desempeñarme en el campo de la ingeniería.

A la plana docente, de quien recibí las herramientas para construir bases sólidas para el ejercicio profesional. Al personal administrativo por su respuesta oportuna ante cualquier duda del proceso universitario.

A todos aquellos que, con su apoyo, palabras de aliento y confianza, me motivaron a seguir adelante.

DEDICATORIA

A mis amados hijos Christian y Ángel por ser mi fuente de motivación e inspiración para poder superarme cada día más y así poder luchar para que la vida nos depara un futuro mejor.

ÍNDICE

AGRADECIMIENTO.....	ii
DEDICATORIA	iii
RESUMEN.....	ix
ABSTRACT.....	x
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO	2
1.1 PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	2
1.1.1 Planteamiento del problema	2
1.1.2 Formulación del problema	2
1.1.2.1 Problema general.....	2
1.1.2.2 Problemas específicos	3
1.2 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	3
1.2.1 Objetivo general	3
1.2.2 Objetivos específicos.....	3
1.3 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA	3
1.3.1 Justificación técnica	3
1.3.2 Justificación económica	4
1.3.3 Importancia.....	4
1.4 HIPÓTESIS Y DESCRIPCIÓN DE VARIABLES	4
1.4.1 Hipótesis.....	4
1.4.1.1 Hipótesis general	4
1.4.1.2 Hipótesis específicas.	4
1.4.2 Variables e indicadores	5
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.....	6
2.1 ANTECEDENTES DEL PROBLEMA	6
2.1.1 Internacionales	6
2.1.2 Nacionales	7
2.2 BASES TEÓRICAS	7
2.2.1 Variadores de Velocidad	7
2.2.1.1 Variadores de velocidad electrónicos.....	8
2.2.1.2 Módulos de un variador DC	11
2.2.1.3 Variadores 6RA70.....	12

2.2.1.4	Variadores DCS800.....	13
2.2.1.5	Motores DC	13
2.2.2	Confiabilidad.....	24
2.2.2.1	Eventos de falla	25
2.2.2.2	Registro de eventos de falla.....	25
2.2.2.3	Dispatch.....	25
2.2.3	Perforadora Bucyrus 49HR	25
2.3	DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS	35
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA		37
3.1	MÉTODO Y ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN	37
3.1.1	Tipo de Investigación.....	37
3.1.2	Nivel de Investigación.....	37
3.2	DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.....	37
3.3	POBLACIÓN Y MUESTRA	38
3.3.1	Población.....	38
3.3.2	Muestra.....	38
3.4	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	38
3.5	PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	39
CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....		40
4.1	RESULTADOS DEL TRATAMIENTO Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN.....	40
4.1.1	Evaluación de variadores 6RA70.....	40
4.1.1.1	Confiabilidad de los variadores de velocidad 6RA70.....	42
4.1.2	Adaptación del variador de velocidad DCS800	44
4.1.2.1	Pruebas de funcionamiento del DCS800a vs. 6RA70.....	61
4.1.3	Confiabilidad de los variadores DCS800a.....	62
4.1.4	Prueba de hipótesis general	64
4.2	DISCUSIÓN DE RESULTADOS	66
CONCLUSIONES		69
RECOMENDACIONES		70
BIBLIOGRAFÍA.....		71
ANEXOS.....		74

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Operacionalización de las variables.....	5
Tabla 2.	Diseño de la investigación	38
Tabla 3.	Códigos de fallas frecuentes por Subcomponentes de la perforadora.	41
Tabla 4.	Número y tiempo de detenciones, tiempo de operación disponible y confiabilidad a con los variadores 6RA70.....	42
Tabla 5.	Tabla comparativa para el cambio del variador 6RA70	44
Tabla 6.	Evaluación cualitativa de marcas de variadores	45
Tabla 7.	Lista de precios para un variador de rotación o empuje.	46
Tabla 8.	Datos de placa de los motores DC.....	48
Tabla 9.	Prueba de valor de resistencia de motores.....	48
Tabla 10.	Caída de tensión AC en campos.	49
Tabla 11.	Caída de tensión en interpolos con AC.....	49
Tabla 12.	Caída de tensión DC en bobinados de campo.....	50
Tabla 13.	Estándares de funcionamiento del variador de empuje data original.	51
Tabla 14.	Estándares de funcionamiento del variador de rotación	52
Tabla 15.	Selección del variador DCS800.....	53
Tabla 16.	Corrientes en ciclos de sobrecarga.....	54
Tabla 17.	Comparación de corrientes del motor en diferentes ciclos	54
Tabla 18.	Tablero con variador DCS800 marca ABB para rotación y levante/empuje.....	56
Tabla 19.	Estándares de funcionamiento del variador de empuje.	61
Tabla 20.	Estándares de funcionamiento del variador de rotación	62
Tabla 21.	Confiabilidad con los variadores DCS800a periodo 2021.....	63
Tabla 22.	Confiabilidad con los variadores 6RA70 y DCS800a	64
Tabla 23.	Prueba de Normalidad para la Confiabilidad 6RA70 y DCS800a.....	65
Tabla 24.	Prueba t al 95 % de confiabilidad.....	66

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Parámetros de programación básicos.....	10
Figura 2.	Parámetros de visualización del funcionamiento.....	11
Figura 3.	Estructura general de un variador	12
Figura 4.	Conexión de motor DC en derivación	14
Figura 5.	Característica par-velocidad con reacción de inducido de un motor DC.....	16
Figura 6.	Conexión de motor DC en serie.....	17
Figura 7.	Característica par-velocidad de un motor de DC en serie.....	17
Figura 8.	Conexión de motor DC compuesto acumulativo	18
Figura 9.	Motor con excitación compuesta, curvas par-velocidad.....	20
Figura 10.	Circuito equivalente de un motor de DC de excitación separada	21
Figura 11.	Motor DC excitado separadamente.	21
Figura 12.	Representación esquemática de un motor DC excitado separadamente.....	22
Figura 13.	Diagrama de bloques de un motor con excitación separada.	23
Figura 14.	Indicadores de mantenimiento en la industria.	24
Figura 15.	Tiempos operativos de un equipo móvil para Dispatch.....	25
Figura 16.	Áreas de perforación y minado.....	26
Figura 17.	Perforada rotativa con accionamiento eléctrico.....	27
Figura 18.	Conjunto de rotación.....	31
Figura 19.	Conjunto de levante / empuje.	32
Figura 20.	Ubicación de componentes principales en la perforadora.	33
Figura 21.	Diagrama unifilar de la distribución de energía.....	35
Figura 22.	Pareto de la flota de perforadoras BE49HR.....	40
Figura 23.	Horas de detención de la perforadora Bucyrus 49HR N° de Serie 141307 en el año 2019.	41
Figura 24.	Número, tiempo de paradas y confiabilidad con los variadores 6RA70.....	43
Figura 25.	Ubicación del motor de rotación y motor de levante/empuje.	47
Figura 26.	Potencia, corriente de armadura y velocidad del motor de rotación.....	50
Figura 27.	Potencia, corriente de armadura y velocidad del motor de empuje.	51
Figura 28.	Comportamiento de par – velocidad en cuatro cuadrantes.	52
Figura 29.	Reducción de intensidad en (%).	53
Figura 30.	(a) tablero de rotación y (b) tablero de levante/empuje.	57
Figura 31.	Red de comunicación para el variador DCS800.....	58
Figura 32.	Entradas y salidas para el variador de rotación.....	58

Figura 33.	Entradas y salidas para el variador de empuje/levante.	59
Figura 34.	Límites de velocidad.....	59
Figura 35.	Regulador de velocidad PID.....	60
Figura 36.	Número, tiempo de detenciones y confiabilidad con los variadores DCS800a periodo 2021.	63
Figura 37.	Confiabilidad con los variadores 6RA70 y DCS800a	65

RESUMEN

La presente investigación denominada “Impacto de la adaptación de los variadores de velocidad en la confiabilidad de las perforadoras Bucyrus 49HR en una Compañía Minera de tajo abierto”, tuvo como objetivo general, determinar el impacto de la adaptación de variadores de velocidad en la confiabilidad de las perforadoras de la Compañía Minera de tajo abierto. La unidad de estudio estuvo conformada por los variadores de rotación y empuje de la perforadora Bucyrus modelo 49HR N° de Serie 141307, para ello, se formuló como hipótesis general que la adaptación de los variadores de velocidad DCS800 mejorará la confiabilidad en la perforadora Bucyrus 49HR. Para probar esta hipótesis, inicialmente se evaluaron los variadores 6RA70 de SIEMENS, determinando la necesidad de cambiarlos; luego, se evaluó las opciones de reemplazo y se optó por la adaptación de variadores DCS800 de ABB, procediendo después al levantamiento de las características del variador 6RA70, para configurar la tabla de parámetros del variador DCS800; a continuación, se elaboraron los planos de montaje mecánico y eléctrico y se realizó la instalación de los variadores, procediendo a su validación de funcionamiento. Se obtuvo como resultado, que los variadores de velocidad 6RA70 mostraron un nivel de confiabilidad que no era aceptable para la Compañía Minera de tajo abierto (MTBF=17,71 horas); luego, los variadores de velocidad DCS800 adaptados mostraron estándares de funcionamiento similares a los 6RA70, cuando estos últimos se encontraban en su estado óptimo; los DCS800 adaptados mostraron un nivel de confiabilidad muy cercano al aceptado por la Compañía Minera de tajo abierto (MTBF=25,09 horas); finalmente, se determinó con un 95 % de confiabilidad que los variadores de velocidad DCS800 adaptados impactaron positivamente en el nivel de confiabilidad de la perforadora Bucyrus 49HR N° de Serie 141307 ($t=-2,306$, $p\text{-value}=0,042$).

Palabras clave: 6RA70, DCS800, confiabilidad, variador.

ABSTRACT

The following research called “Impact of the fitting of drives in the reliability of the Bucyrus 49HR blasthole drills in an open pit mining company”, had as a general objective, to find the impact of the fitting of drives in the reliability of rotary drills in an open pit mining company. The study unit was constituted by the drives of rotation and thrust of the Bucyrus rotary drill model 49HR with Serial Number 141307, for that the general hypothesis was stated as the fitting of the DCS800 drives to improve the reliability of a Bucyrus rotary drill 49HR. To test this hypothesis, the 6RA70 drives of SIEMENS were tested, the need to change them, then the replacement options were evaluated, and it was decided to fit the DCS800 drives of ABB; then proceeding to survey the characteristics of the 6RA70 drives to configure the table of parameters of the DCS800 drives, then the mechanical and electrical assembly drawings were drawn up and the installation of the drives was carried out, proceeding to their operation validation. As a result, the 6RA70 drives showed a level of reliability that was not acceptable for the Mining Company (MTBF=17,71 hours); then, the adapted DCS800 drives showed operating standards similar to those of the 6RA70, when the latter were in their optimal state; the adapted DCS800 showed a reliability level very close to that accepted by the Mining Company (MTBF=25,09 hours); Finally, it was determined with a 95 % reliability that the adapted DCS800 drives had a positive impact on the reliability level of the Bucyrus rotary drill model 49HR with Serial Number 141307 ($t=-2,306$, $p\text{-value}=0,042$).

Keywords: 6RA70, DCS800, reliability, drive.

INTRODUCCIÓN

En la mediana y gran minería se siguen planes de mejora continua, donde se busca optimizar los procesos productivos utilizando tecnología de punta vigente en el mercado, que impliquen siempre un menor costo. Una de las etapas del proceso productivo en una operación minera de tajo abierto, es la perforación, este es realizado por varios tipos de perforadoras, donde, una de las más usadas es la perforadora eléctrica rotativa.

Estas perforadoras cuentan con variadores de velocidad, utilizados para controlar motores de baja o media tensión, convirtiéndose en parte fundamental de la confiabilidad de un equipo móvil.

Las perforadoras que operan en la Compañía Minera de tajo abierto, emplean variadores de rotación y empuje del modelo 6RA70 de SIEMENS que, debido al tiempo de servicio, requiere de repuestos que no se encuentran en el mercado de proveedores mineros, esto provoca el incremento de los tiempos de reparación y la recurrencia de fallas, por lo cual la confiabilidad de estos variadores se ve afectada.

Ante esta situación, se desarrolló el proceso de parametrización y adaptación de los variadores DCS800, como una alternativa de reemplazo a los variadores 6RA70 que cayeron en obsolescencia. Este proceso se detalla en el presente estudio.

Para una mejor comprensión este informe de investigación se ha organizado en cuatro capítulos:

Capítulo I: Planteamiento y Formulación del Problema, en él se plantea y formula el problema, los objetivos de la investigación, la justificación e importancia del estudio, el sistema de hipótesis y la caracterización de las variables.

Capítulo II: Marco Teórico, en este capítulo se analizan los antecedentes del estudio, las bases teóricas que sustentan la investigación y la definición de los términos básicos.

Capítulo III: Metodología, en este acápite se determina el tipo, nivel y diseño de investigación y se caracteriza la población y muestra.

Capítulo IV: Resultados y Discusión, en él se exhiben los resultados y análisis de la información, realizando la prueba del sistema de hipótesis y el contraste con otras investigaciones.

Finalmente, se exhiben las Conclusiones, Recomendaciones, Referencias Bibliográficas y Anexos.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

1.1 PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.1.1 Planteamiento del problema

La minería es una actividad que representa para el Perú el 10 % del PBI, por lo que se afirma que es la columna vertebral de la economía peruana (Instituto Peruano de Economía, 2018). En la minería de tajo abierto, la perforación es el proceso inicial de la etapa extractiva del mineral, cuyo fin, es formar la cavidad al interior de la roca maciza para preparar la voladura, para luego cargar los pedazos en enormes camiones con el uso de palas o excavadoras (Rumbo Minero, 2014).

Esta actividad requiere que los equipos involucrados en el proceso, perforadoras, palas, excavadoras, se encuentren en el rango de confiabilidad establecido por la Compañía Minera de tajo abierto, con el fin de garantizar que se mantengan los estándares de productividad.

En la Compañía Minera, donde se realizó la presente investigación, se cuenta con perforadoras rotativas de las marcas Bucyrus, CAT, Epiroc y P&H. Las perforadoras Bucyrus 49HR, en los sistemas de rotación y empuje, cuentan con variadores de corriente continua de la familia 6RA70 de la marca SIEMENS, los cuales se encuentran descontinuados y en proceso de obsolescencia, lo que afecta a la confiabilidad del equipo; para hacer frente a esta necesidad, la primera opción es migrar los variadores a una versión actualizada brindada por el mismo fabricante de la perforadora, pero esta opción es muy costosa (Anexo B), por lo cual se deben abordar alternativas más viables.

1.1.2 Formulación del problema

1.1.2.1 Problema general

¿Cuál es el impacto de la adaptación de los variadores de velocidad en la confiabilidad de las perforadoras Bucyrus 49HR en una Compañía Minera de tajo abierto?

1.1.2.2 Problemas específicos

¿Cuál es el nivel de confiabilidad de los variadores de velocidad 6RA70 de la perforadora Bucyrus 49HR?

¿De qué manera se puede adaptar los variadores de velocidad en reemplazo de los 6RA70 sin afectar el rendimiento estándar de la perforadora Bucyrus 49HR?

¿Cuál es el nivel de confiabilidad de los variadores DCS800 adaptados en reemplazo de los 6RA70 de la perforadora Bucyrus 49HR?

1.2 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.2.1 Objetivo general

Determinar el impacto de la adaptación de los variadores de velocidad en la confiabilidad de las perforadoras Bucyrus 49HR en la Compañía Minera de tajo abierto.

1.2.2 Objetivos específicos

- Determinar el nivel de confiabilidad de los variadores de velocidad 6RA70 de la perforadora Bucyrus 49HR.
- Desarrollar el proceso de adaptación de variadores DCS800 en reemplazo de los 6RA70 en la perforadora Bucyrus 49HR.
- Determinar el nivel de confiabilidad de los variadores de velocidad DCS800 adaptados en reemplazo de los 6RA70 de la perforadora Bucyrus 49HR.

1.3 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA

1.3.1 Justificación técnica

Las perforadoras eléctricas rotativas, son consideradas como equipos críticos dentro de la operación minera. Sus sistemas principales son: perforación, compresión y traslación; dentro del sistema de perforación, se encuentran los variadores de velocidad de los motores de rotación y empuje, cuya pérdida de capacidad operativa, afecta directamente a la confiabilidad del equipo.

Lo expuesto, determina la importancia de realizar la adaptación de los variadores que controlan los movimientos de rotación y empuje en las perforadoras Bucyrus 49HR, como una alternativa viable para mantener la confiabilidad de estas, garantizando la disponibilidad de material fragmentado para el proceso de carguío.

1.3.2 Justificación económica

Las fallas o averías en los equipos mineros afectan directamente al presupuesto operativo (OPEX), ya que traen como consecuencia pérdidas en la producción. Factores tales como los costos de reparación, stock y tiempo de reposición de repuestos, influyen en la selección de estrategias adecuadas de mantenimiento de los equipos móviles.

En esa misma línea, los variadores de velocidad son componentes críticos del sistema de control de la perforadora, y al presentarse fallas en ellas, genera una difícil problemática. ya que en el mercado no existen repuestos y el proceso de actualización propuesto por el fabricante, implica una inversión significativa; por lo cual, en la presente investigación se realizó la adaptación de los variadores de velocidad DCS800 (en adelante DCS800a) en la perforadora Bucyrus 49HR como una alternativa viable y a un costo razonable.

1.3.3 Importancia

La presente investigación tiene como finalidad, aportar conocimientos acerca del proceso de adaptación de variadores de velocidad en los sistemas de rotación y empuje, como una alternativa viable para mantener al equipo minero, cumpliendo las funciones para el cual fue diseñado dentro del proceso productivo.

Con lo expuesto, el presente trabajo cobra relevancia, ya que, tal y como afirma Valderrama (2015), la justificación práctica de una investigación se da “cuando el investigador se interesa en acrecentar sus conocimientos y si es el caso, contribuir de manera concreta a la solución de problemas que afecta a las organizaciones” (p. 141).

1.4 HIPÓTESIS Y DESCRIPCIÓN DE VARIABLES

1.4.1 Hipótesis

1.4.1.1 Hipótesis general

La adaptación de los variadores de velocidad DCS800 mejorará la confiabilidad en la perforadora Bucyrus 49HR N° Serie 141307.

1.4.1.2 Hipótesis específicas.

- Los variadores de velocidad 6RA70 de la perforadora Bucyrus 49HR N° Serie 141307 tiene un nivel de confiabilidad no aceptable.
- Con el proceso de adaptación de los variadores de velocidad DCS800, los estándares de funcionamiento de la perforadora 49HR con los variadores 6RA70 en óptima capacidad son iguales a los estándares de funcionamiento con los variadores DCS800a.

- Los variadores de velocidad DCS800 adaptados en reemplazo de los 6RA70 de la perforadora Bucyrus 49HR N° Serie 141307 tienen un nivel de confiabilidad aceptable.

1.4.2 Variables e indicadores

Tabla 1.

Operacionalización de las variables

Variable	Definición conceptual	Dimensiones	Indicadores	Instrumento
Variable independiente Adaptación del variador de velocidad	Proceso en el cual se realiza la adaptación de los variadores de velocidad para los movimientos de rotación y levante en la perforadora Bucyrus 49HR.	Variador de velocidad DC para el movimiento de levante. Variador de velocidad DC para el movimiento de rotación.	<ul style="list-style-type: none"> - Máxima velocidad del motor (rpm). - Máxima velocidad de avance (ft/min). - Máximo voltaje de armadura (VDC). - Corriente de Stall (ADC). - Corriente de campo (ADC). - Corriente a velocidad máxima (ADC). <hr/> <ul style="list-style-type: none"> - Corriente de campo (ADC). - Velocidad de broca (rpm). - Velocidad de motor (rpm). - Máximo voltaje de armadura (VDC). - Corriente de Stall (ADC). 	Tabla Excel donde se registra los valores tomados con los instrumentos de medición. Tabla C del Manual de Comisionado de la Perforadora.
Variable dependiente Confiabilidad	“La confiabilidad de los equipos: Se refiere a la aptitud del equipo de funcionar correctamente en las condiciones operativas durante todo su ciclo de vida. El índice que lo caracteriza es el MTBF” (Arata y Arata, 2013, p. 88).	Tiempo medio entre fallas (MTBF).	<ul style="list-style-type: none"> - Número de detenciones. - Tiempo de detenciones (horas). - Tiempo de operación disponible (horas). 	Tabla de detenciones de dispatch.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 ANTECEDENTES DEL PROBLEMA

2.1.1 Internacionales

Rivera (2015) desarrolló el estudio denominado “Modelo de toma de decisiones de mantenimiento para evaluar impactos de disponibilidad, mantenibilidad, confiabilidad y costos”. Esta investigación se desarrolló en la mina Codelco División Andina de Chile. Tuvo como propósito desarrollar un modelo para mejorar la toma de decisiones referente a los equipos móviles de la mina, para ello empleó la técnica Cost Scatter Diagrams, permitiendo presentar KPI de acuerdo con los eventos de falla y desarrollar un software con los algoritmos de esta metodología. Concluyó que este modelo permite realizar una pre y post evaluación de las propuestas de mejora.

Razo (2016) realizó la investigación denominada “Actualización de control de perforadoras y actualización del PLC5 por control en plataforma control Logix al control hidráulico y visualización”. Este estudio se desarrolló en Minera México que pertenece al Grupo México y tuvo como objetivo, actualizar una perforadora con disponibilidad nula; para ello, realizó la instalación de variadores de velocidad y una red de PLC con control Logix. Los variadores elegidos para reemplazar a los SIEMENS fueron los Allen Bradley Rockwell, ya que era la opción más económica. Se analizaron los parámetros y se adaptó los Allen Bradley para su funcionamiento en la perforadora. Concluyó que, con la adaptación de los variadores y el PLC, logró poner operativa una perforadora que era considerada obsoleta.

Durán, Gonzáles-Prida, Crespo y Guillén (2019), realizaron la investigación titulada “Priorización de activos físicos centrado en el rendimiento global (Throughput) en una planta de chancado”, este estudio se desarrolló en el área de chancado de una operación minera en los Andes de Chile. Tuvieron como objetivo desarrollar una técnica para priorizar los equipos en función de la indisponibilidad que presenten y su función en el rendimiento productivo. Concluyeron que se debe priorizar los equipos en función del negocio en vez de la disponibilidad, teniendo en cuenta la

sensibilidad en la producción, permitiendo definir políticas de mantenimiento, destino de los presupuestos y la evaluación de las decisiones operativas.

2.1.2 Nacionales

La investigación de Centeno (2017) titulada “Impacto del upgrade del variador de velocidad para bomba de ciclones en la disponibilidad de equipos, área de molienda de la planta concentradora de Southern Perú, Cuajone (Moquegua), 2015”, tuvo como propósito analizar el impacto del upgrade del variador de velocidad para bomba de ciclones en la disponibilidad de equipo; para ello, recopiló 126 órdenes de trabajo registradas para la bomba de alimentación de ciclones molino 1B, evaluando la causal de paro, motivo y razón de mantenimiento, duración y horas hombre de parada; determinando que el upgrade del variador de velocidad para la bomba de ciclones no impactó en la disponibilidad de equipos en el área de molienda de la planta concentradora.

El estudio de Nayhua (2018) titulado “Diseño de un plan de mantenimiento con la metodología del mantenimiento centrado en la confiabilidad para perforadoras Atlas Copco CT20 en la empresa Explodrilling”, propuso incrementar el tiempo medio entre las fallas de las perforadoras; para ello diseño un plan basado en la metodología del mantenimiento centrado en la confiabilidad referenciado en las normas SAE JA1011, SAE JA1012, ISO 14224-2004 e ISO 15663-1, logrando mejorar en un 13 % el tiempo promedio entre fallas de la flota de perforadoras.

La investigación de Janampa (2019) titulada “Mejora de la confiabilidad de la excavadora 320D, empleando el análisis de fallas funcionales en la compañía minera Raura”, tuvo como propósito mejorar la confiabilidad de una excavadora 320D, haciendo uso de la técnica de análisis de fallas funcionales. Para ello, recopiló información acerca de frecuencia de fallas, paradas no programadas, tiempos de reparación, estado del equipo y el stock de repuestos. Después de implementar su programa de mantenimiento, que consistía en establecer una determinada cantidad de horas y frecuencia para el mantenimiento programado, logró incrementar la disponibilidad de 83% a 86 %, concluyendo que, para incrementar la confiabilidad en la excavadora era necesario analizar las diferentes fallas que presentaban los componentes del equipo e implementar un programa de mantenimiento que permita incrementar la disponibilidad del equipo.

2.2 BASES TEÓRICAS

2.2.1 Variadores de Velocidad

Para Mazur (2011) en su investigación denominada “un variador de velocidad es una unidad electrónica diseñada para controlar la velocidad de un motor mediante dispositivos en estado sólido” (p. 9). En esa misma línea Bravo (2012), define al variador de velocidad como “un dispositivo o

conjunto de dispositivos que se emplea para controlar la velocidad de giro de los motores utilizados en la industria” (p. 6).

Los variadores de velocidad pueden ser hidráulicos, mecánicos, eléctrico-electrónicos. En la presente investigación se emplea variadores de velocidad eléctrico-electrónicos, en adelante variadores electrónicos.

2.2.1.1 Variadores de velocidad electrónicos

Los variadores de velocidad electrónicos, se clasifican en variadores para motores de corriente alterna, variadores para motores de corriente continua, variadores por corrientes de Eddy y los variadores de deslizamiento (Mazur, 2011).

En la presente investigación se trabaja con variadores de velocidad electrónicos para motores de corriente continua.

a. Funciones

Los variadores de velocidad electrónicos, cumplen una serie de funciones, que los convierten en dispositivos versátiles (Mazur, 2011).

Entre las principales funciones detallaremos la aceleración controlada, variación de velocidad, regulación de la velocidad, desaceleración controlada, inversión del sentido de marcha, protección programada, programación de los parámetros, visualización del funcionamiento y de averías.

Aceleración controlada

“La aceleración del motor se controla por medio de una rampa de aceleración lineal o en forma de S. Generalmente, la rampa puede regularse y, por tanto, permite variar el tiempo de aceleración” (Telemecanique, 2009, p. 47).

El variador de la perforadora de acuerdo con la señal de referencia que representa la proporción de la velocidad, controla la salida que llega hacia el motor, siendo esta de manera proporcional y controlada, sin presentar saltos abruptos pese a estar sometidos a carga.

Variación de velocidad

“La velocidad del motor queda determinada por una magnitud de entrada denominada consigna. Para un valor dado de la consigna, la velocidad puede variar en función de las perturbaciones. El rango de velocidad se expresa en función de la velocidad nominal” (Telemecanique, 2009, p. 47).

La variación de velocidad en la perforadora, se realiza de acuerdo con la necesidad del sistema para cumplir la función de crear un agujero en la plataforma de perforación, esta variación de velocidad, responde a una realimentación o lazo de control que permite mantener la señal de salida proporcional a la señal de referencia.

Regulación de la velocidad

La regulación de velocidad dentro del variador, es importante para la perforadora ya que, la reacción del motor controlado tendrá una respuesta uniforme; es necesario que el variador controle la regulación de velocidad sin que le afecte valores externos como temperaturas, vibración y ambientes contaminados con polvo, a fin de ejecutar una perforación controlada sin que se deteriore elementos como la broca y el barreno.

Desaceleración controlada

“Ante el corte de suministro al motor, los variadores electrónicos controlan la desaceleración, regulando la rampa para que la transición entre la velocidad estable y una intermedia sean inferior o superior, según el caso, al tiempo de desaceleración natural del motor” (Telemecanique, 2009, p. 47).

El trabajo de penetración de la broca en el macizo, rocoso no se realiza con la misma velocidad durante todo el proceso, ya que, las características de dureza de la plataforma de perforación, exigen que el sistema de control ajuste las referencias de velocidad; la función de desaceleración controlada del variador permitirá que cuando se produzca este evento, la desaceleración sea mediante una respuesta suave.

Inversión del sentido de marcha

“Puede controlarse la velocidad nula después de la desaceleración sin frenado eléctrico, o con frenado eléctrico, para que la desaceleración y la inversión sean rápidas.” (Telemecanique, 2009, p. 47)

Durante el proceso de perforación, para la secuencia de izado-empuje, el motor que realiza el movimiento tiene que cambiar de sentido, este cambio debe ser inmediato sin producir golpes en la transmisión mecánica.

En la rotación de la barra para la perforación esta solo usa un sentido de giro, ya que, si se invierte el mismo, podría originar el desacople y la caída de la barra. La contramarcha o inversión de giro en la rotación solo es usado para el cambio de elementos de perforación.

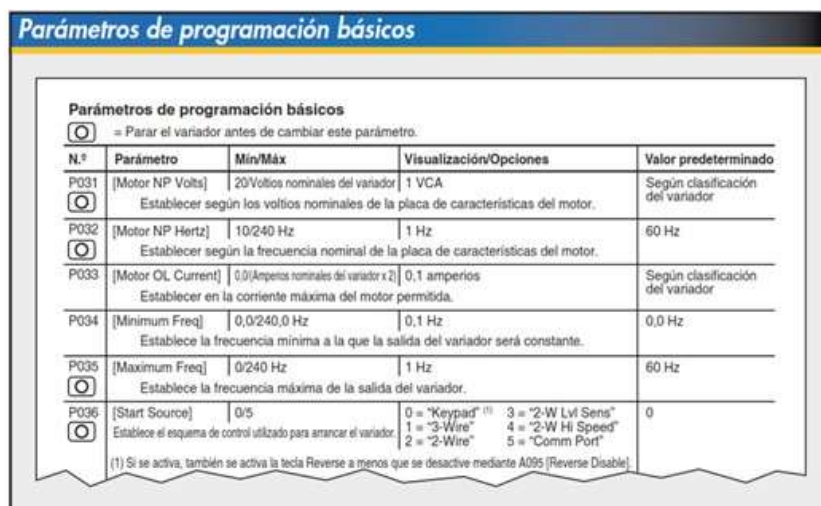
En esa misma línea, en Telemecanique (2009) se afirma que “puede controlarse la velocidad nula después de la desaceleración sin frenado eléctrico, o con frenado eléctrico, para que la desaceleración y la inversión sean rápidas” (p. 47).

Protección integrada

Los variadores actuales garantizan su protección térmica y la de los motores. En caso de aumento de la temperatura por encima de los valores normales, se emite una señal de alarma de falla basada en el límite de temperatura calculada. “Por otra parte, los variadores, especialmente los convertidores de frecuencia suelen incluir protección contra: cortocircuitos entre fases y entre fase y tierra, sobretensiones y caídas de tensión, desequilibrios de fases, funcionamiento monofásico” (Telemecanique, 2009, p. 47).

Programación de los parámetros

Mazur (2011), detalla que los variadores permiten que el usuario programe las condiciones de funcionamiento. El variador ofrece la posibilidad de programar una serie de parámetros para personalizarlo de acuerdo con una aplicación concreta. Además, es posible adaptar estos parámetros si esto es requerido. Para mejorar la experiencia, el fabricante suele agrupar los parámetros más comunes (figura 1).



Parámetros de programación básicos

= Parar el variador antes de cambiar este parámetro.

N.º	Parámetro	Min/Máx	Visualización/Opciones	Valor predeterminado
P031	[Motor NP Volts] <input type="radio"/> Establecer según los voltios nominales de la placa de características del motor.	20/Voltios nominales del variador	1 VCA	Según clasificación del variador
P032	[Motor NP Hertz] <input type="radio"/> Establecer según la frecuencia nominal de la placa de características del motor.	10/240 Hz	1 Hz	60 Hz
P033	[Motor OL Current] <input type="radio"/> Establecer en la corriente máxima del motor permitida.	0,0(Amperos nominales del variador x 2)	0,1 amperios	Según clasificación del variador
P034	[Minimum Freq] <input type="radio"/> Establece la frecuencia mínima a la que la salida del variador será constante.	0,0/240,0 Hz	0,1 Hz	0,0 Hz
P035	[Maximum Freq] <input type="radio"/> Establece la frecuencia máxima de la salida del variador.	0/240 Hz	1 Hz	60 Hz
P036	[Start Source] <input type="radio"/> Establece el esquema de control utilizado para arrancar el variador.	0/5	0 = "Keypad" (1) 3 = "2-W Lvl Sens" 1 = "3-Wire" 4 = "2-W Hi Speed" 2 = "2-Wire" 5 = "Comm Port"	0

(1) Si se activa, también se activa la tecla Reverse a menos que se desactive mediante A095 [Reverse Disable]

Figura 1. Parámetros de programación básicos.

Nota: Adaptado de Mazur (2011, p. 19).

Visualización del funcionamiento

Los variadores muestran las condiciones de funcionamiento (figura 2). Estos se analizan para comprobar el funcionamiento e implementar soluciones a los problemas que pudieran presentarse;

además, permiten determinar los instrumentos que se requieren para hacer medidas adicionales en búsqueda de la solución a un problema (Mazur, 2011).

Visualización del funcionamiento			
Parámetros de visualización			
N.º	Parámetro	Min/Máx	Visualización/Opciones
d001	[Output Freq]	0,0[Maximum Freq]	0,1 Hz
d002	[Commanded Freq]	0,0[Maximum Freq]	0,1 Hz
d003	[Output Current]	0,00(Amperios del variador x 2)	0,01 amperios
d004	[Output Voltage]	0[Voltios nominales del variador]	1 VCA
d005	[DC Bus Voltage]	Según clasificación del variador	1 VCC
d006	[Drive Status]	0/1 (1 = Condición verdadera)	Bit 3 Desaceleración
			Bit 2 Aceleración
			Bit 1 Adelante
			Bit 0 Funcionamiento
d007- d009	[Fault x Code]	F2/F122	F1

Figura 2. Parámetros de visualización del funcionamiento

Nota: Adaptado de Mazur (2011, p. 19).

Visualización de averías

“Los variadores de velocidad incorporan funciones de supervisión para realizar el seguimiento del funcionamiento del sistema, cerrar el sistema automáticamente si se detecta algún problema y mostrar un código de avería o información relacionada” (Mazur, 2011, p. 20).

2.2.1.2 Módulos de un variador DC

Los variadores de velocidad electrónicos tienen dos módulos generales: de control y de potencia (figura 3).

a. El módulo de control

Las funciones de los variadores se controlan a través de un microprocesador, que analiza las órdenes y las señales de control. De acuerdo con esta información, el microprocesador gestiona el funcionamiento de los componentes. Los parámetros de funcionamiento, las alarmas y fallas, se muestran a través de diodos luminosos, pantallas o visualizadores (Telemecanique, 2009).

b. El módulo de potencia

Los elementos del módulo de potencia, son los componentes de potencia que funcionan bajo el sistema de pasante y bloqueado; las interfaces de tensión y de corriente, y el sistema de ventilación (Telemecanique, 2009).

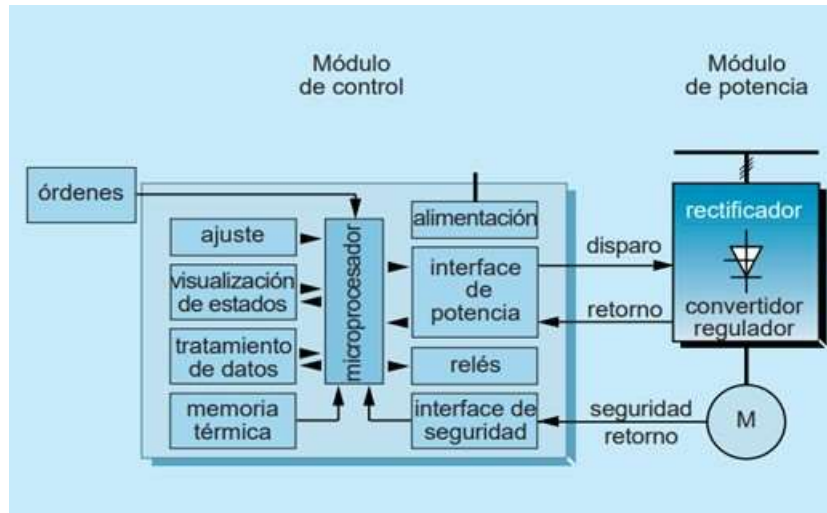


Figura 3. Estructura general de un variador
Nota: Adaptado de Telemecanique (2009, p. 48)

En los equipos de minería se cuenta con una amplia gama de variadores de velocidad electrónicos para motores de corriente continua, en la presente investigación se trabaja con variadores 6RA70 y DCS800.

2.2.1.3 Variadores 6RA70

Los variadores 6RA70, son equipos compactos con control digitalizado, corriente asignada de 15A – 3 000A. Si se conectan en paralelo, pueden incrementar su corriente hasta 12 000A. Puede tener un escalonamiento en función de la corriente continua de hasta 85A. Poseen una unidad programable en la puerta, este tiene indicadores para el estado y la parametrización; adicionalmente se encuentra el conector X300 con una interfase USS que cumple la norma RS232 y RS485. En esta unidad de programación se realizan las adaptaciones, ajustes e indicación de los valores medidos que se necesitan para la operatividad. La interfaz es amigable con el usuario, ya que permite introducir y sintonizar los parámetros, cambiar el software de la memoria flash de ser necesario; además, realiza el diagnóstico para fines de mantenimiento durante las paradas del equipo, esto se puede realizar desde una laptop con el software drive monitor (SIEMENS, 2007).

Variadores 6RA70 de la perforadora 49HR

En los siguientes párrafos se describe a los variadores 6RA70 instalados en la perforadora 49HR tal y como se precisa en el “Manual de operación y mantenimiento mecánica 49HR” (Bucyrus Inc, 2010).

Los movimientos de rotación, levante y empuje de la perforadora, son alimentados por variadores estáticos de corriente continua. Los motores de corriente continua se alimentan de los

paneles de control electrónico Simoreg, ubicados en los gabinetes de control. Los paneles que contienen al variador son idénticos excepto por los ajustes. Cada panel contiene la alimentación de inducido de motor y campo, lógica de control de encendido-apagado y reguladores basados en microprocesadores. Los paneles de control del variador, son construidos por SIEMENS para Bucyrus International.

La alimentación del inducido del motor, es un convertidor trifásico de tiristores con capacidad de inversión de giro. Esta disposición permite una corriente y voltaje bidireccional de inducido para la operación del motor de corriente continua en cuatro cuadrantes. Los transformadores de corriente proporcionan la señal de respuesta de la corriente de inducido para el regulador. La alimentación de corriente continua al inducido del motor, se enciende y apaga con un contactor de corriente continua que se encuentra en el panel Simoreg.

La alimentación del campo del motor, es un convertidor de diodo y tiristor monofásico sin inversión y sin retroceso. La alimentación de corriente alterna al convertidor de campo, se enciende y apaga con otro contactor antes de iniciar los movimientos de rotación y levante/empuje.

El variador Simoreg 6RA70 que se usa en la perforadora, tiene dos tarjetas de circuito impreso que se encuentran en un conjunto de bastidores de tarjetas montado en el panel de mando. Estas tarjetas son la tarjeta de microprocesador CUD1 y la tarjeta de expansión para terminal CUD2. Los componentes de la alimentación del variador también están montados en el panel de mando.

2.2.1.4 Variadores DCS800

Dentro de la gama de los variadores de velocidad de ABB, se encuentra los variadores de corriente continua DCS800. Estos pueden ser empleados tanto en aplicaciones no motóricas y motóricas con un rango de corriente de 20A 5200A. adicionalmente operan con voltajes de alimentación desde los 230 Voltios alternos hasta los 1200 VAC. Estos equipos son apreciados por ser compactos, su excelente performance y facilidad en la puesta en marcha (ABB, 2012).

Los variadores de velocidad están instalados en la perforadora, con la finalidad de controlar el movimiento de los motores de rotación/empuje, estos dos motores son de corriente continua (DC).

2.2.1.5 Motores DC

Wildi (2007) define a este tipo de motores, como aquellos que convierten la energía eléctrica de una fuente de corriente continua, en energía mecánica. Estos motores se emplean para impulsar dispositivos tales como winches eléctricos, ventiladores, bombas, prensas, fajas y automóviles. Los dispositivos pueden tener una característica de par o momento de torsión-velocidad muy definida, por ejemplo, un ventilador variable, o uno extremadamente variable, como en el winche eléctrico.

La característica de par o de momento de torsión respecto a la velocidad del motor, se debe adaptar al tipo de carga que tiene que impulsar.

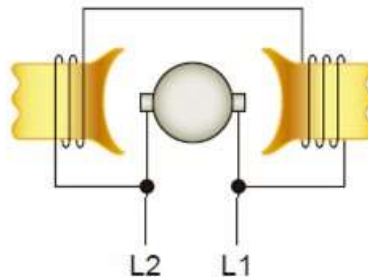
Como todo motor, estos requieren de una alimentación eléctrica; en este caso, los motores de corriente directa (DC) son accionados desde una fuente de energía formado por un conjunto de semiconductores o desde un generador de corriente continua, método Ward-Leonard. En general, el voltaje de entrada de un motor DC es de voltaje continuo, lo que simplifica el análisis y comparación de los motores.

Chapman (2012), clasifica a los motores DC en cinco grandes tipos de uso general: motor DC de excitación separada, motor DC en derivación, motor DC de imán permanente, motor DC en serie y motor DC compuesto.

Algunos autores consideran a los motores con excitación separada y excitación en derivación dentro de un mismo grupo, ya que su forma constructiva es la misma, variando solo la forma de excitación del bobinado del campo.

a. Motor DC en derivación.

En la figura 4, se muestran las conexiones para rotación horaria y antihoraria de un motor DC en derivación.



Giro antihorario		Giro horario	
Línea 1 F1-A1	Línea 2 F2-A2	Línea 1 F1-A2	Línea 2 F2-A1

Figura 4. Conexión de motor DC en derivación
Nota: Adaptado de Petruzella (2010, p.26).

Si se aplica repentinamente una carga mecánica al eje, la pequeña corriente sin carga no llega a producir un par o momento de torsión necesario para soportar la carga, por lo cual, el motor comienza a desacelerarse. Esto hace que la fuerza contraelectromotriz (f_{cem}) disminuya y de como resultado, una corriente más alta y un par o momento de torsión incrementado. Sin embargo, cuando el par o momento de torsión desarrollado por el motor es exactamente igual al par o momento de torsión impuesto por la carga mecánica, en ese instante la velocidad permanecerá constante.

En conclusión, si la carga mecánica se incrementa, la corriente en la armadura aumenta y la velocidad disminuye. La velocidad de un motor en derivación permanece comparativamente constante al valor de velocidad sin carga y al pasar a plena carga. En motores pequeños, la disminución está en el rango de 10 a 15 por ciento cuando se aplica la carga completa. En máquinas grandes, debido a la bajísima resistencia de la armadura, la disminución de velocidad es menor. Regulando la corriente de campo con un reóstato, se puede mantener la velocidad totalmente constante a medida que cambia la carga (Wildi, 2007).

Según Guru e Hiziroglu (2006) Cuando la carga se incrementa, el motor en derivación presentará los siguientes cambios:

- Para cumplir con la exigencia del aumento de carga, la corriente de armadura I_a se incrementa.
- En la resistencia R_a la caída de voltaje se incrementa.
- La fuerza contra electromotriz E_a disminuye si la fuente de voltaje es fija.
- Si disminuye la fuerza electromotriz, la velocidad disminuirá.

Es importante darse cuenta de que la velocidad del motor variará linealmente con el par, si los otros términos de la expresión en la ecuación de voltaje se mantienen constantes ante variaciones en la carga.

Para mantener la linealidad el voltaje que ingresa al motor suministrado por una fuente de corriente continua, debe ser constante, caso contrario las variaciones de voltaje afectarán la forma de la curva par-velocidad.

La reacción del inducido es otro factor interno del motor que puede afectar la forma de la curva par-velocidad. Si un motor tiene una reacción del inducido, entonces, ante un incremento en la carga, los efectos de debilitamiento de flujo disminuyen su flujo, la reducción de flujo trae como consecuencia el incremento de la velocidad del motor ante cualquier carga más allá de la velocidad a la que operaría si no tuviera una reacción del inducido (Chapman, 2012).

En la figura 5 se muestra la característica del par, respecto a la velocidad de un motor en derivación, evidenciando la reacción en el inducido (b). Cuando el motor cuenta con devanados de

compensación, no se presentará problemas en el debilitamiento del flujo en la máquina, siendo este constante.

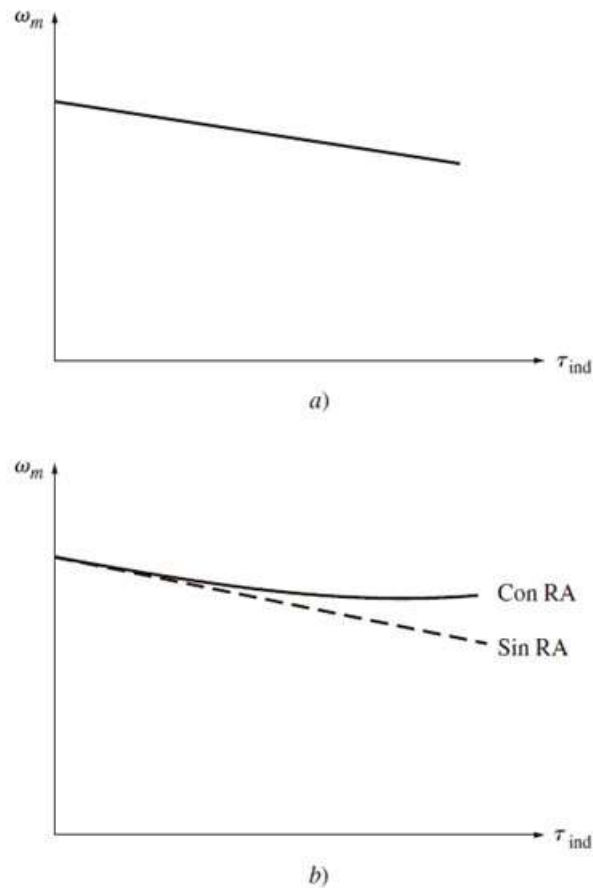


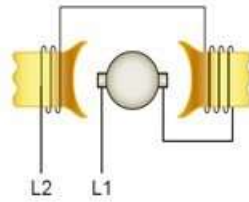
Figura 5. Característica par-velocidad con reacción de inducido de un motor DC

Nota: En a) se muestra la característica par-velocidad de un motor de cd en derivación y en b) se muestra la característica par-velocidad de un motor con reacción del inducido (Chapman, 2012, p. 349).

b. Motor DC en serie

“El motor en serie y el motor en derivación se construyen de la misma manera, exceptuando lo referente a los devanados de campo. Para este motor, el campo se conecta en serie con a la armadura. Este campo en serie, como tiene que transportar la misma corriente que la armadura, está compuesto por unas vueltas de alambre con una sección transversal lo suficientemente grande para transportar dicha corriente” (Wildi, 2007, p.104).

En la figura 6, se muestra las conexiones para rotación horaria y antihoraria en un motor DC en serie.



Giro antihorario			Giro horario		
Línea 1 A1	Conexión A2-S1	Línea 2 S2	Línea 1 A2	Conexión A1-S1	Línea 2 S2

Figura 6. Conexión de motor DC en serie

Nota: Conexiones para rotación antihoraria y horaria (Petruzella, 2010, p.26).

Durante el comportamiento normal de un motor DC en serie hasta antes de llegar al punto de saturación, el flujo es directamente proporcional a la corriente del inducido. Conforme se incrementa la carga en el motor, también se incrementará el flujo. Considerando que un incremento del flujo del motor causa una disminución de su velocidad, se tendrá como resultado que un motor en serie tiene una caída muy pronunciada en la característica par-velocidad (Chapman, 2012).

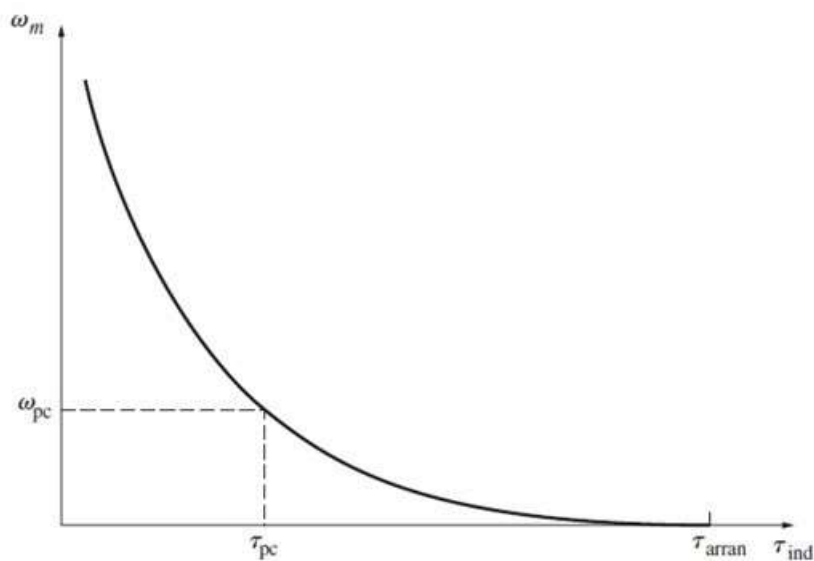


Figura 7. Característica par-velocidad de un motor de DC en serie.

Nota: Adaptado de Chapman (2012, p.368).

Cuando un motor DC en serie está funcionando sin carga, el par que desarrolla es apenas suficiente para superar la pérdida por rotación en el motor. Como la pérdida por rotación es solamente una fracción del par a plena carga, entonces el par desarrollado por el motor es muy pequeño sin

carga, por lo cual, la corriente de la armadura también debe ser muy pequeña. Entonces, la f_{cem} sin carga debe ser similar al voltaje aplicado V_s , en los terminales (Guru e Hiziroglu, 2006).

Como la f_{cem} también es proporcional a la corriente de la armadura y esta corriente es una fracción pequeña de su valor especificado, la velocidad que alcanza el motor será relativamente alta (figura 7). Lo que sucederá es que, debido a la acción centrífuga, un motor serie sin carga puede autodestruirse. Conforme se aplica carga al motor, el par que desarrolla debe crecer. El incremento en el par necesita que aumente la corriente de la armadura (Guru e Hiziroglu, 2006).

El incremento en la corriente de la armadura, ocasiona un incremento en la caída de voltaje a través de las resistencias R_a del circuito de la armadura del devanado del campo R_f y de la resistencia externa. Para un voltaje fijo aplicado, la f_{cem} debe disminuir con la carga. Como la f_{cem} también es proporcional a la corriente de la armadura, debe decaer la velocidad del motor (Guru e Hiziroglu, 2006).

c. Motor DC compuesto

La forma constructiva de un motor DC compuesto, tiene ambos devanados de campo, un campo en serie y un campo en derivación, de acuerdo con la configuración de conexión que se realice con estos campos, tendrá dos grupos, un compuesto acumulativo y un compuesto diferencial.

En la figura 8, se muestra la conexión de rotación horaria y antihoraria para un motor DC compuesto acumulativo.

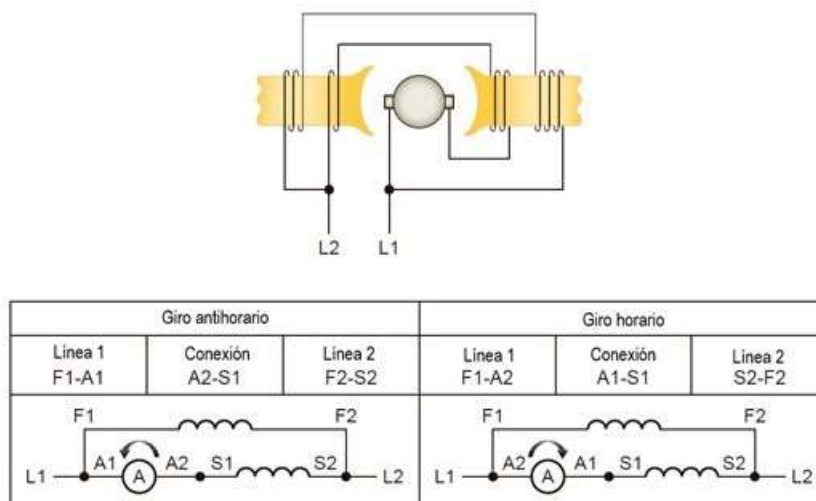


Figura 8. Conexión de motor DC compuesto acumulativo

Nota: Motor para conexión de rotación antihoraria y horaria (Petruzella, 2010, p.26).

En un motor compuesto acumulativo, la fuerza magnetomotriz (f_{mm}) de los campos en serie y en derivación se suman, siendo el campo en derivación más fuerte que el campo en serie. La

corriente I en el devanado en serie de la armadura es baja y la fmm del campo en serie es mínima, siempre y cuando el motor funcione sin carga; sin embargo, la corriente de campo I_x de campo es excitado completamente en el devanado en derivación lo que no permitirá que se embale el motor ante la ausencia de carga (Wildi, 2007).

Al incrementarse la carga, se incrementa la fmm del campo en serie mientras que la fmm del campo en derivación se mantiene constante, lo que lleva a afirmar que la fmm total será mayor cuando el motor tiene carga. Conforme se va incrementando la carga la velocidad del motor disminuye y cuando este motor pasa de trabajar en vacío a plena carga generalmente esta reducción de velocidad es de un 10 a 30 por ciento (Wildi, 2007).

Al conectar el campo en serie de modo que se oponga al campo en derivación, obtenemos un motor compuesto diferencial. “En un motor como este, la fmm total disminuye conforme se incrementa la carga. La velocidad aumenta a medida que se incrementa la carga y esto puede causar inestabilidad. El motor compuesto diferencial tiene muy pocas aplicaciones” (Wildi, 2007, p.107).

El motor DC compuesto también tiene dos bobinas de campo, un campo en derivación o shunt y un campo en serie. Los puntos que aparecen en las dos bobinas de campo y los puntos en un transformador eléctrico tienen el mismo significado, indica que, si la corriente fluye hacia un punto, genera un potencial magnético (fmm) positivo. Cuando la corriente fluye hacia los puntos en ambas bobinas de campo, los potenciales magnéticos resultantes se suman para producir una fmm total más grande, esto se denomina composición acumulativa. Cuando la corriente fluye hacia el punto en una bobina de campo y hacia afuera del punto en la otra bobina de campo, el potencial magnético resultante se resta (Chapman, 2012).

En un motor DC compuesto diferencial, el flujo disminuye cuando se incrementa la corriente de la armadura; en este caso, existe cierta posibilidad de que un motor compuesto diferencial llegue a una velocidad alta peligrosa, cuando el flujo originado por el devanado del campo en serie se aproxima al flujo creado por el devanado del campo derivación. A diferencia, el motor compuesto acumulativo tiene una velocidad definida sin carga, de modo que no se embala como un motor serie cuando se elimina la carga. El motor compuesto acumulativo, “también desarrolla un par de arranque elevado cuando la carga se incrementa de forma súbita. Esto lo hace apropiado para aplicaciones como trenes de laminación, cizalladoras y troqueladoras; también se prefiere para aplicaciones como grúas y elevadores que a) requieran un par de arranque elevado, b) sean susceptibles a cambios rápidos de carga y c) enfrenten la posibilidad de pasar de la condición de plena carga a otra sin carga” (Guru e Hiziroglu, 2006, p. 370).

La figura 9 muestra las curvas típicas de par o momento de torsión-velocidad de motores en derivación, compuestos y en serie, basadas en valores por unidad.

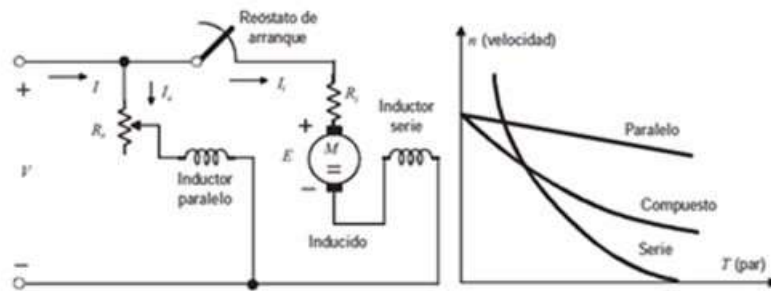


Figura 9. Motor con excitación compuesta, curvas par-velocidad
Nota: Circuito equivalente de un motor DC compuesto y la comparación de las curvas de par-velocidad de los motores con conexión en serie, paralelo y compuesto (Fraile, 2008, p. 577).

d. Motor DC de imán permanente

Un motor de DC de imán permanente (MCDIP), es un motor de DC cuyos polos están conformados por imanes permanentes. En ciertas aplicaciones, estos motores ofrecen diferentes beneficios en comparación con los motores de DC en derivación, Debido a que no requieren un circuito externo para el campo, estos no sufren las pérdidas en el cobre del circuito de campo comparados con los motores de DC en derivación. Como no requieren devanados de compensación, pueden ser más pequeños que sus equivalentes motores de DC en derivación. Generalmente, los motores MCDIP se pueden encontrar en tamaños de hasta 10 hp y en los últimos años, se han construido algunos motores hasta de 100 hp; sin embargo, son especialmente comunes en tamaños pequeños, de caballaje fraccional y sub fraccional, donde no se puede justificar el espacio necesario y el costo para desarrollar un circuito de campo separado. Por lo común, los motores MCDIP son más sencillos, más pequeños, menos costosos, y con mayor eficiencia que los motores de DC equivalentes con campos electromagnéticos separados. Esto hace que sean una buena opción en muchas aplicaciones de motores de DC. Los inducidos de los motores MCDIP, son esencialmente iguales a los de los motores con circuitos de campos separados, de modo que sus costos también son similares. Sin embargo, la eliminación de electroimanes separados en el estator reduce el tamaño, el costo de este y las pérdidas en los circuitos de campo Chapman (2012).

e. Motor DC de excitación separada

En la figura 10, se muestra el circuito equivalente de un motor DC de excitación separada. Para este tipo de conexión, consideramos al mismo motor en derivación, donde el campo tiene diferente excitación. En un motor DC de excitación separada, su circuito de campo es alimentado por una fuente de potencia de voltaje constante e independiente; a diferencia de un motor DC en derivación donde su circuito de campo obtiene su potencia de forma directa de las terminales de la armadura del motor. Si el voltaje que se suministra al motor es constante, el comportamiento de estas

dos máquinas no presenta diferencias. Entonces, cuando se describa el comportamiento de un motor en derivación, también, está incluido el comportamiento del motor de excitación separada, salvo que se especifique lo contrario (Chapman, 2012).

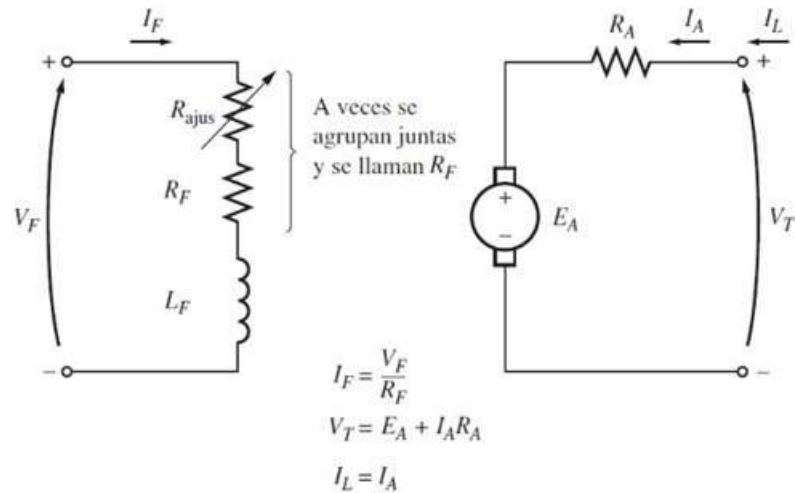


Figura 10. Circuito equivalente de un motor de DC de excitación separada
Nota: Chapman (2012, p. 367).

En la figura 11, se aprecia al motor DC con excitación separada alimentado por un variador de velocidad de corriente continua de la marca AVTRON, que alimenta de manera separada al campo, usando un puente rectificador semi controlado.



Figura 11. Motor DC excitado separadamente.
Nota: Petruzella (2010, p. 94).

En la figura 12, se muestra un esquema representativo de un motor DC con excitación separada, en el cual diferenciamos las inductancias del bobinado de armadura y bobinado de campo representadas por L_a y L_f , respectivamente.

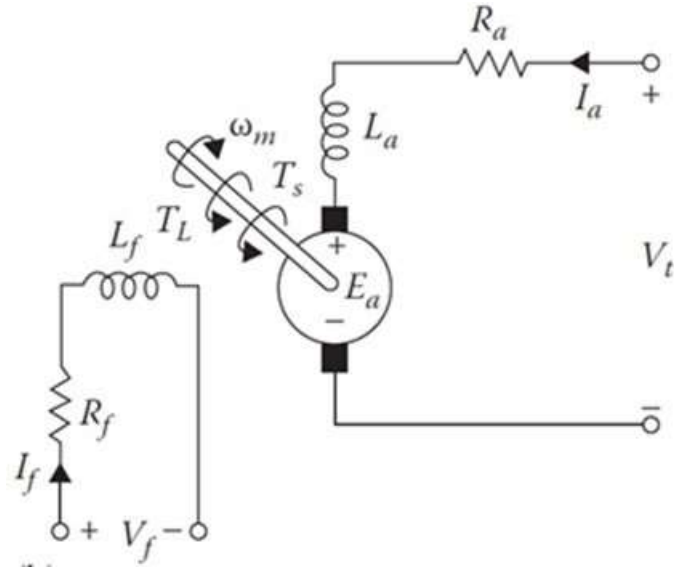


Figura 12. Representación esquemática de un motor DC excitado separadamente.

Nota: Gönen (2012, p. 402).

La velocidad se controla variando el voltaje en los terminales V_t , suponiendo que la corriente de campo I_f se mantiene constante, ignorando el efecto de las pérdidas por saturación, el par producido T_d y el voltaje interno generado E_a se expresan como (Gönen, 2012):

$$T_d = K_f \times I_f \times I_a = K_m \times I_a \quad (1)$$

$$E_a = K_f \times I_f \times \omega_m = K_m \times \omega_m \quad (2)$$

Donde $K_m = K_f I_f$ es una constante. Esta constante de motor K_m también se puede encontrar de la curva de magnetización como:

$$K_m = \frac{E_m}{\omega_m} \quad (3)$$

Las transformadas de Laplace de las ecuaciones T_d y E_a

$$T_d(s) = K_m \times I_a(s) \quad (4)$$

$$E_a(s) = K_m \times \omega_m(s) \quad (5)$$

Cuando el circuito de armadura es energizado en $t = 0$, la tensión del terminal del motor es:

$$V_t = E_a + R_a I_a + L_a \frac{dI_a}{dt_a} \quad (6)$$

Al sustituir la ecuación inicial E_a en esta

$$V_t = K_m \omega_m + R_a I_a + L_a \frac{dI_a}{dt_a} \quad (7)$$

Su transformada de Laplace es entonces

$$V_t(s) = K_m \omega_m(s) + R_a I_a(s) + L_a s I_a(s) \quad (8)$$

$$V_t(s) = K_m \omega_m(s) + I_a(s) R_a (1 + s\tau_a) \quad (9)$$

Donde $\tau_a = L_a/R_a$ es la constante de tiempo eléctrica de la armadura.

El par desarrollado del motor debe ser igual a la suma de todos los pares de torsión opuestos. Por lo tanto, la ecuación dinámica del motor se puede expresar como:

$$T_d = K_m \times I_a = J \frac{d\omega_m}{dt} \quad (10)$$

Donde J es el momento de inercia incluida la carga. Si B es la constante equivalente de fricción viscosa del motor, incluida la carga, y T_L es el par de carga mecánica. Aquí, $B\omega_m$ es el par de pérdida rotacional del sistema. La transformada de Laplace de la ecuación es:

$$T_d(s) = K \times J_a(s) = Js\omega_m(s) + B\omega_m(s) + T_L(s) \quad (11)$$

Tal que

$$\omega_m(s) = \frac{T_d(s) + T_L(s)}{B(1 + \frac{sJ}{B})} \quad (12)$$

$$\omega_m(s) = \frac{K_m I_a(s) + T_L(s)}{B(1 + s\tau_m)} \quad (13)$$

Donde $\tau_m = J/B$ es la constante de tiempo mecánica del sistema. Por lo tanto, la transformada de Laplace de la corriente de armadura se puede encontrar como:

$$I_a(s) = \frac{V_t(s) - E_a(s)}{R(1 + s\tau_a)} \quad (14)$$

$$I_a(s) = \frac{V_t(s) - K_m \omega_m(s)}{R(1 + s\tau_a)} \quad (15)$$

El sistema de ecuaciones se esquematiza en un diagrama de bloques (figura 13).

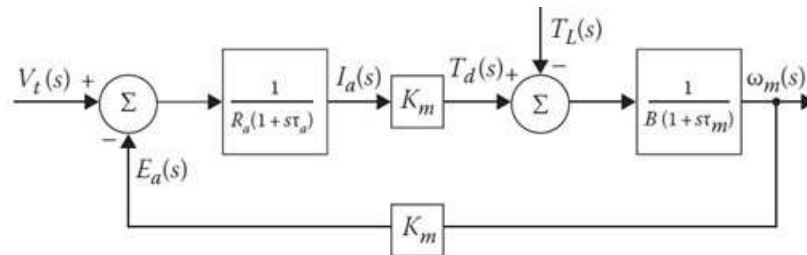


Figura 13. Diagrama de bloques de un motor con excitación separada.

Nota: Gönen (2012, p. 410).

2.2.2 Confiabilidad

Dentro del proceso de la gestión del mantenimiento, los indicadores de resultado tales como mantenibilidad, disponibilidad y confiabilidad, se encuentran relacionados (figura 14) por los tiempos de operación disponible, tiempo entre detenciones, tiempo de reparación y cantidades de detenciones.

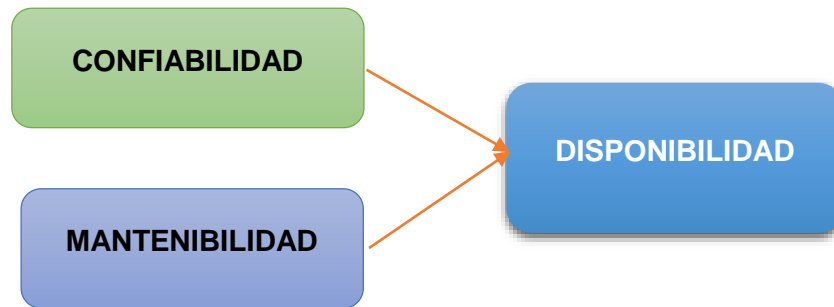


Figura 14. Indicadores de mantenimiento en la industria.

La mantenibilidad está referida a la rapidez con la que se puede ejecutar el mantenimiento de un equipo o sistema. Los factores claves de la mantenibilidad son: ubicación, diseño, disponibilidad de repuestos, estrategias de mantenimiento, entre otros (Rivera, 2015).

La disponibilidad es el tiempo que un equipo o sistema está listo para operar, es decir, el tiempo que tiene operaciones para hacer uso del equipo o sistema (Rivera, 2015).

“La confiabilidad de los equipos: Se refiere a la aptitud del equipo de funcionar correctamente en las condiciones operativas durante todo su ciclo de vida. El índice que lo caracteriza es el MTBF” (Arata y Arata, 2013, p. 88). En esa misma línea TECSUP (2013) precisa que “un sistema técnico o una máquina puede tener una alta disponibilidad sin ser confiable. Mientras una elevada disponibilidad es importante para asegurar una capacidad operativa, un bajo nivel de confiabilidad conducirá a una alta proporción de paradas molestas, con la correspondiente pérdida debido a los efectos de una parada y arranque de la planta” (p. 149).

“La confiabilidad se relaciona básicamente con parámetros tales como la tasa de fallas (cantidad de fallas), tiempo promedio entre fallas (MTBF), tiempo medio de operación (MTO), y tiempo de operación (TO)” (Nayhua, 2018, p. 32).

El MTBF se determina con la siguiente ecuación:

$$\text{MTBF} = \frac{\text{Horas de operación}}{\text{N}^\circ \text{ de eventos de falla}} \quad (16)$$

Teniendo en cuenta las condiciones del componente, tales como, confiabilidad, costos, lead time y capital inmovilizado, se tomarán las decisiones referentes al aprovisionamiento de repuestos, esto es el enfoque de la Ingeniería de la Confiabilidad (Arata y Arata, 2013).

2.2.2.1 Eventos de falla

“Se refiere a la situación que origina la pérdida de operatividad del activo. De este evento será necesario obtener básicamente su repetición, es decir, la frecuencia con que ha sucedido y el tiempo de pérdida de operatividad que ha originado, es decir, el tiempo fuera de servicio relacionado” (Rivera, 2015, p. 8).

2.2.2.2 Registro de eventos de falla

El registro de eventos de fallas en la Compañía Minera de tajo abierto, lo realiza el operador de Dispatch ingresando manualmente la detención señalada por el operador del equipo; esta información es verificada y complementada por el personal de mantenimiento encargado de registrar las causas y el modo de falla y a su vez confirmar los tiempos de detención y comentarios registrados por el operador de Dispatch.

2.2.2.3 Dispatch

El operador de un equipo parte del proceso productivo, tales como palas, perforadoras, camiones, entre otros; cuentan en su cabina de operación con una interfaz que permite registrar la condición del equipo, este registro genera en tiempo real, un evento que es verificado por el operador de Dispatch, con el fin de que este solicite información del motivo del evento realizando los comentarios correspondientes. Es importante precisar que la hora y duración del evento registrado en Dispatch, no puede ser modificado por ningún operador.



Figura 15. Tiempos operativos de un equipo móvil para Dispatch.

2.2.3 Perforadora Bucyrus 49HR

Dentro de los equipos empleados en la actividad minera para la explotación a tajo abierto, la perforadora tiene como función realizar la perforación que es la actividad que inicia la secuencia operativa para la extracción de mineral.

Defínase la perforación, como la acción de apertura en el macizo rocoso de orificios o huecos llamados taladros, con adecuada distribución, previamente establecida, con la finalidad de contener

posteriormente la carga explosiva para la fragmentación; realizado esto con la ayuda de máquinas denominadas perforadores, perforadoras o perforatrices en mallas de trabajo establecidas, como se ve en la figura 16.



Figura 16. Áreas de perforación y minado.

Dentro del ciclo de minado, la primera etapa operativa unitaria es la perforación, donde los resultados de esta etapa van a ser los taladros perforados, los cuales tienen que ser de buena calidad ya que influirán sobre el requerimiento del material fragmentado resultado de la voladura.

Dentro de los diferentes métodos de perforación, tenemos la perforación rotativa con broca tricónica que es el método más usado en minería de tajo abierto.

En la perforación intervienen diferentes variables, unas que son el resultado de la capacidad y dimensionamiento del equipo o perforadora y otras que son inherentes al ambiente de trabajo o banco de perforación. Todas estas variables influirán directamente en la eficiencia de la perforadora para lograr la cantidad de metros perforados propuestos por el área de planeamiento mina.

“Las variables identificadas del equipo son las siguientes:

- Diámetro de perforación.
- Velocidad y caudal de barrido.
- Fuerza de empuje (Pulldown).
- Velocidad de rotación (Rotary).
- Alcance máximo de perforación (longitud de barras).
- Tipo de broca.

- Capacidad de absorción de cargas radiales, axiales y rotacionales.
- Cantidad flujo de aire para evacuación de material triturado.

Dentro de la variable externas tenemos:

- Dureza del terreno o tipo de roca a perforar (Geología del yacimiento).
- Resistencia compresiva o discontinuidades del banco.
- Humedad o presencia de agua en el terreno.
- Nivelación del terreno para el traslado entre puntos de taladro” (Instituto Geológico y Minero de España, 1987, p.58)

En los siguientes párrafos se describe las características de la perforadora Bucyrus 49HR en base al “Manual de operaciones y mantención mecánica 49HR” (Bucyrus Inc., 2010).

La perforadora rotativa consta de varios componentes integrados en sistemas (Anexo C) que forman las diferentes partes que tiene la perforadora, para cumplir las determinadas funciones específicas de operación. Las partes principales se muestran en la figura 17.

La perforadora es montada en cadenas de oruga, permitiéndole propulsarse entre puntos dentro de una malla de perforación. También incorpora un sistema de gatos niveladores que estabilizan y nivelan la perforadora sobre terrenos irregulares.

Todas las funciones de perforación, se controlan desde la cabina del operador ubicada en la parte trasera de la máquina adyacente a la plataforma de perforación. Los controles, indicadores y pantalla gráfica de interfaz, se encuentran al alcance del operador desde un asiento ajustable. Unas ventanas grandes en la cabina proporcionan buena visibilidad para los trabajos de perforación.



Figura 17. Perforadora rotativa con accionamiento eléctrico.

Nota: Bucyrus Inc. (2010).

La sala de máquinas contiene la unidad compresión y la unidad motriz conformado por un motor eléctrico principal. El aire de la sala de máquinas está presurizado y filtrado por dos ventiladores. La velocidad de los ventiladores puede controlarse a través de variadores para reducir al mínimo la cantidad de aire aspirado al trabajar en clima frío.

También se cuenta con una plataforma de perforación, en el cual está instalado un mástil que sirve de soporte y guía al cabezal de perforación, el taladro se efectúa haciendo uso de la energía mecánica de empuje (Pulldown) y rotación (Rotary) sobre una broca tricónica ensamblada en una línea de perforación. El aire del compresor principal, pasa a través de la línea de perforación para realizar el barrido de la roca triturada (detritos) hacia la parte exterior del taladro.

Los sistemas que apoyan a las funciones de perforación y propulsión de la perforadora, se controlan por medio de una combinación de componentes eléctricos, mecánicos, hidráulicos y neumáticos. A continuación, se describe los sistemas principales.

a. Gatos de nivelación

Los gatos niveladores se ubican en las cuatro esquinas del chasis principal, se controlan desde la cabina del operador. Los dos gatos traseros (los más próximos al mástil) pueden ajustarse de modo independiente. Los dos gatos delanteros funcionan como pareja y se auto equilibran al extenderlos o retraerlos.

Cuando el sistema automático de nivelación se activa para elevar la perforadora, este buscará colocarlo a nivel cero (horizontal) a la altura más baja, quedando la posibilidad de mejorar su estabilidad manualmente.

b. Sistema de propulsión

La perforadora se monta y se propulsa sobre orugas individualmente controladas. El eje trasero es estacionario y está empernado rígidamente al chasis principal. El eje delantero se conecta a un eje ecualizador móvil que permite a los conjuntos de orugas permanecer en contacto frente a las irregularidades del terreno. El control de dirección se realiza desde la cabina del operador, logrando controlar las orugas izquierda y derecha de modo individual. Cada oruga tiene un freno de estacionamiento aplicado por resorte y liberado hidráulicamente que se suelta automáticamente cuando se aplica presión al motor hidráulico.

c. Conjunto de mástil y tirantes

El conjunto del mástil sostiene al cabezal giratorio de perforación y a su mecanismo de izaje. El mástil se eleva a su posición de trabajo por medio de un par de cilindros hidráulicos y queda

trabado en la posición vertical de perforación por dos pines de anclaje del mástil que son accionados hidráulicamente.

Los tirantes del mástil tienen bloqueos accionados por cilindros hidráulicos que fijan al mástil en su posición vertical. Los bloqueos se sueltan, permitiendo que los tirantes del mástil se plieguen automáticamente cuando se baja el mástil a la posición horizontal.

Todas las funciones de elevación y bajada del mástil se controlan desde la cabina del operador.

d. Bastidor de tubería - portabarra

La configuración estándar de bastidor de tubería para esta perforadora, consiste en un marco largo para tubería que se fija a un par de brazos giratorios tipo paralelogramo. Los brazos giratorios se fijan a la estructura interior del mástil permitiendo que el bastidor de tubería, baje de su posición de almacenamiento a la línea central de la tubería de perforación. El tubo queda fijado en el bastidor dentro de una "olla" en su parte inferior y, es fijada por medio de un mecanismo con gancho giratorio ubicado en la parte superior del bastidor de tubería. Cuando se carga un tubo en el bastidor y el mismo se inserta en la olla, un interruptor limitador eléctrico indica al PLC que accione un cilindro para cerrar la compuerta giratoria, fijando así el tubo.

e. Unidad Motriz

El mando de la bomba hidráulica y el compresor de aire, se conectan a extremos opuestos de un motor eléctrico de mando montado sobre una base inferior común. El motor proporciona la potencia para impulsar todas las funciones hidráulicas de la perforadora y al compresor que suministra el caudal de aire comprimido, necesario para la expulsión de los detritus del agujero perforado.

f. Transmisión de mando de bombas (PDT)

Todas las bombas que alimentan los sistemas hidráulicos principal y auxiliar, se conectan a una sola transmisión de mando de bombas y son impulsadas por esta. La PDT es un mecanismo reductor con varios ejes de salida impulsados por un eje de entrada común. Cada bomba hidráulica se monta en una brida y se conecta directamente a su eje impulsor de salida respectivo. La PDT está acoplada al motor de mando principal como uno de los componentes de la Unidad Motriz.

g. Sistema hidráulico auxiliar.

Este sistema suministra la presión y los controles necesarios para accionar la mayor parte del equipo hidráulico de lazo abierto, incluyendo los gatos niveladores, bastidores de tubería,

herramientas de desprendimiento, posicionadores de tubos, elevación del mástil y cilindros de pasadores de anclaje, cilindros de bloqueo de perforación angular, cilindros de prensa de tubos, winche auxiliar, freno de cabeza giratoria y la cortina contra polvo. Este sistema también suministra la potencia hidráulica para accionar los bloques de inclinación y cilindros para perforación de agujeros inclinados, la compuerta de bastidores de tubería, el bloqueo del bastidor de tubería y los posicionadores superior e inferior de tubos.

h. Sistema hidráulico principal.

El sistema hidráulico principal, está compuesto de dos sistemas de bombeo hidrostáticos de lazo cerrado con motores hidráulicos, filtros, coladores y controles de propulsión. El sistema proporciona la presión requerida para liberar los frenos de estacionamiento de propulsión.

i. Sistema hidráulico de baja presión.

El sistema hidráulico de baja presión, está compuesto por una bomba impulsada por motor eléctrico que suministra presión hidráulica a cuatro circuitos de lazo abierto, incluyendo los cilindros de la puerta del techo de la cabina, el cilindro de la compuerta de la plataforma, la bomba de grasa y pistón de admisión del circuito de arranque del compresor de aire.

j. Sistema neumático principal (de barra).

La función del sistema neumático principal consiste en suministrar un gran volumen de aire al barreno para enfriarla y para quitar los pedazos de roca partida del fondo del agujero perforado.

k. Sistema automático de lubricación.

El sistema automático de lubricación, consiste en dos sistemas básicos: de aceite y de grasa. Una bomba de aceite accionada neumáticamente, inyecta aceite en el aire del barreno para lubricarla. La misma bomba suministra aceite para impulsar una bomba de grasa que lubrica todos los puntos de engrase automático de la perforadora. Estos puntos incluyen los rodillos de las orugas, pasadores de ejes, gatos niveladores, prensas de plataforma, pivotes del mástil y cremalleras.

l. Carro de perforación.

El carro de perforación, proporciona el movimiento giratorio a través de la transmisión de rotación y el movimiento vertical a través de la transmisión de empuje a la tubería de perforación. El mecanismo reductor de giro es impulsado por un motor DC a través de una transmisión de engranajes para hacer girar la barra en ambos sentidos. El movimiento vertical del carro lo proporciona la caja

de engranajes de empuje acoplada a las cremalleras del mástil por medio de dos piñones, donde otro motor DC provee la potencia para este movimiento.

m. Sistema de rotación.

Este sistema está conformado por la caja de engranajes de giro, los motores de mando, el ventilador, el acoplamiento a la barra de perforación y el tablero de control de velocidad del motor eléctrico. La transmisión y el motor se pueden apreciar en la figura 18.

La caja de engranajes de giro impulsa el barreno y la tubería de perforación. Un motor eléctrico reversible suministra la potencia, la cual se transmite a través del eje impulsor intermedio hacia el eje impulsor principal. El motor se monta sobre la caja de engranajes. El aire a presión para la tubería de perforación, se conecta al eje impulsor principal a través de un sello giratorio tipo tubería. La caja de engranajes de giro se monta en la parte inferior del carro de perforación.

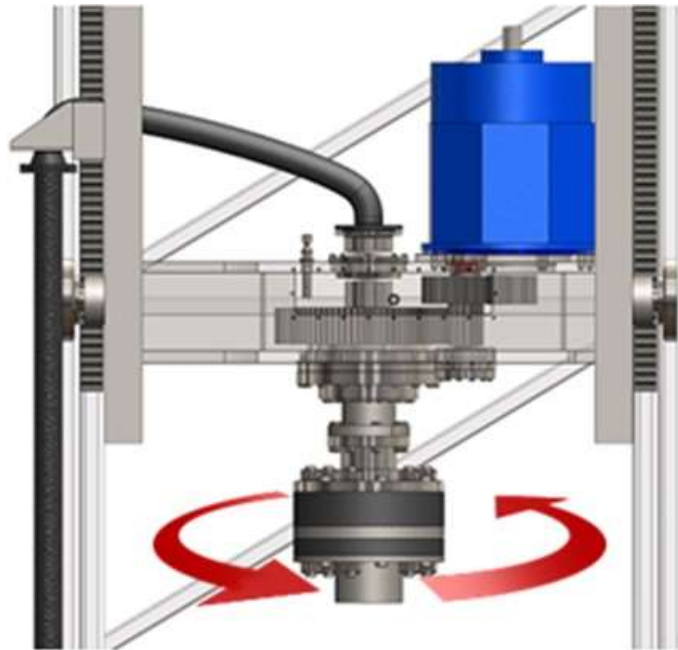


Figura 18. Conjunto de rotación.
Nota: Bucyrus Inc. (2010).

n. Sistema de elevación/empuje.

Los componentes del mecanismo de elevación/empuje son: la caja de engranajes, el motor y ventilador, los piñones impulsores y tensores, los frenos, el codificador de profundidad de barra y los rodillos guía. La transmisión y el motor se pueden apreciar en la figura 19.

La caja de engranajes de empuje, va instalada en el extremo superior del carro, impulsa el eje desplazante y los piñones impulsores de empuje. Un motor eléctrico enfriado por ventilación forzada proporciona la potencia. Los piñones impulsores y tensores se engranan en las cremalleras

soldadas a los miembros verticales del mástil. Los piñones tensores de empuje montados en los bastidores del carro, también se engranan con las cremalleras para proporcionar estabilidad al movimiento del carro. Unos rodillos guía montados en los lados laterales del carro opuesto al de los piñones tensores mantienen alineado al carro.

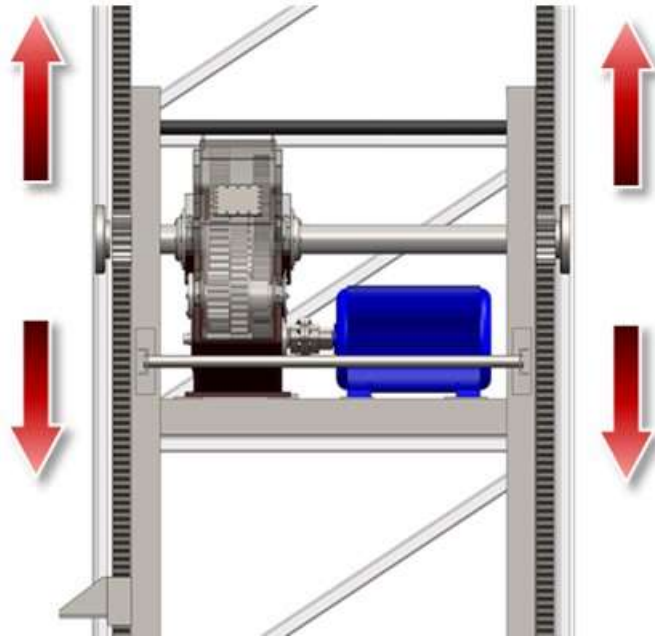


Figura 19. Conjunto de levante / empuje.
Nota: Bucyrus Inc. (2010).

El freno del cabezal levante/empuje es eléctrico, está controlado por un interruptor selector ubicado en la silla del operador; se usa para evitar el movimiento del cabezal debido a su deslizamiento cuando el operador no controla el cabezal de la máquina. Este freno de activación eléctrica requiere estar energizado para liberarse. Esta es una característica de seguridad que aplica automáticamente el freno cuando se interrumpe la potencia de la perforadora o se detecta una falla. Para liberar el freno de levante/empuje, se deben cumplir las siguientes condiciones:

- El control debe estar activado.
- La perforadora debe estar en el modo perforación.
- No debe haber una falla activa de velocidad excesiva del cabezal.
- El interruptor selector de freno del cabezal debe estar en posición liberado.

o. Sistema eléctrico.

La perforadora "totalmente eléctrica" recibe alimentación de una fuente externa de energía eléctrica. La potencia de alto voltaje llega a la perforadora a través de un cable conectado a una subestación local, esta normalmente proporciona la alimentación de alto voltaje a la perforadora. El

voltaje y frecuencia de entrada dependen de los requisitos específicos de cada perforadora. La potencia trifásica de 60 Hz se transfiere a la perforadora a través de un cable blindado flexible (SHD-GC) que tiene un acoplador o conector en su extremo, que se conecta a una caja de empalmes externa ubicada en el centro del enrollador de cables de la perforadora.

La potencia eléctrica recibida se envía de la caja de empalmes exterior, ubicado en el gabinete de alto voltaje, donde se tiene el interruptor de desconexión principal que está en el lado derecho de este gabinete; también cuenta con un sistema de seguridad ante accesos no autorizados que bloquean el interruptor, este sistema tiene el nombre de “Kirk Key”. La potencia de alto voltaje se distribuye del gabinete de alto voltaje y a los controles del motor de mando principal y al transformador principal.

Los componentes de potencia principales en la perforadora son mostrados en la figura 20:

- Motor principal del compresor.
- Motor de levante /empuje.
- Motor de rotación.
- Controles generales y potencia.

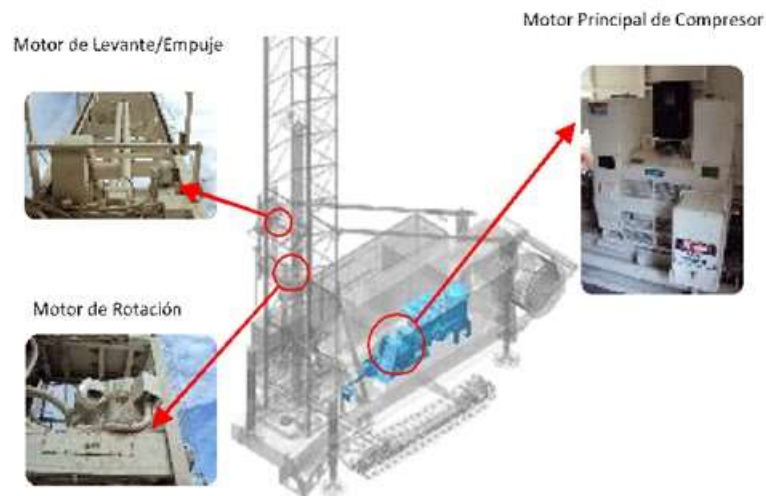


Figura 20. Ubicación de componentes principales en la perforadora.

Nota: Bucyrus Inc. (2010).

Los motores DC, instalados en el carro de perforación ubicado en el mástil como se muestra en la figura 20, son provistos de energía eléctrica provenientes del variador mediante conductores eléctricos flexibles instalados a lo largo del mástil, a través de conductores de 500MCM para las armaduras del motor de rotación, 4/0 para las armaduras del motor de levante/empuje, 6 AWG para los campos.

Los variadores de corriente continua toman energía del lado secundario del transformador principal, que tiene una relación de transformación de 7200V/480VAC, para posteriormente entregar la tensión necesaria a las armaduras y los campos de los motores, de acuerdo con la señal de referencia que varía de -10 VDC a +10 VDC.

Todo el control lógico de la máquina (considerando la secuenciación de accionamiento) lo realiza Controlador Lógico Programable (PLC). Este dispositivo está montado en un gabinete ubicado en la sala de la maquinaria, junto con otros dispositivos de control de entrada/salida, suministros de potencia, relés, tableros de control electrónicos/hidráulicos y otros dispositivos de control. El PLC se comunica con todas las funciones de la máquina, mediante varios nodos de entrada y salida que se encuentran en el gabinete del controlador programable y en la cabina del operador. La comunicación entre el procesador PLC y estos nodos de E/S remotos, se lleva a cabo a través de un protocolo PROFIBUS estándar en la industria. La información del operador, los datos y el ajuste de los parámetros de la máquina, se manejan a través de la pantalla del operador que está montada en la cabina. Esta pantalla incorpora una interfaz de pantalla táctil para las entradas del operador y se comunica directamente con el procesador del PLC mediante Ethernet.

El asiento del operador tiene dos módulos, uno de cada lado. Estos sistemas de control independientes contienen varios botones, interruptores y palancas externos que el operador usará para controlar la perforadora.

En general, todo el sistema de control PLC y la pantalla del operador están alimentados con un suministro de alimentación de 24VDC que se encuentra dentro del gabinete de control. Este suministro de alimentación de 220/240 VCA de un transformador de voltaje constante que proporciona una fuente de potencia relativamente estable para todos los circuitos de control. Todos los arrancadores de los dispositivos auxiliares, están alojados en el centro de control de motores que se encuentra en la sala de la maquinaria. Normalmente, el mismo gabinete contiene los dispositivos de secuencia de fase y de protección contra fallas a tierra.

En la figura 21, se muestra el diagrama unilineal de la distribución principal y los sistemas de control de la perforadora 49HR.

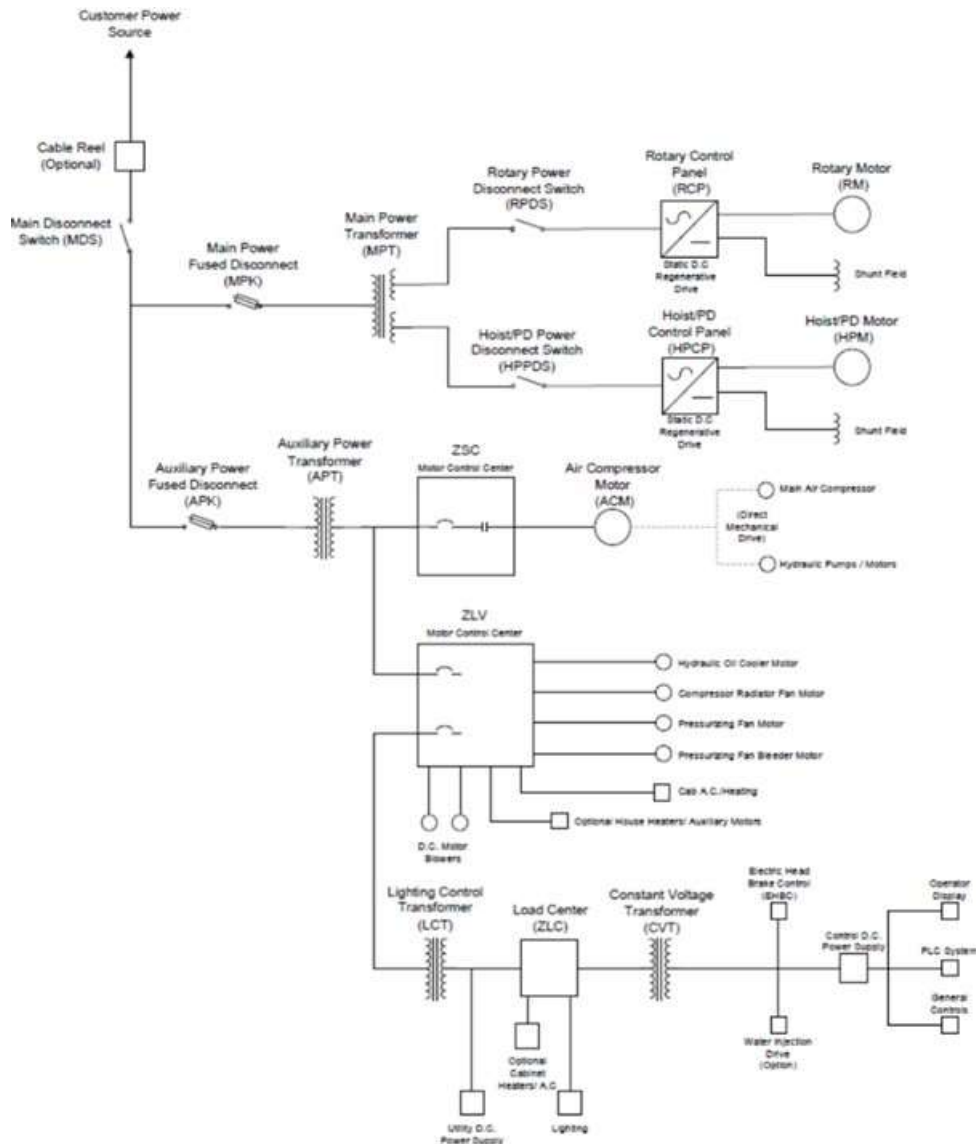


Figura 21. Diagrama unifilar de la distribución de energía.
Nota: Bucyrus Inc. (2010).

El equipo de arranque del motor del compresor, está montado en otro centro de control del motor (ZSC) que también se encuentra en la sala de la maquinaria. El motor del compresor puede incorporar un contactor de vacío o un contactor de aire estándar, dependiendo de potencia de la aplicación y del voltaje de la fuente. Los componentes del sistema de protección contra fallas a tierra del motor del compresor se encuentran en el gabinete ZSC.

2.3 DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS

- **Variador de velocidad:** es un dispositivo mecánico-hidráulico o eléctrico-electrónico cuya función es variar la velocidad en el punto de accionamiento de acuerdo con las necesidades de la aplicación.

- **Variador de velocidad electrónico:** es un dispositivo electrónico diseñado para controlar la velocidad y torque de un motor.
- **Variador de velocidad DC:** es un equipo electrónico para controlar motores de corriente continua usando tecnología electrónica para controlar el disparo de SCR.
- **Sistema de rotación-empuje:** es un sistema que contiene los dispositivos y componentes necesarios para realizar la función de perforación de la perforadora.
- **Motor de corriente continua:** es una máquina eléctrica accionada por corriente directa o corriente continua que convierte la energía eléctrica en mecánica, originando un movimiento rotacional en el eje producto de la interacción de campos magnéticos.
- **Confiabilidad:** es la capacidad de un equipo de no fallar en un determinado tiempo bajo las mismas condiciones de funcionamiento.
- **Número de detenciones:** es la cantidad de paradas programadas y no programadas de un equipo dentro del tiempo destinado a la operación.
- **Horas de detenciones:** es el tiempo total utilizado por la parada de un equipo dentro del tiempo operativo.
- **Perforadora:** es un equipo utilizado en la plataforma de perforación con el fin de perforar agujeros que contendrán el material explosivo en el proceso de voladura.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1 MÉTODO Y ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN

3.1.1 Tipo de Investigación.

La presente investigación es de tipo aplicada, ya que el presente estudio busca actuar y producir cambios, mejorando el nivel de confiabilidad de la perforadora Bucyrus 49HR. Anglas (2017) establece que el tipo de investigación aplicada hace uso del sistema de conocimientos teóricos para resolver problemas prácticos.

3.1.2 Nivel de Investigación.

La investigación es nivel explicativo. En las investigaciones explicativas se realiza pruebas de pre y post test, estableciendo la relación causa efecto entre las variables independiente y dependiente (Valderrama, 2015).

3.2 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

El diseño de investigación es cuasi experimental. En este tipo de diseños se manipula intencionalmente una variable independiente para evaluar su efecto en una variable dependiente (Valderrama, 2015).

“En los diseños cuasi-experimentales, los sujetos no se asignan al azar a los grupos ni se emparejan, sino que dichos grupos ya están conformados antes del experimento” (Hernández, Fernández y Baptista, 2014, p. 151).

Tabla 2.

Diseño de la investigación

Grupo	Registro		
	Pre test	Tratamiento	Post test
Único	Y ₁	X	Y ₂

Donde:

Y₁: Confiabilidad de la perforadora con variadores 6RA70.

X: Adaptación de variadores de velocidad para la perforadora.

Y₂: Confiabilidad de la perforadora con los variadores adaptados.

En el presente estudio se determina el nivel de confiabilidad de la perforadora Bucyrus 49HR (pre-test), luego se procede a adaptar nuevos variadores de velocidad e instalarlos en la perforadora (tratamiento); finalmente, se evalúa la confiabilidad de la perforadora con los variadores de velocidad adaptados (pos test).

3.3 POBLACIÓN Y MUESTRA

3.3.1 Población

La población estuvo conformada por el conjunto de variadores de velocidad de la flota de perforadoras 49HR, a razón de 7 perforadoras y 14 variadores en los sistemas de rotación y empuje.

3.3.2 Muestra

La muestra estuvo constituida por dos variadores de la perforadora Bucyrus Inc. modelo 49HR N° Serie 141307. Esta fue elegida por un método de muestreo por conveniencia. Este tipo de muestreo permite que el investigador, con base en sus conocimientos y experiencia, seleccione a los sujetos que formarán parte del estudio (Anglas, 2017).

3.4 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

La técnica empleada en la presente investigación fue la observación de campo. El instrumento de recolección es una hoja Excel donde se recopiló la información de la base de datos de dispatch referente a los números de detenciones, tiempo de detenciones, tiempo de operación disponible (Anexo D).

La medición de los modos de operación se recogió en la hoja C de comisionado (Anexo E) en ella se registró los indicadores para los variadores de velocidad de rotación y empuje, tales como:

- Máxima velocidad del motor (rpm).

- Máxima velocidad de avance (ft/min).
- Máximo voltaje de armadura (VDC).
- Corriente de Stall (ADC).
- Corriente de campo (ADC).
- Corriente a velocidad máxima (ADC).
- Velocidad de broca (rpm).
- Resistencia de motor de rotación y empuje.
- Inductancia de motor de rotación y empuje

Para el levantamiento de los datos eléctricos se utilizaron instrumentos como el multímetro, tacómetro, el HMI propio del equipo y esquemáticos correspondientes a la instalación eléctrica de los sistemas de rotación y empuje de la perforadora Bucyrus 49HR.

3.5 PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS ESTADÍSTICO

El procesamiento de la información se realizó con el uso del Excel para el registro de información, elaboración de tablas resumen y elaboración de figuras estadísticas.

La prueba del sistema de hipótesis se realizó empleado el software IBM SPSS Estatistic 26. Primero se realizó la prueba de normalidad de la data mediante el test Shapiro-Wilk, debido a que el número de datos es menor a 30, al determinar que los datos muestran normalidad se realizó la prueba de hipótesis con la prueba t ya que como indica Hernández, Fernández y Baptista (2014) “la prueba t es una prueba estadística para evaluar si dos grupos difieren entre sí de manera significativa respecto a sus medias en una variable” (p. 310).

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 RESULTADOS DEL TRATAMIENTO Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

4.1.1 Evaluación de variadores 6RA70

Se realizó el levantamiento de información referente al número y tiempo de detenciones de la flota de perforadoras Bucyrus 49HR por sistema, tomando los datos del Distpach.

En la figura 22, se muestra el número de detenciones y tiempo de detenciones (horas) de los sistemas que afectan al funcionamiento de la flota de perforadoras Bucyrus 49HR. Se evidencia que el mayor número y tiempo de detenciones que ocurren por falla en los variadores de rotación y empuje (códigos PP062 y PP058), se presentan en la perforadora 49HR N° de Serie 141307 (TD012).

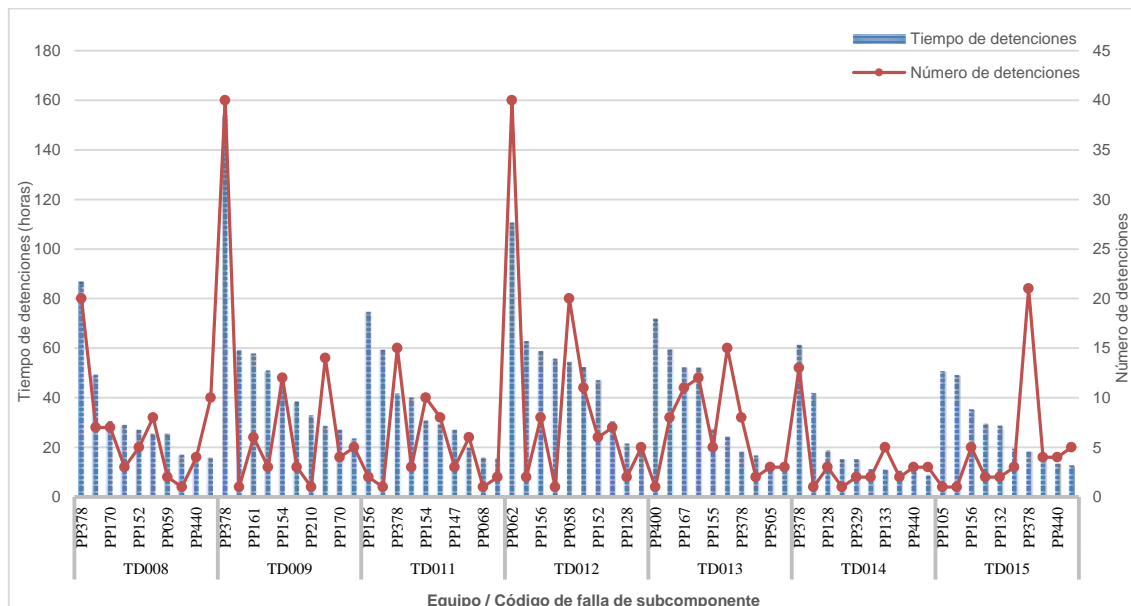


Figura 22. Pareto de la flota de perforadoras BE49HR

En la figura 23, se muestra el top ten de fallas tomando en cuenta el tiempo de detenciones (horas) no programado de la perforadora Bucyrus 49HR N° de Serie 141307. Se observa que el mayor

número y tiempo de detenciones se presenta por el mal funcionamiento del variador de rotación (PP062) y el variador de empuje (PP058).

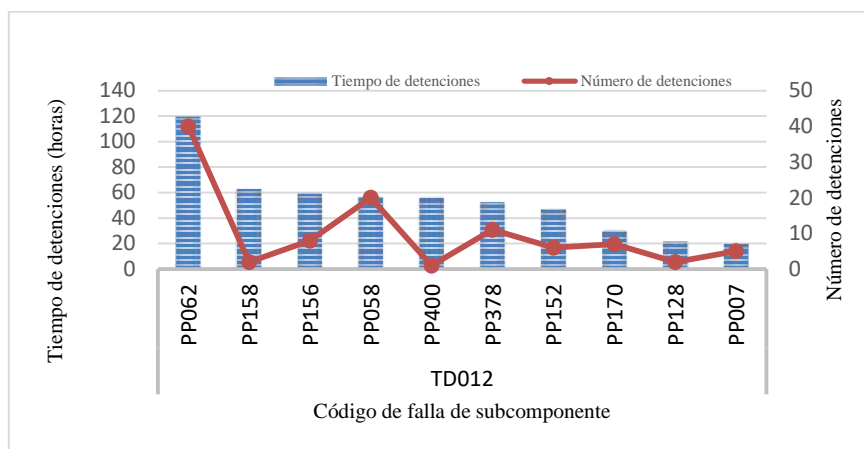


Figura 23. Horas de detención de la perforadora Bucyrus 49HR N° de Serie 141307 en el año 2019.

El detalle de los códigos de falla por subcomponentes de la perforadora se encuentra en la tabla 3.

Tabla 3.

Códigos de fallas frecuentes por Subcomponentes de la perforadora.

Código	Subcomponente	Sistema
PP046	TARJETA CONTROL DE PROPULSIÓN	CONTROL
PP033	UPS UNIDAD ENERGIA ININTERRUMP	CONTROL
PP058	DRIVE DE EMPUJE	CONTROL DE POTENCIA
PP062	DRIVE DE ROTACIÓN	CONTROL DE POTENCIA
PP329	CILINDRO HIDRÁULICO	EMPUJE
PP499	ELECTRICIDAD MÍNA	ENERGIA
PP121	SPROCKET DE CABLE REEL	ENRROLADOR DE CABLE
PP163	ESTRUCTURA PRINCIPAL	ESTRUCTURA PRINCIPAL
PP167	COMPUERTA VISUALIZADORA BROCA	ESTRUCTURA PRINCIPAL
PP170	CORTINA DE POLVO	ESTRUCTURA PRINCIPAL
PP210	BOMBA DE GRASA	LUBRICACION
PP128	ESTRUCTURA DE MASTIL	MASTIL
PP133	SEGURO DE MASTIL	MASTIL
PP148	PIÑÓN RACK	MASTIL
PP153	VENTILADOR MOTOR ROTACIÓN	MASTIL
PP158	MOTOR ELÉCTRICO DE EMPUJE	MASTIL
PP266	BASTIDOR	PROPULSION
PP186	PANEL DE CONTROL	SISTEMA CABINA
PP194	PUERTA	SISTEMA CABINA
PP378	COMPRESOR	SISTEMA DE AIRE
PP007	CABLE DE POTENCIA	SISTEMA DE POTENCIA
PP440	GATO DE NIVELACIÓN	SISTEMA HIDRULICO
PP400	FILTROS DE AIRE	SISTEMA MOTOR DIESEL

4.1.1.1 Confiabilidad de los variadores de velocidad 6RA70.

Los valores de confiabilidad (MTBF) se calcularon con la siguiente fórmula:

$$MTBF = \frac{\text{Tiempo de operación disponible} - \text{tiempo de detenciones}}{\text{N}^\circ \text{ de eventos de falla}} \quad (17)$$

Tabla 4.

Número y tiempo de detenciones, tiempo de operación disponible y confiabilidad con los variadores 6RA70.

Meses	Número de detenciones	Tiempo de detenciones (horas)	Tiempo de operación disponible (horas)	Confiabilidad MTBF (horas)
Enero	21	75,33	605,92	21,20
Febrero	12	119,48	650,07	27,56
Marzo	14	142,73	673,32	25,61
Abril	12	99,14	629,73	28,18
Mayo	33	276,64	674,62	12,06
Junio	18	57,45	588,04	29,48
Julio	36	147,51	678,11	14,74
Agosto	30	77,89	608,48	17,69
Septiembre	29	123,78	653,77	18,30
Octubre	29	144,17	674,70	18,29
Noviembre	33	60,79	591,30	16,08
Diciembre	44	228,57	681,77	10,30
Total anual	311	1552,88	7709,83	17,71

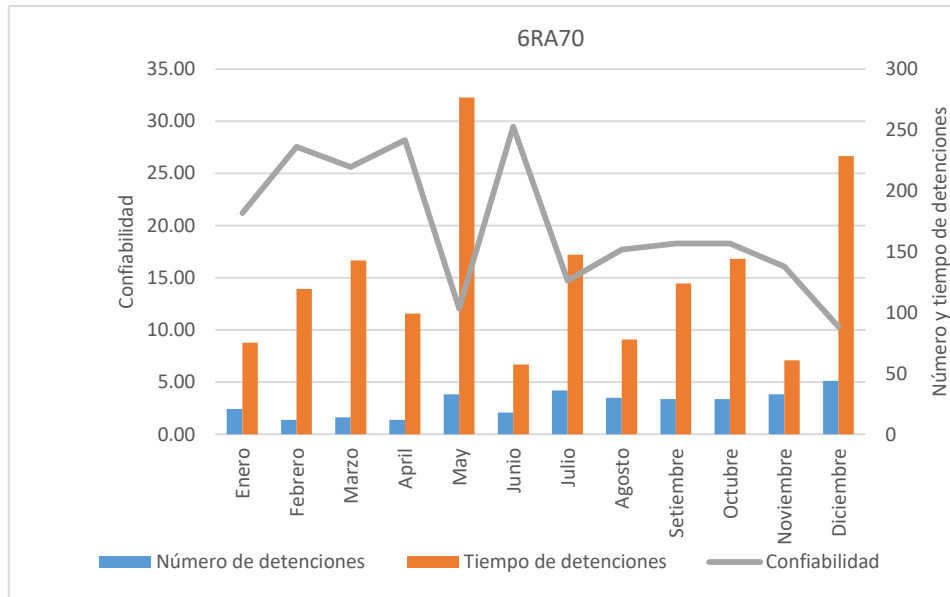


Figura 24. Número, tiempo de paradas y confiabilidad con los variadores 6RA70.

En la tabla 4, se muestran el número de detenciones, tiempo de detenciones, tiempo de operación disponible y la confiabilidad de la perforadora 49HR N° Serie 141307, con los variadores de velocidad 6RA70 durante el periodo 2019.

En la tabla 4 y figura 24, se observa que el mayor número de detenciones se presentó en el mes diciembre (44 detenciones), seguido del mes de julio con 36 detenciones y los meses de mayo y noviembre con 33 detenciones cada uno; el menor número de detenciones se dio en los meses de febrero y abril con 12 detenciones cada uno; el total de detenciones reportados para el año 2019 de la perforadora Bucyrus 49HR con variadores de velocidad 6RA70 fue de 311 detenciones.

En esa misma línea, el mes de mayo se registró el mayor número de horas de detención (276,64), seguido del mes de diciembre con 228,57 horas de detención, el mes con menor número de horas detenidas fue junio con 57,45 horas; el tiempo total de detenciones reportados para el año 2019 de la perforadora Bucyrus 49HR con variadores de velocidad 6RA70 fue de 1 552,88 horas.

Con referencia a la confiabilidad, se evidencia que los menores valores de MTBF se registraron en los meses de mayo y diciembre (12,06 horas y 10,30 horas, respectivamente). Los mayores valores de MTBF se presentaron en los meses de abril y junio (con 28,18 horas y 29,48 horas, respectivamente). En esa misma línea, se evidencia que, a lo largo del año 2019, los valores de MTBF registrados para la perforadora 49HR, no cumplía con los valores aceptados por la Compañía Minera de tajo abierto (MTBF=17,71 horas), ya que el mínimo aceptado de MTBF es igual a 30 horas (Anexo F).

4.1.2 Adaptación del variador de velocidad DCS800

Para el cambio de los variadores, se solicitó al fabricante la reposición de ambos variadores de velocidad, respondiendo que no disponían del variador ya que SIEMENS consideró al modelo discontinuado (Anexo G). Por otro lado, la opción de actualización del 6RA70 por parte del fabricante significaba un elevado costo que no estaba previsto en el presupuesto destinado para mantenimiento.

En este punto se analizó la posibilidad de utilizar una empresa integradora que ejecute el proyecto, por lo cual se evaluó las propuestas mostradas en la tabla 5.

Tabla 5.

Tabla comparativa para el cambio del variador 6RA70

Tabla comparativa para la instalación y puesta en servicio de 1 kit de variador			
(el kit consta de un variador para Izado y otro para Rotación)			
Proveedor	Fabricante	Integrador 1	Integrador 2
Marca de variador ABB	Siemens	Marca ABB	Mentor
Modelo de variador ABB	6RA80	Requiere estudio para definir	Requiere estudio para definir
Tiempo de entrega	23 semanas	12 a 15 semanas	18 semanas
Tiempo de instalación de tableros en la perforadora	4 días	4 días	8 días
Suministro de 02 tableros con variadores (rotación y empuje)	US\$ 283,000.00	US\$ 93,108.00	US\$ 77,662.00
Instalación eléctrica de tableros			US\$ 5,767.00
Puesta en servicio de 02 drives		US\$ 23,800.00	US\$ 8,359.00
TOTAL (sin IGV).	US\$ 283,000.00	US\$ 116,908.00	US\$ 91,788.00
Montaje del tablero	Personal de la minera deberá instalar los tableros armados.	Personal de la minera deberá instalar los tableros armados.	La propuesta es con personal de supervisión en seguridad, supervisor de control y 4 técnicos para montaje.
Experiencia	Cuenta con la experiencia de fabrica	No ha instalado en alguna aplicación similar	No ha instalado en alguna aplicación similar

Visto que los costos eran muy altos y al estar la Compañía Minera bajo una política de ahorro y reducción de costos, se decidió la compra de los variadores y que la instalación y adaptación se realizara bajo la responsabilidad del investigador. Para tal efecto se realizó la evaluación cualitativa de las marcas, tal y como se muestra en la tabla 6.

La elección de los variadores tuvo en cuenta el análisis de expertos, tales como, el ranking del 2018 acerca de las empresas mejor posicionadas en la venta de variadores, publicado en la revista del mercado tecnológico IHS Marking, donde indican que el variador de ABB es el líder en el mercado mundial de los variadores de bajo voltaje. Además, en el trabajo de investigación realizado por Espinosa y Suarez (2014) titulado “Estudio técnico y financiero para la adquisición de variadores de frecuencia con aplicación en unidades de bombeo mecánico en la superintendencia de operaciones la Cira Infantas de Ecopetrol S.A.” donde, para su trabajo de investigación realizaron “una calificación cuantitativa con base en las consideraciones de expertos” (p. 33), y por la calificación seleccionaron a ABB, UNICO, YASKAWA y DANFOSS para el análisis técnico y económico (p. 34), finalmente, determinaron que “el equipo YASKAWA A1000 presenta el mejor resultado con una relación beneficio/costo” (p. 69) y “según el análisis incremental la referencia ABB ACS800 presenta el mayor VPN incremental” (p. 69).

Tabla 6.

Evaluación cualitativa de marcas de variadores

	ABB	SIEMENS	Danfoss
Prestigio por evaluación de revista internacional	✓✓✓	✓✓	✓
Experiencia del personal de la Compañía Minera en la marca.	✓	✓	✓
Confiabilidad del equipo instalado en aplicaciones dentro de la Compañía Minera	✓	✓	
Facilidad de adquisición	No presenta problemas en la venta	No puede vender directamente a la Compañía Minera solo lo realiza a través del fabricante por convenio corporativo	No presenta problemas en la venta
Consultas a experto	✓✓✓	✓✓	
Soporte técnico posventa y garantía	✓✓✓	✓✓	✓
Facilidad para la adquisición de repuestos	✓✓✓	✓✓✓	✓

A fin de que se realizará la asignación de presupuesto para el desarrollo del presente proyecto, el investigador presentó la propuesta económica a la gerencia de la Compañía Minera, dichos costos son referenciales y se muestran en la tabla 7. Es importante precisar que este presupuesto corresponde al costo de componentes necesarios para la adaptación de un solo variador.

Tabla 7.

Lista de precios para un variador de rotación o empuje.

Cantidad	Unidad	Descripción	Precio (S/.)
1	unidades	Variador DCS800	39,160.00
1	unidades	Extensión de entradas y salidas análogas	1,246.00
1	unidades	Extensión de entradas y salidas digitales	1,246.00
1	unidades	Transformador auxiliar	1,780.00
1	unidades	Kit de panel de control	534.00
1	unidades	Tarjeta para comunicación	2,670.00
1	unidades	Line Reactor	8,900.00
1	unidades	Cable de fibra óptica	356.00
5	unidades	Base porta fusible	1,780.00
3	unidades	Fuse UR 750A / 690V	5,340.00
2	unidades	Fusible de campo	1,068.00
1	unidades	Contactador DC	12,460.00
1	unidades	Bloque de contacto auxiliar	534.00
1	unidades	Puente Rectificador	890.00
1	set	Accesorios de montaje	5,340.00
1	unidades	Bandeja para montaje	2,848.00
1	set	Barra de cobre	1,780.00
1	set	Barra de plata	1,780.00
1	set	Cable de fuerza	5,340.00
1	set	Cable de control	1,068.00
			S/. 96,120.00

Nota: Tipo de cambio S/. 3.359.

Levantamiento de datos de los motores

Cuando se realiza una adaptación de algún componente dentro del sistema, es necesario asegurar que los componentes que interactuarán, en este caso con el variador de velocidad, se encuentren en buen estado de funcionamiento.

Para ello se toma los datos de los motores eléctricos de corriente continua ubicados en el mástil de la perforadora (figura 25). Los datos de placa importantes son:

- Tipo de conexión.
- Potencia.
- Tensión de armadura.
- Corriente de armadura.
- Tensión de excitación.
- Corriente de excitación.

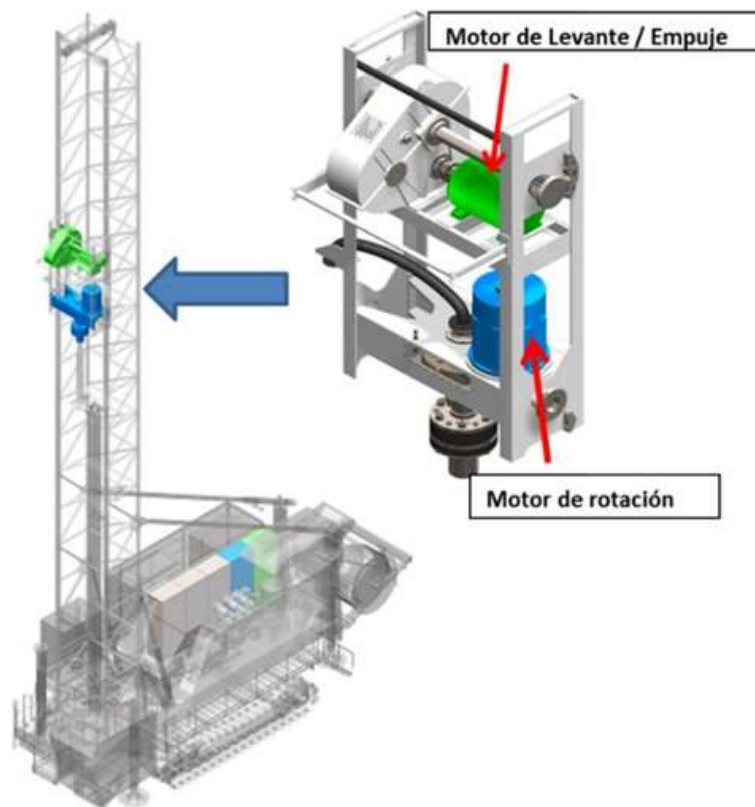


Figura 25. Ubicación del motor de rotación y motor de levante/empuje.

La identificación de los motores se realizó con la toma de datos de la placa que se muestran en la tabla 8, estos son: tipo de conexión, potencia, tensión de armadura, corriente de armadura, tensión de excitación y corriente de excitación. Estos motores son de excitación independiente y los datos ya están derrateados para la altura de 4,300 m.s.n.m.

Tabla 8.*Datos de placa de los motores DC.*

Motor de Empuje / Elevación						
Objeto:	MOTOR DE CORRIENTE CONTINUA	Potencia:	130	HP		
Marca	G.E MOTOR	Tensión Armadura:	475	V		
Modelo	5MD08219902UA	Corriente Armadura:	225	A		
Tipo	MDP808AAR	N/S:	RY-7-30-RY	Tensión Excitación:	136	V
Conexión	SHUNT.	RPM:	1125	Corriente Excitación:	11.0	A
Motor de Rotación						
Objeto	MOTOR DE CORRIENTE CONTINUA	Potencia:	195	HP		
Marca	G.E MOTOR	Tensión Armadura:	475	V		
Modelo	5MD100Z190101UB02	Corriente Armadura:	330	A		
Tipo	MDV810AAR	N/S:	WP-7-54-WP	Tensión Excitación:	144	V
Conexión	SHUNT.	RPM:	1075	Corriente Excitación:	14.2	A

Nota: Los valores fueron tomados con un multímetro 289 Fluke y pinza 736 FC Fluke.

Medición de valores de los motores DC

La Norma EASA AR100-2015 (EASA, 2015), para los bobinados de motores de corriente continua en su acápite 4.3.4, recomienda realizar pruebas de integridad, por lo cual se realizó la prueba de resistencia y la prueba de caída de tensión; ésta última se realizó utilizando corriente alterna para verificar si las uniones y bobinados no presentan caídas de tensión que impidan seguir operando los motores con el variador.

Pruebas de resistencia óhmica

Esta prueba se realizó haciendo la medición directa con un instrumento de medida, moviendo el rotor a diferentes posiciones equidistantes, los valores se muestran en la tabla 9.

Tabla 9.*Prueba de valor de resistencia de motores.*

Motor de empuje		Motor de rotación	
Bornes	Resistencia	Bornes	Resistencia
Campo (F1-F2)	13.6 Ω	Campo (F1-F2)	12.57 Ω
Interpolo (A1-A2)	25.3 m Ω	Interpolo (A1-A2)	14.4 m Ω
Armadura	103.1 m Ω	Armadura (A1-A2)	51.6 m Ω

Nota: Valores de resistencia tomadas con un multímetro 289 Fluke.

Pruebas de caída de tensión con corriente alterna (AC)

La tabla 10, muestra las medidas de las caídas de tensión en las bobinas de los campos principales con tensión de 201 VAC y corriente de 0.20 A para el motor de levante y empuje, 0.25 A para el motor de rotación, además el voltaje se ve distribuido en el grupo de bobinas.

Tabla 10.

Caída de tensión AC en campos.

Motor de empuje		Motor de rotación	
Campo	Tensión (Vac)	Campo	Tensión (Vac)
#1	50	#1	50.5
#2	50	#2	50
#3	50	#3	50
#4	51	#4	50.1

Nota. Valores de voltaje alterno tomadas con un multímetro 289 Fluke.

Para los interpolos se realizan las pruebas con tensión de 60 V produciendo un consumo de 42.5 A para el motor de empuje y 34 A para el motor de rotación, como se muestran en la tabla 11.

Tabla 11.

Caída de tensión en interpolos con AC

Motor de empuje		Motor de rotación	
Interpolo	Tensión (Vac)	Interpolo	Tensión (Vac)
#1	15	#1	14.1
#2	15	#2	14.9
#3	15	#3	14
#4	15	#4	14.9

Nota. Valores de voltaje alterno tomadas con un multímetro 289 Fluke.

Pruebas de caída de tensión con corriente continua (DC)

La tabla 12, muestra las medidas de las caídas de tensión en las bobinas de los campos principales con tensión de 100 VDC y corriente de 8.2 A en el motor de empuje y 10 A para el motor de rotación, con esto también se verifica la resistencia de los bobinados de campo. Los datos se muestran en la tabla12.

Tabla 12.

Caída de tensión DC en bobinados de campo.

Campo	Tensión (Vdc)	Campo	Tensión (Vdc)
#1	25	#1	24.9
#2	25	#2	24.5
#3	25	#3	24.7
#4	25	#4	25

Nota. Valores de voltaje continuo, tomadas con un multímetro 289 Fluke.

Con las pruebas realizadas a los motores y la verificación del aislamiento de los conductores, se determinó que, al concluir la prueba de los motores, estos están en condiciones de seguir operando por lo cual, se prosiguió con la toma de valores de los variadores de velocidad.

Los valores que representan el modelo matemático de los motores de empuje y rotación se muestran en el anexo H; de esta lista de valores, se eligieron los de la resistencia e inductancia de armadura y la resistencia de campo porque son las necesarias para iniciar el proceso de parametrización y arranque.

Registro de datos del variador

En las figuras 26 y 27, se muestran los valores de velocidad, corriente y voltaje obtenidos del variador de rotación y empuje en un ciclo de perforación sobre un terreno de dureza media. En ellas, se puede evidenciar los límites de velocidad y corriente que el variador muestra durante el funcionamiento de los motores de rotación y empuje (los datos registrados para estas figuras se encuentran en el Anexo I).

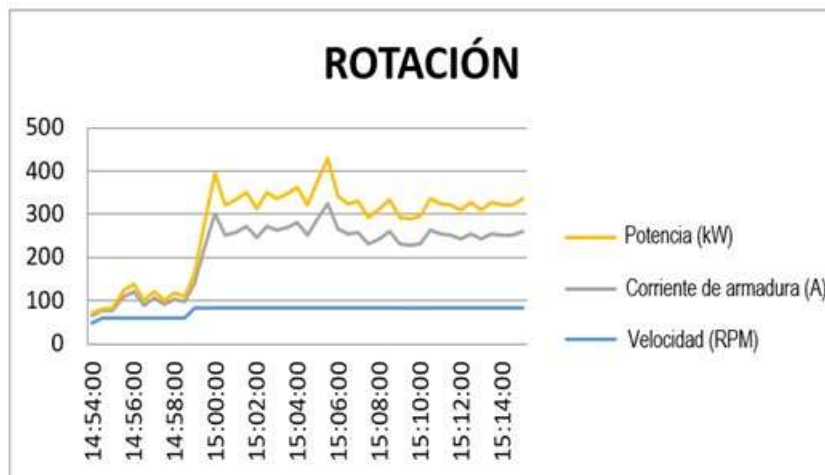


Figura 26. Potencia, corriente de armadura y velocidad del motor de rotación.

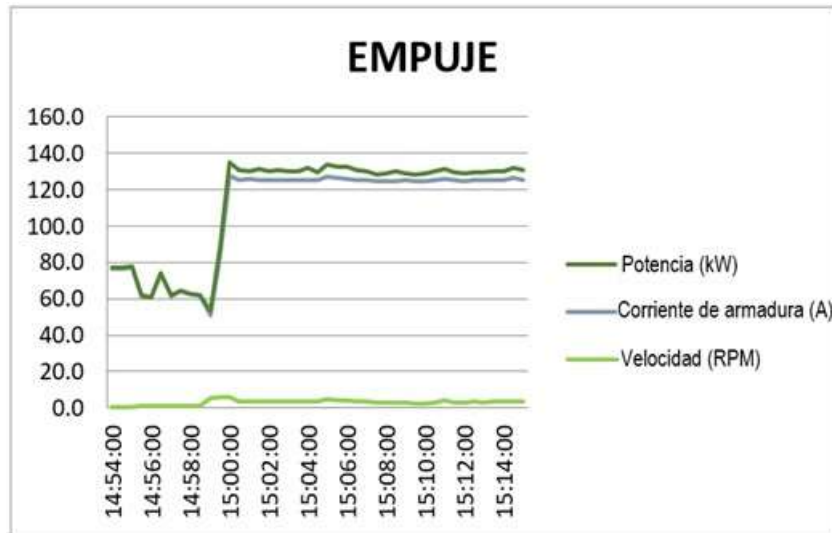


Figura 27. Potencia, corriente de armadura y velocidad del motor de empuje.

Para la verificación del comportamiento de los motores de empuje, se realizaron pruebas iniciales con el variador 6RA70 en buen estado, las cuales deben coincidir con la hoja de registro inicial de entrega del equipo (tablas 13 y 14), culminado el cambio parametrización y sintonización de los variadores de los motores de rotación y empuje, se tuvo que realizar la misma prueba para evidenciar que la perforadora será entregada operativa con las mismas características de velocidad y torque originales, esta validación de operatividad se realizó en presencia de un responsable de operaciones mina que verifique las condiciones de entrega del equipo.

Tabla 13.

Estándares de funcionamiento del variador de empuje data original.

Indicadores	Modos			
	Empuje	Baja velocidad de levante	Alta velocidad de levante	Movimiento de barra
	6RA70	6RA70	6RA70	6RA70
Máxima velocidad de motor (rpm)	473,00	1119,00	1533,00	496,00
Máxima velocidad de avance (ft/min)	23,10	54,70	75,00	24,30
Máximo voltaje de armadura (VDC)	226,00	500,00	500,00	179,00
Corriente de Stall (ADC)	265,00	265,00	425,00	425,00
Corriente de campo (ADC)	10,35	10,35	5,63	5,63
Corriente a velocidad máxima (ADC)	265,00	265,00	265,00	360,00

Tabla 14.

Estándares de funcionamiento del variador de rotación

Indicadores	Modos		
	Velocidad baja	Velocidad media	Velocidad alta
	6RA70	6RA70	6RA70
Corriente de campo (ADC)	13,40	9,50	7,50
Velocidad de broca (rpm)	100,00	117,00	134,00
Velocidad de motor (rpm)	1104,00	1286,00	1475,00
Máximo voltaje de armadura (VDC)	425,00	461,00	500,00
Corriente de Stall (ADC)	399,00	399,00	399,00

Dimensionamiento del variador y sus componentes

Al seleccionar el variador de velocidad, la primera característica a evaluar es el tipo de aplicación donde funcionará el variador, entonces, considerando que los motores de rotación y empuje tienen que invertir el sentido de giro, el variador debe tener dos conjuntos de puentes rectificadores, es decir, deben ser de cuatro cuadrantes (figura 28). Sabiendo que la alimentación a los variadores es trifásica, cada conjunto de seis tiristores será un puente rectificador totalmente controlado.

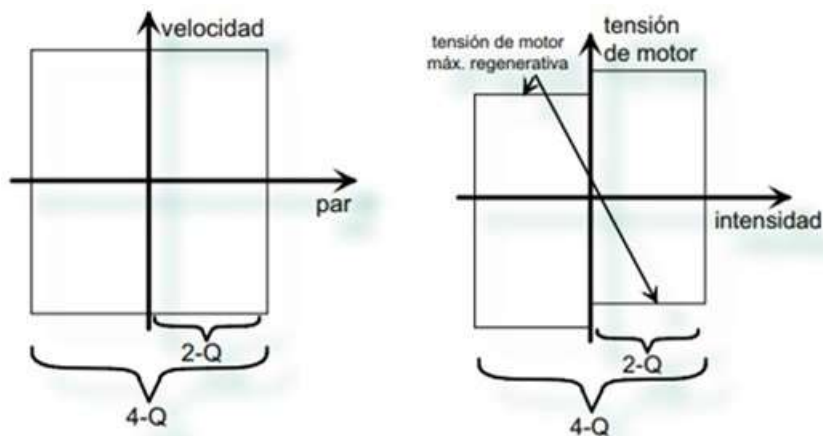


Figura 28. Comportamiento de par – velocidad en cuatro cuadrantes.
Nota: ABB, 2012.

Datos externos a los variadores.

- Tensión de alimentación: 480VAC.
- Tensión de control: 230VAC.
- Altura: 4300 msnm.

- Entradas y salidas analógicas.
- Entradas y salidas discretas.
- Refrigeración forzada del gabinete.

Con todos los datos anteriores se revisó el catálogo técnico de ABB, donde se ubicó el variador adecuado para el proceso de adaptación (tabla 15).

Tabla 15.

Selección del variador DCS800

Tipo de unidad	Idc [A]	P Salida [kW]		Corriente de campo interna [A]	Tensión del ventilador [Vac]	Volumen de Aire [m³/h]	P pérdidas [kW]	Tipo de chasis
		400V	500V					
DCS800-S02-0450-04/05	450	187	234	20	115/230;1-ph	600	1.12	D3
DCS800-S02-0520-04/05	520	218	276	20	115/230;1-ph	600	1.32	D3
DCS800-S02-0820-04/05	820	340	426	25	115/230;1-ph	950	2.14	D4

Nota: Adaptado de ABB (2012).

Podemos observar que el variador de la familia DCS800 que mejor se adecua a las necesidades requeridas por cada motor, es el DCS800-S02-0520-05 cuya intensidad nominal en corriente continua para armadura es de 520A a menos de 1000 m.s.n.m. y 353.6A derrateado a 4300 m.s.n.m. (figura 29).

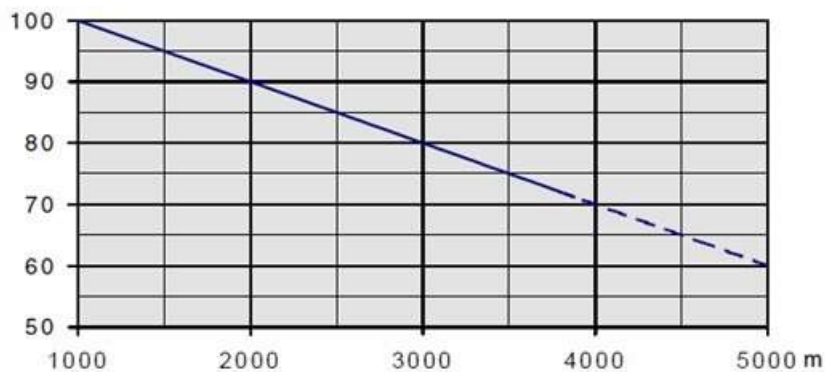


Figura 29. Reducción de intensidad en (%).

Nota: ABB (2015).

Este variador requiere una alimentación eléctrica, trifásica de corriente alterna, que puede variar de 400V AC hasta 525V AC y tiene una corriente interna de campo de 20A.

Visto que, el motor de empuje tiene más probabilidades de estar sometido a ciclos de sobrecarga y estos dependen de la intensidad de corriente y el tiempo del evento, entonces, se identificó las características de soporte de sobrecarga del variador seleccionado (tabla 16).

Tabla 16.

Corrientes en ciclos de sobrecarga.

Tipo de unidad	$I_{DC I}$	$I_{DC II}$	$I_{DC III}$	$I_{DC IV}$	Tamaño	Corriente de campo interna			
Convertidores 4-Q	continua	100 % 15 min	150 % 60 s	100 % 15 min	150 % 120 s	100 % 15 min	200 % 10 s		
400 V / 525 V	[A]	[A]	[A]	[A]	[A]	[A]	[A]		
DCS800-S02-0450-04/05**	450	360	540	346	519	315	630	D3	20
DCS800-S02-0520-04/05	520	398	597	385	578	356	712	D3	20
DCS800-S02-0680-04/05**	680	544	816	538	807	492	984	D4	25
DCS800-S02-0820-04/05	820	664	996	648	972	598	1196	D4	25
DCS800-S02-2000-04/05	2000	1479	2219	1421	2132	1361	2722	D4	25

Nota: Adaptado de ABB (2015).

Considerando la exigencia de trabajo para el motor de empuje, se verificó que la corriente nominal de armadura del motor no sea superior a las corrientes I_{cc2} , I_{cc3} y I_{cc4} del variador durante el tiempo de ciclo en que está sometido a sobrecarga (tabla 17).

Tabla 17.

Comparación de corrientes del motor en diferentes ciclos

		I_{cc1}	I_{cc2}	I_{cc3}	I_{cc4}	IHD	IND
Modelo Variador	DCS800-S02-0520-5	520	398	385	356	405	489
		353.6	270.64	261.8	242.08	275.4	332.52
Motor empuje	225A	OK	OK	OK	OK	OK	OK

El variador dimensionado para ambos motores es el DCS800-S02-0520-5 cuyos datos técnicos a 4300 m.s.n.m. se muestran a continuación.

- Tipo: 4Q (Regenerativo).
- Potencia: 236.25 HP.
- Intensidad (armadura): 353.6 A.
- Tensión de alimentación: 400 – 525 V AC.
- Tamaño de frame: D3.
- Corriente de campo hasta 20 A.

Selección de componentes y dimensiones del tablero eléctrico

Componentes que se instalarán en bandeja.

Seleccionado el variador, se procedió con la selección de los componentes para el tablero auto soportado (bandeja), estos componentes debieron cumplir las funciones de protección y accionamiento, estando en capacidad de soportar las maniobras del variador.

La instalación de la reactancia de línea ND10 (identificable en el plano eléctrico del Anexo J), es necesario para reducir las caídas de tensión de la red trifásica durante la conmutación de los tiristores.

Para la instalación de la reactancia, se utilizó la configuración que considera instalar dicha reactancia antes del ingreso de la tensión al variador de velocidad.

Los valores de la reactancia seleccionada ND10 son (ABB, 2015, p.144):

- Reactancia $L = 25.0 \mu\text{H}$.
- $I_{\text{eficaz}} = 367 \text{ A}$.
- $I_{\text{pico}} = 551 \text{ A}$.
- Tensión nominal $U_n = 500 \text{ V}$.
- Pérdida de potencia $F_e = 80 \text{ W}$.
- Pérdida de potencia $C_u = 185 \text{ W}$.

Para la protección del variador se seleccionó fusibles semiconductores de la marca BUSSMANN modelo 170M6811 (Anexo K), estos cumplen con las características recomendadas (ABB, 2015, p. 143), los cuales son de 700 A.

Para el cálculo del contactor DC, se debe tener en cuenta la relación de la corriente de línea absorbida por el variador, el valor eficaz de la corriente está en función de la tasa de distorsión:

$$I_{rms} = I_1 \sqrt{1 + THD^2} \quad (18)$$

$$I_{rms} = 1.08I_1 \approx 1.08 \times 1.1 \frac{P_{mot}}{U\sqrt{3}} \frac{1}{\eta_{mot}} \frac{1}{\eta_{var}} \quad (19)$$

$$I_{rms} = 1.08(520) = 561.6 A \quad (20)$$

Para este valor de corriente, se seleccionó el contactor DC-3 de 720 A y 600 VDC, que corresponde al modelo FPL8610115R0006. (Anexo L).

Con los datos obtenidos, se elaboró la tabla 18 que muestra la lista de componentes que tendrá el tablero eléctrico que irá dentro del gabinete de rotación y empuje.

Tabla 18.

Tablero con variador DCS800 marca ABB para rotación y levante/empuje.

Cantidad	Unidad	Descripción	Marca
1	unidad	Variador DCS800-S02-0520-05	ABB
1	unidad	Extensión de entradas y salidas análogas RAIO-01	ABB
1	unidad	Extensión de entradas y salidas digitales RDIO-01	ABB
1	unidad	Transformador auxiliar T2-EI 150	ABB
1	unidad	Kit de panel de control JPMP-01	ABB
1	unidad	SDCS-COM-81 – Tarjeta para comunicación	ABB
1	unidad	Line Reactor ND10	ABB
1	unidad	Cable de fibra óptica	ABB
5	unidad	Base porta fusible	Busmann
5	unidad	Fuse UR 750A / 690V -170M6811	ABB
2	unidad	Fusible	Busmann
1	unidad	Contactador DC FPL8610115R0006	ABB
1	unidad	Bloque de contacto auxiliar DC 2NO + 2NA	HUBBEL
1	unidad	Puente Rectificador	SEMIKRON
1	set	Accesorios de montaje	
1	unidad	Bandeja para montaje	
1	set	Barra de cobre	TECNOFIL
1	set	Barra de plata	TECNOFIL
1	set	Cable de fuerza 4/0	SUPERFLEX
1	set	Cable de control	SUPERFLEX

Dimensionamiento del Tablero

El tablero instalado con el variador debe, de encajar dentro del gabinete eléctrico ya sea este de rotación o de empuje; a su vez, debe ser de fácil instalación y fácil acceso a sus componentes durante una reparación; con estas premisas se tomó las medidas de la bandeja del tablero instalado (Anexo M) y se realizó la distribución de los componentes (tabla 18) que irán en la bandeja de montaje.

Las dimensiones que ocupa el tablero del variador son: 1300 mm. x 550 mm. x 376 mm. (figura 30). Este plano ha sido desarrollado en AutoCAD, donde se muestra la distribución física de los componentes que forman parte del tablero (Anexo N).

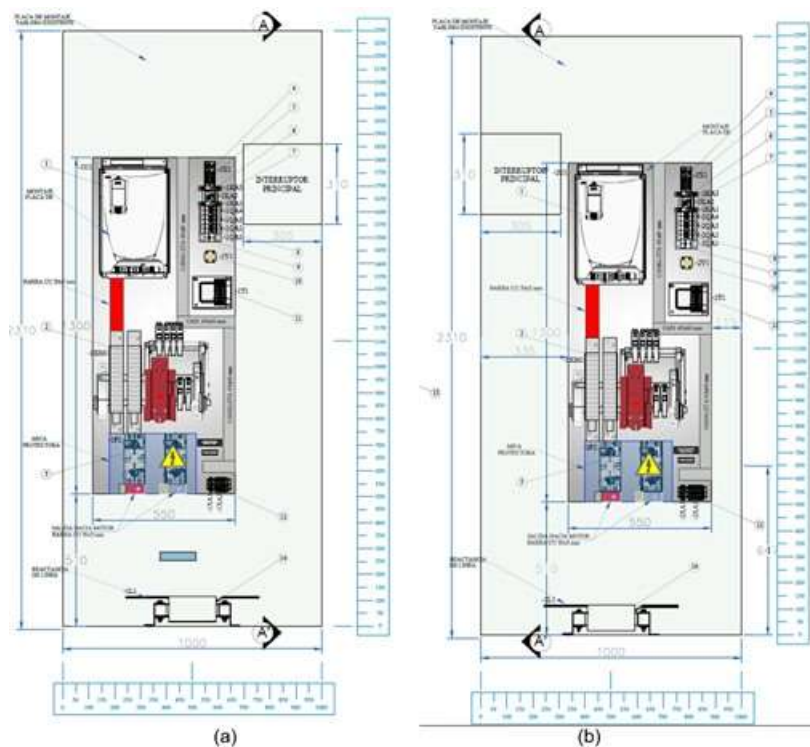


Figura 30. (a) tablero de rotación y (b) tablero de levante/empuje.

Configuración y parametrización de los variadores

Se identificó el tipo de comunicación del variador con los dispositivos que comparte información (Anexo O). Cada variador se comunica con el PLC a través de señales análogas y discretas; el PLC consta de un rack remoto en la cabina del operador y un master en la sala de máquinas, empleando una comunicación mediante una RED Ethernet. (figura 31).

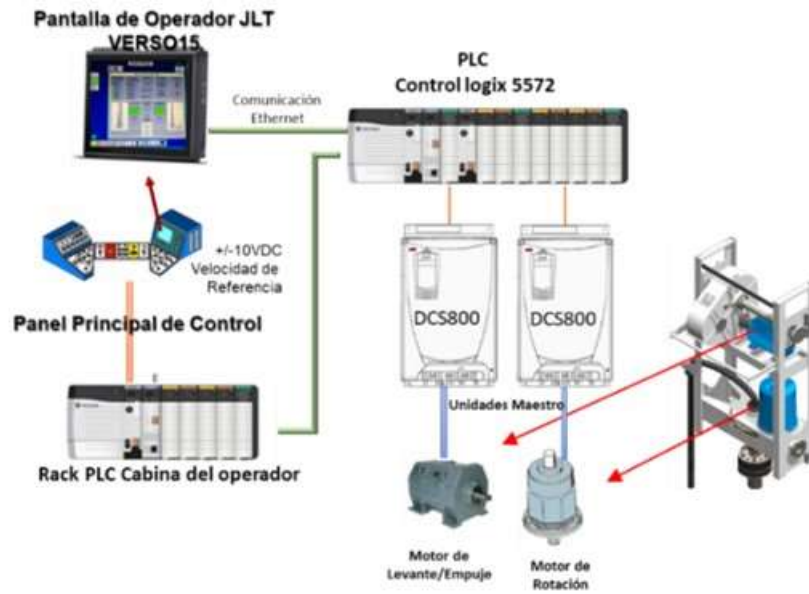


Figura 31. Red de comunicación para el variador DCS800.

Las señales de entrada y salida para el variador de velocidad DCS800, se muestran en las figuras 32 y 33 correspondientes al variador de rotación y al variador de empuje, respectivamente.

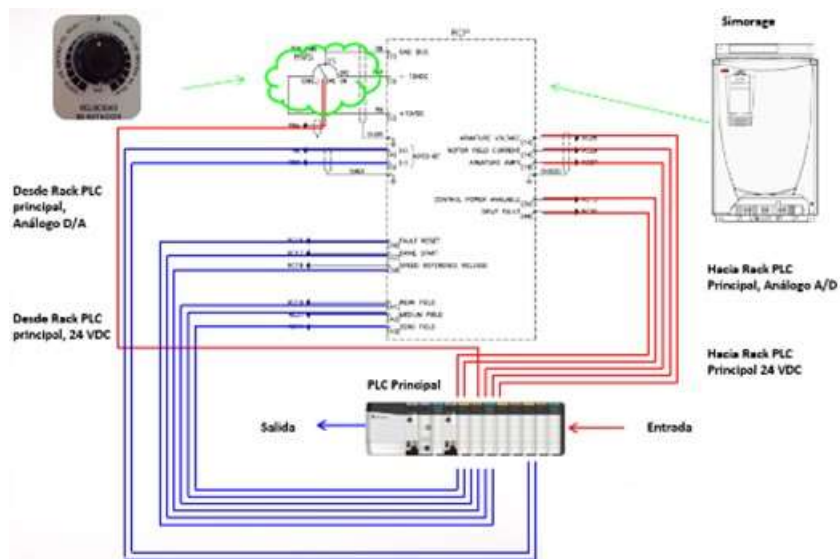


Figura 32. Entradas y salidas para el variador de rotación.

Además, fue necesario ajustar los parámetros que controlan la regulación de velocidad para obtener una respuesta sin saltos (figura 35).

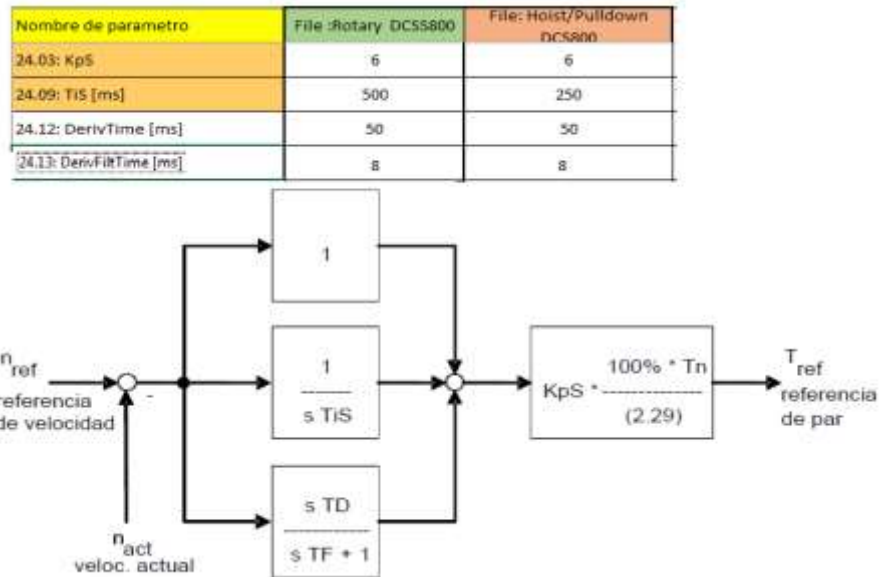


Figura 35. Regulador de velocidad PID.
Nota: Adaptado de ABB (2016).

El regulador de velocidad dentro del variador está basado en un algoritmo PID y se expresa de la forma siguiente:

$$T_{ref(s)} = KpS * \left[(n_{ref(s)} - n_{act(s)}) * \left(1 + \frac{1}{sTiS} + \frac{sTD}{sTF + 1} \right) \right] * \frac{100 \% * T_n}{(2.29)} \quad (21)$$

donde:

$T_{ref(s)}$ = Referencia de par.

KpS = Ganancia proporcional [KpS (24.03)].

$n_{ref(s)}$ = Referencia de velocidad.

$n_{act(s)}$ = Velocidad actual.

TiS = Tiempo de integración [TiS (24.09)].

TD = Tiempo de derivación [DerivTime (24.12)].

TF = Tiempo de filtro de derivación [DerivFiltTime (24.13)].

T_n = Par motor nominal.

(2.29) = Escalado de velocidad actual usado [SpeedScaleAct (2.29)].

Habiendo concretado el proceso de instalación de los variadores DCS800a (Anexo R), se continuó con las pruebas de funcionamiento de los mismos.

4.1.2.1 Pruebas de funcionamiento del DCS800a vs. 6RA70

En la tabla 19, se muestran los valores de los estándares de funcionamiento de la perforadora 49HR, obtenidos con el variador de empuje 6RA70 cuando se encontraba en óptima capacidad de funcionamiento (Anexo E) y los resultados obtenidos en la medición de los estándares con el variador de empuje DCS800a.

Tabla 19.

Estándares de funcionamiento del variador de empuje.

Indicadores	Modos							
	Empuje		Baja velocidad de levante		Alta velocidad de levante		Movimiento de barra	
	6RA70	DCS800a	6RA70	DCS800a	6RA70	DCS800a	6RA70	DCS800a
Máxima velocidad de motor (rpm)	473,00	493,00	1119,00	1084,00	1533,00	1447,00	496,00	503,00
Máxima velocidad de avance (ft/min)	23,10	24,10	54,70	53,10	75,00	70,90	24,30	24,60
Máximo voltaje de armadura (VDC)	226,00	232,00	500,00	490,00	500,00	492,00	179,00	179,00
Corriente de Stall (ADC)	265,00	265,00	265,00	265,00	425,00	425,00	425,00	425,00
Corriente de campo (ADC)	10,35	10,35	10,35	10,35	5,63	5,63	5,63	5,63
Corriente a velocidad máxima (ADC)	265,00	265,00	265,00	265,00	265,00	265,00	360,00	350,00

Se observa que en los modos Empuje, baja velocidad de levante, Alta velocidad de levante y Movimiento de barra, los valores registrados para Corriente de Stall, Corriente de campo y Corriente de velocidad, son los mismos para los variadores 6RA70 y DCS800a, lo que implica que la condición de operación se mantendrá en el nivel estándar; sin embargo, en los valores de Máxima velocidad de motor, Máxima velocidad de avance y Máximo voltaje de armadura, los valores difieren, pero esta variación no es significativa ya que no supera el $\pm 5\%$.

En la tabla 20, se muestran los valores de los estándares de funcionamiento de la perforadora 49HR, obtenidos con el variador de rotación 6RA70 (Anexo E) y los resultados obtenidos en la medición de los estándares con el variador de rotación DCS800a.

Tabla 20.*Estándares de funcionamiento del variador de rotación*

Indicadores	Modos					
	Velocidad baja		Velocidad media		Velocidad alta	
	6RA70	DCS800a	6RA70	DCS800a	6RA70	DCS800a
Corriente de campo (ADC)	13,40	13,50	9,50	9,50	7,50	7,50
Velocidad de broca (rpm)	100,00	95,00	117,00	108,00	134,00	119,00
Velocidad de motor (rpm)	1104,00	1045,00	1286,00	1190,00	1475,00	1320,00
Máximo voltaje de armadura (VDC)	425,00	420,00	461,00	451,00	500,00	486,00
Corriente de Stall (ADC)	399,00	394,00	399,00	394,00	399,00	394,00

Se observa que en los modos Velocidad media y Velocidad alta, los valores registrados para Corriente de campo son los mismos para los variadores 6RA70 y DCS800a, lo que implica que la condición de operación se mantendrá en el nivel estándar; sin embargo, en los valores de Corriente de campo en modo Velocidad baja, Velocidad de broca, Velocidad de motor, Máxima voltaje de armadura y Corriente Stall en modos Velocidad baja, Velocidad media y Velocidad alta, los valores difieren, pero esta variación no es significativa ya que no supera el $\pm 5\%$.

4.1.3 Confiabilidad de los variadores DCS800a

En la tabla 21, se muestran los resultados referentes al número de detenciones, tiempo de detenciones, tiempo de operación disponible y MTBF de la perforadora 49HR N° Serie 141307 con los variadores DCS800 durante el periodo 2021.

Tabla 21.

Confiabilidad con los variadores DCS800a periodo 2021.

Meses	Número de detenciones	Tiempo de detenciones (horas)	Tiempo de operación disponible (horas)	Confiabilidad MTBF (horas)
Enero	26	215,77	657,77	17,00
Febrero	17	97,92	670,02	33,65
Marzo	19	84,13	656,23	30,11
Abril	20	57,80	629,90	28,61
Mayo	21	37,95	688,95	31,00
Junio	34	95,70	667,80	16,83
Julio	22	64,16	636,26	26,00
Agosto	23	138,55	672,15	23,20
Setiembre	24	32,66	604,76	23,84
Octubre	23	106,06	678,16	24,87
Noviembre	22	84,69	656,79	26,00
Diciembre	19	39,36	611,46	30,11
Total anual	270	1054,75	7830,25	25,09

En la tabla 21 y figura 36, se observa que el mayor número de detenciones se presentó en el mes junio (34 detenciones), seguido del mes de enero y setiembre con 26 y 24 detenciones, respectivamente; el menor número de eventos se dio en el mes de febrero con 17 detenciones; el total de detenciones reportados para el año 2021 de la perforadora Bucyrus 49HR con variadores de velocidad DCS800a fue de 270 detenciones.

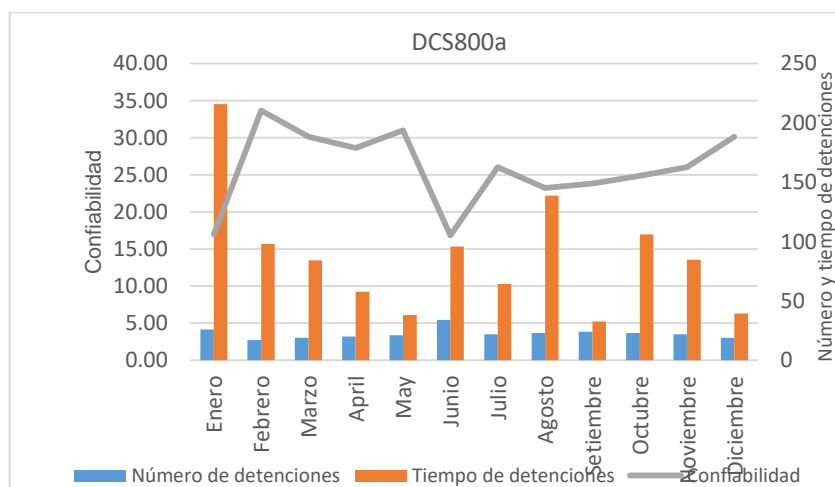


Figura 36. Número, tiempo de detenciones y confiabilidad con los variadores DCS800a periodo 2021.

Asimismo, en el mes de enero se registró el mayor número de horas de detención (215,77), seguido del mes de agosto con 138,55 horas de detención, el mes con menor número de horas detenidas, fue setiembre con 32,66 horas; el tiempo total de detenciones reportados para el año 2021 de la perforadora Bucyrus 49HR con variadores de velocidad DCS800a fue de 1 054,75 horas.

Con referencia a la confiabilidad, se evidencia que los menores valores de MTBF se registraron en los meses de enero y junio (17,00 horas y 16,83 horas, respectivamente). Los mayores valores de MTBF se presentaron en los meses de febrero y mayo (con 33,65 horas y 31,00 horas, respectivamente). En esa misma línea, se evidencia que a lo largo del año 2021, los valores de MTBF registrados para la perforadora 49HR, estuvieron cerca de alcanzar los valores aceptados por la Compañía Minera de tajo abierto (MTBF=25,09 horas), ya que el mínimo aceptado de MTBF es igual a 30 horas.

4.1.4 Prueba de hipótesis general

En la tabla 22 y figura 37, se muestran los resultados referentes a la confiabilidad en el período 2019 para la perforadora 49HR con variadores 6RA70 y en el período 2021 para la misma perforadora con los variadores DCS800a.

Tabla 22.

Confiabilidad con los variadores 6RA70 y DCS800a

Meses	Confiabilidad	
	MTBF (horas)	
	6RA70	DCS800a
Enero	21,20	17,00
Febrero	27,56	33,65
Marzo	25,61	30,11
Abril	28,18	28,61
Mayo	12,06	31,00
Junio	29,48	16,83
Julio	14,74	26,00
Agosto	17,69	23,20
Setiembre	18,30	23,84
Octubre	18,29	24,87
Noviembre	16,08	26,00
Diciembre	10,30	30,11
Total anual	17,71	25,09

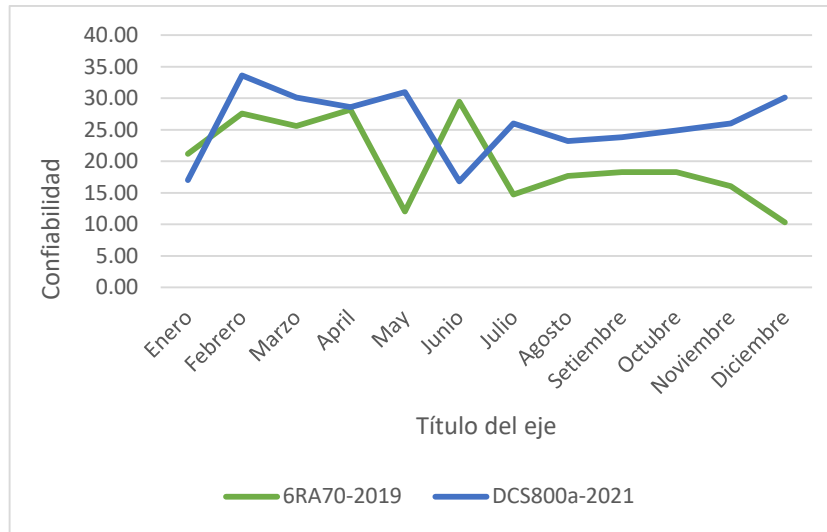


Figura 37. Confiabilidad con los variadores 6RA70 y DCS800a

Para la prueba de hipótesis, primero se determinó la normalidad de los datos, con la prueba de Shapiro- Wilk (Anexo S), ya que el número de datos es menor a 30 (tabla 23).

Tabla 23.

Prueba de Normalidad para la Confiabilidad 6RA70 y DCS800a.

	Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.
Confiabilidad 6RA70	,936	12	,446
Confiabilidad DCS800a	,935	12	,431

En la tabla 23, se observa que la confiabilidad del 6RA70 y la confiabilidad del DCS800 muestra distribución normal (significancia>0,05), por lo cual se realizará la prueba de hipótesis con la prueba t.

Prueba de hipótesis:

H₀: La adaptación de los variadores de velocidad DCS800 no mejorara la confiabilidad en la perforadora Bucyrus 49HR.

H₁: La adaptación de los variadores de velocidad DCS800 mejorara la confiabilidad en la perforadora Bucyrus 49HR.

Entonces,

$$H_0: \mu_1 = \mu_2$$

$$H_1: \mu_1 \neq \mu_2$$

$$\alpha = 0,05$$

Tabla 24.*Prueba t al 95 % de confiabilidad*

Prueba de muestras emparejadas								
Diferencias emparejadas						t	gl	Sig. (bilateral)
	Media	Desv. Desviación	Desv. Error promedio	95 % de intervalo de confianza de la diferencia				
				Inferior	Superior			
Confiabilidad 6RA70 - Confiabilidad DCS800a	-5,97750	8,98039	2,59241	-11,68337	-,27163	-2,306	11	,042

En la tabla 24, se muestra el cálculo de la prueba t para los valores de confiabilidad de los variadores de velocidad 6RA70 (año 2019) y los variadores de velocidad DCS800a (año 2021) instalados en la perforadora Bucyrus 49HR. Hernández, Fernández y Baptista (2014) indican que “cuando el valor t se calcula mediante un paquete estadístico computacional, la significancia se proporciona como parte de los resultados y debe ser menor a 0.05 o 0.01, lo cual depende del nivel de confianza seleccionado”. Cuando el valor de la significancia de la prueba t no es menor al 0,05 y mucho menos al 0,01, no existe diferencia entre los grupos en la variable evaluada (pp. 311-312).

Con el análisis del estadístico t y el p-value aceptamos la H_1 . Entonces, con un 95 % de certeza podemos afirmar que los variadores DCS800a mejoraron la confiabilidad (MTBF) de la perforadora Bucyrus 49HR, en contraste con el funcionamiento de esta con los variadores 6RA70.

4.2 DISCUSIÓN DE RESULTADOS

La presente investigación, tuvo como propósito determinar el impacto de la adaptación de los variadores de velocidad en la confiabilidad de las perforadoras Bucyrus 49HR en una empresa minera de tajo abierto.

En ese sentido, se evaluó la confiabilidad de los variadores de velocidad 6RA70 de la perforadora Bucyrus 49HR, obteniendo que para el año 2019 el equipo registró 311 detenciones, 1,552,88 horas de detención y 7,709,83 horas de operación disponible, además se calculó del MTBF, determinando que los meses con menor MTBF fueron mayo y diciembre con 12,06 y 10,30 horas, respectivamente y el MTBF para el año 2019 de la perforadora Bucyrus 49HR fue de 17,71 horas, el cual está por debajo del mínimo aceptado por la Compañía Minera de tajo abierto. Al respecto, Razo (2016) en Minera México, evaluó una perforadora con variadores SIEMENS declarada con

disponibilidad nula, decidió reemplazar los variadores al encontrarlos desfasados. En contraposición Nayhua (2018), optó por diseñar un plan de mantenimiento ante las fallas de las perforadoras Atlas Copco-CT20; sin embargo, esta decisión fue tomada debido a que los componentes de estas no estaban considerados para reparación. Finalmente, TMEIC (2014) concluyen que es importante comprender lo que significa la confiabilidad de un variador de velocidad, que muy aparte de los temas considerados en el diseño y fabricación, se debe tener en cuenta su gestión de mantenimiento; esto implica mantener registros exactos, considerando los tiempos de operación de la flota y los reportes de los problemas operativos, para concluir con tiempos de demora que sirvan como criterio para comparar diferentes variadores. Según lo hallado, validamos la hipótesis específica que afirma que los variadores de velocidad 6RA70 de la perforadora Bucyrus 49HR N° Serie 141307 tienen un nivel de confiabilidad no aceptable.

Con respecto a la adaptación de los variadores DCS800 para que sean equiparables en rendimiento a los 6RA70 cuando se encontraban en estado óptimo, se obtuvo que para los variadores de velocidad de empuje, en los modos Empuje, Baja velocidad de levante, Alta velocidad de levante y Movimiento de barra, los valores registrados para Corriente de Stall, Corriente de campo y Corriente de velocidad son los mismos para los variadores 6RA70 y DCS800a, de igual forma los valores registrados para Corriente de campo, en los modos Velocidad media y Velocidad alta en los variadores de rotación, lo que implica que la condición de operación se mantendrá en el nivel estándar; y los valores de Máxima velocidad de motor, Máxima velocidad de avance y Máximo voltaje de armadura de los variadores de velocidad de empuje y los valores de Corriente de campo en modo Velocidad baja, Velocidad de broca, Velocidad de motor, Máximo voltaje de armadura y Corriente Stall en modos Velocidad baja, Velocidad media y Velocidad alta de los variadores de velocidad de rotación difieren, pero esta variación no es significativa ya que no supera el $\pm 5\%$. En esa misma línea Razo (2016), logró poner en operatividad una perforadora reemplazando los variadores SIEMENS por variadores Allen Bradley Rockwell; sin embargo, es importante precisar que esta inversión se pudo realizar porque estaba dentro de los presupuestos de la minera, caso que no fue el de la presente investigación, ya que la minera de tajo abierto se encuentra bajo el modelo de ahorro de costos. Con lo expuesto se valida la hipótesis que plantea que con el proceso de adaptación de los variadores de velocidad DCS800, los estándares de funcionamiento de la perforadora 49HR con los variadores 6RA70 en óptima capacidad, son iguales a los estándares de funcionamiento con los variadores DCS800a.

Con respecto a la confiabilidad de los variadores de velocidad DCS800a de la perforadora Bucyrus 49HR, se obtuvo que para el año 2021 el equipo registró 270 detenciones, 1,054,75 horas de detención y 7,830,25 horas de operación disponible; además se calculó del MTBF, determinando que los meses con menor MTBF fueron enero y junio con 17,00 horas y 16,83 horas, respectivamente

y el MTBF para el año 2021 de la perforadora Bucyrus 49HR fue de 25,09 horas, el cual estuvieron cerca de alcanzar el valor mínimo aceptado por la Compañía Minera de tajo abierto. La confiabilidad está referida a la aptitud del equipo de funcionar de manera correcta durante todo su ciclo operativo bajo las condiciones establecidas para esa operación, el índice MTBF caracteriza a esta disponibilidad (Arata y Arata, 2013, p. 88). De igual forma, Nayhua (2018) afirma que la confiabilidad básicamente está relacionada con la cantidad de fallas, MTBF, tiempo medio de operación (p. 32). Por otro lado, TECSUP (2013) afirma que un equipo con alta disponibilidad no necesariamente es confiable, ya que la baja confiabilidad llevará a reiteradas paradas que generan pérdidas (p. 149). Con lo expuesto se valida la hipótesis específica que plantea que los variadores de velocidad DCS800 adaptados en reemplazo de los 6RA70 de la perforadora Bucyrus 49HR N° Serie 141307, tienen un nivel de confiabilidad aceptable.

En referencia a la prueba de hipótesis general, se demostró con un 95 % de certeza que los variadores DCS800a mejoraron la confiabilidad (MTBF) de la perforadora Bucyrus 49HR, en contraste con el funcionamiento de esta con los variadores 6RA70. Referente a la mejora de la confiabilidad, Rivera (2015) optó por desarrollar un modelo de toma de decisiones que mejoren la confiabilidad de los equipos móviles en la mina Codelco de Chile, demostrando que este modelo permitía realizar la pre y post evaluación de las acciones de mejora. En esa misma línea Nayhua (2018) desarrolló un plan de mantenimiento para mejorar la confiabilidad de las perforadoras Atlas Copco CT20 en la empresa Explodrilling, logrando mejorar en 13 % el tiempo promedio entre fallas de la flota. Por otro lado, Janampa (2019) propuso el análisis de fallas funcionales para mejorar la confiabilidad de las excavadoras 320D en la mina Raura, logrando incrementar la disponibilidad de 83 % a 86 %. En contraste Centeno (2017) desarrollo el upgrade del variador de velocidad Power Flex 7000 para bomba de ciclones; sin embargo, no demostró un impacto significativo en la disponibilidad de equipos del área de molienda de la planta concentrada de Southern Perú. Con este análisis, es evidente que las propuestas de mejora con el fin de optimizar la confiabilidad dependen de si se trata de una flota, un equipo o un componente de este, además las políticas de inversión de las empresas influyen directamente a la hora de tomar de decisiones acerca de qué hacer para mejorar la confiabilidad de los equipos. Con lo expuesto, se valida la hipótesis general y se afirma que la adaptación de los variadores de velocidad DCS800 mejorará la confiabilidad en la perforadora Bucyrus 49HR N° Serie 141307.

CONCLUSIONES

- PRIMERA.** La perforadora Bucyrus 49HR N° Serie 141307 con variadores de velocidad 6RA70 registró un total de 311 detenciones, 1,552,88 horas de detención y 7,709,83 horas de operación disponible, lo que significó una confiabilidad (MTBF) de 17,71 horas en el año 2019 (tabla 4 y figura 24), lo que está por debajo del nivel aceptado por la Compañía Minera de tajo abierto.
- SEGUNDA.** Los variadores DCS800 que fueron adaptados para la perforadora 49HR N° Serie 141307, presentaron estándares de funcionamiento iguales a los de los variadores 6RA70 para Corriente de Stall, Corriente de campo y Corriente de los modos Empuje, Baja velocidad de levante, Alta velocidad de levante y Movimiento de barra, del variador de empuje, y en los estándares de Corriente de campo para los modos Velocidad media y Velocidad alta del variador de rotación; en los otros estándares considerados en la presente investigación presentaron resultados con una variación por debajo de $\pm 5 \%$, para el 6RA70 y DCS800 adaptados cuando estos se encontraban en óptima operación (tablas 19 y 20).
- TERCERA.** La perforadora Bucyrus 49HR N° Serie 141307 con variadores de velocidad DCS800 adaptado registró un total de 270 detenciones, 1,054,75 horas de detención y 7,830,25 horas de operación disponible, lo que significó una confiabilidad (MTBF) de 25,09 horas en el año 2021 (tabla 21 y figura 36), lo que está muy cerca del nivel aceptado por la Compañía Minera de tajo abierto.
- CUARTA** Con un 95 % de confiabilidad, se afirma que la adaptación de los variadores DCS800 en la perforadora 49HR N° Serie 141307, impactó positivamente en los niveles de confiabilidad de este equipo en relación con el desempeño que venía presentando con los variadores 6RA70 (tablas 22 y 24).

RECOMENDACIONES

- PRIMERA.** Se debe realizar un análisis permanente de todos los componentes de los equipos de Operaciones Mina, con el fin de predecir su reparación u obsolescencia en el tiempo, de tal manera, que los presupuestos anuales asignados sean los más cercanos a las necesidades de mantenimiento de los equipos.
- SEGUNDA.** Propiciar más investigaciones para formalizar los procedimientos de adaptación de los variadores, y lograr estandarizar estas metodologías a fin de poder hacer compatibles, según necesidad, otras marcas de variadores.
- TERCERA.** Analizar y validar la fórmula de tiempo medio entre reparaciones (MTBF) para los componentes, con el fin de normar sus límites aceptables de funcionamiento.

BIBLIOGRAFÍA

- ABB, Automation. ABB DC Drives DCS800, 20 A to 5200 A. Alemania: ABB Automation Products GmbH Motors and Drives, 2012. 28 pp. 3ADW000192R0701.
- ABB, Automation. Hardware Manual DCS800 Drives (20 to 5200 A). Alemania: ABB Automation Products, 2015. 158 pp. 3ADW000194R0811.
- ABB, Automation. Firmware manual DCS800 Drives (20 to 5200 A). Alemania: ABB Automation Products, 2016. 496 pp. 3ADW000193R0801.
- ANGLAS, Z. Manual Autoformativo: Seminario de tesis II. Perú: Universidad Continental de Huancayo, 2017. 71 pp. ISBN: 9786124196.
- ARATA, A. y ARATA, A. Ingeniería de la confiabilidad: Teoría y aplicación en proyectos de capital y en la operación de instalaciones industriales a través del enfoque R-MES. Chile: RIL Editores, 2013. 360pp. ISBN: 978-956-284-967-8.
- BRAVO, E. Análisis sobre la sobretensión transitoria en variadores de velocidad. Tesis (Ingeniero eléctrico). Colombia: Universidad de Los Andes, 2012. 49pp. [Fecha de consulta: 15 de julio de 2019]. Disponible en: <https://repositorio.uniandes.edu.co/bitstream/handle/1992/24896/u619150.pdf?sequence=1>
- BUCYRUS INC. Manual de Operación y Mantenimiento Mecánica 49HR. Wisconsin: Bucyrus International, Inc. 2010. 449 pp. N° 10920_SP.
- CENTENO, F. Impacto del Upgrade del variador de velocidad para bomba de ciclones en la disponibilidad de equipos, área de molienda de la planta concentradora de Southern Perú, Cujone (Moquegua), 2015. Tesis (Maestro en Ingeniería Mecánica con mención en Gestión del Mantenimiento). Moquegua: Universidad José Carlos Mariátegui, 2017. 127pp. [Fecha de consulta: 16 de octubre del 2022]. Disponible en: <https://repositorio.ujcm.edu.pe/handle/20.500.12819/238>
- CHAPMAN, S. Máquinas eléctricas. México D.F.: McGraw-Hill Educación, 2012. 495 pp. ISBN: 9786071507242.
- DURÁN, O., GONZÁLES-PRIDA, V., CRESPO, A. y GUILLÉN, A. Priorización de activos físicos centrado en el rendimiento global (Throughput) en una planta de chancado. [En línea]. Información Tecnológica, 2019. 30(2), 45-56 pp. [Fecha de consulta: 23 de mayo del 2020]. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642019000200045>
- EASA. Norma EASA AR100-2015 Practica Recomendada para la reparación de máquinas eléctricas rotativas. USA: Electrical Apparatus Service Association, Inc. 2015. [Fecha de consulta: 17 de octubre del 2022]. Disponible en: <https://studylib.es/doc/7328740/norma-easa-ar100-2015---electrical-service-asso>

- ESPINOSA, M. y SUAREZ, L. Estudio técnico y financiero para la adquisición de variadores de frecuencia con aplicación en unidades de bombeo mecánico en la superintendencia de operaciones La Cira Infantas de Ecopetrol S. A. Tesis (Especialista en evaluación y gestión de proyectos). Colombia; Universidad de Santander. 2014. 71 pp. [Fecha de consulta: 5 de enero de 2019]. Disponible en: <https://docplayer.es/63411393-Mariluz-epinosa-sandoval-lady-maritza-suarez-amaya-universidad-industrial-de-santander-facultad-de-ingenierias-fisico-mecanicas.html>
- FRAILE, J. Máquinas eléctricas. España: McGraw-Hill Interamericana de España, 2008, 809 pp. ISBN: 978-84-481-6112-8.
- GÖNEN, T. Electrical Machines with Matlab. Estados Unidos: CRC Press Taylor & Francis Group, 2012. 619 pp. ISBN: 978-1-4398-7799-9.
- GURU, B. y HIZIROGLU, H. Máquinas eléctricas y transformadores. México D. F.: Alfaomega Grupo Editor, 2006. 696 pp. ISBN: 978-970-15-1212-8.
- HERNÁNDEZ, R., FERNÁNDEZ, C., y BAPTISTA, M. Metodología de la Investigación. México D. F.: McGraw-Hill/Interamericana Editores, 2014. 589 pp. ISBN: 978-1-4562-2396-0.
- INSTITUTO GEOLÓGICO Y MINERO DE ESPAÑA. Manual de perforación y voladura de rocas. Madrid: ETIMSA. 1987
- INSTITUTO PERUANO DE ECONOMÍA. Aporte de la Minería al PBI. 2018. [Fecha de consulta: 17 de octubre del 2022]. Disponible en: <https://www.ipe.org.pe/portal/aporte-de-la-mineria-al-pbi/>
- JANAMPA, R. Mejora de la confiabilidad de la excavadora 320D, empleando el análisis de fallas funcionales en la Compañía Minera Raura. Tesis (Ingeniero mecánico). Perú: Universidad Nacional del Centro del Perú, 2019 60 pp. [Fecha de consulta: 23 de marzo del 2021]. Disponible en: https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/5768/T010_47595131_T.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- MAZUR, G. Solución de problemas del motor y del variador: de la comprobación básica al diagnóstico avanzado. Estados Unidos: FLUKE, 2011. 112 pp. ISBN: 978-0-8269-1538-2.
- NAYHUA, J. Diseño de un plan mantenimiento con la metodología del mantenimiento centrado en la confiabilidad para perforadoras Atlas Copco CT20 en la empresa Explodrilling. Tesis (Maestro en Ingeniería de Mantenimiento). Arequipa: Universidad Católica de Santa María, 2018 134 pp. [Fecha de consulta: 29 de marzo 2020]. Disponible en: <http://tesis.ucsm.edu.pe/repositorio/handle/UCSM/8371>
- PETRUZELLA, F. Electric Motors and Control Systems. New York: McGraw-Hill, 2010. 273 pp. ISBN: 978-0-07-352182-4.

- RAZO, J. Actualización de control para perforadoras y actualización del PLC5 por control de plataforma Control Logix al control hidráulico y visualización. Tesis (Ingeniero en Mecatrónica). México: Universidad Sonora, 2016. 94 pp. [Fecha de consulta: 20 de julio de 2019]. Disponible en: <http://148.225.114.120/bitstream/20.500.12984/2757/1/razoencinasjorgejonathanl.pdf>
- RIVERA, J. Modelo de toma de decisiones de mantenimiento para evaluar impactos en disponibilidad, mantenibilidad, confiabilidad y costos. Tesis (Magíster en Gestión y Dirección de Empresas). Chile: Universidad de Chile, 2015. 42 pp. [Fecha de consulta: 26 de julio de 2019]. Disponible en: <https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/136233/Modelo-de-toma-de-decisiones-de-mantenimiento-para-evaluar-impactos.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- RUMBO MINERO. Tecnología y equipos: Haciendo el tajo abierto. 2014. [Fecha de consulta: 17 de octubre del 2022]. Disponible en: <https://www.rumbominero.com/revista/informes/tecnologia-y-equipos-haciendo-el-tajo-abierto/>
- SIEMENS. SIMOREG DC-Master: Serie 6RA70. Alemania: Siemens AG, 2007. 648 pp. 6RX1700-0BD78.
- TECSUP. Gestión del Mantenimiento. Perú: TECSUP, 2013. 223 pp.
- TMEIC. Variador de frecuencia variable: Confiabilidad. [En línea]. TMEIC, 2014. 1(6) [Fecha de consulta: 30 de junio del 2020]. Disponible en: <https://www.tmeic.com/sites/default/files/assets/files/App%20Edge%20VFD%20Reliability-SPANISH.pdf>
- TELEMECANIQUE. Control de potencia: Arrancadores y variadores de velocidad electrónicos. [En línea]. Francia: Telemecanique, 2009. 46-51 pp. [Fecha de consulta: 28 noviembre 2018]. Disponible en: <https://vsip.info/arrancadores-y-variadores-de-velocidad-electronicos-pdf-free.html>
- VALDERRAMA, S. Pasos para elaborar proyectos de investigación científica. Lima: Editorial San Marcos, 2015. 495 pp. ISBN: 978-612-302-878-7
- WILDI, T. Máquinas eléctricas y sistemas de potencia. México D. F.: Pearson Educación, 2007. 927 pp. ISBN: 970-26-0814-7.

ANEXOS

Anexo A. Matriz de Consistencia Lógica

IMPACTO DE LA ADAPTACIÓN DE LOS VARIADORES EN LA CONFIABILIDAD DE LAS PERFORADORAS BUCYRUS 49HR EN UNA COMPAÑÍA MINERA DE TAJO ABIERTO, 2021

PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPÓTESIS GENERAL	VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES	TÉCNICAS INSTRUMENTOS	POBLACIÓN Y MUESTRA
¿Cuál es el impacto de la adaptación de los variadores de velocidad en la confiabilidad de las perforadoras Bucyrus 49HR en una Compañía minera de tajo abierto?	Determinar el impacto de la adaptación de los variadores de velocidad en la confiabilidad de las perforadoras Bucyrus 49HR en la Compañía Minera de tajo abierto.	La adaptación de los variadores de velocidad DCS800 mejorara la confiabilidad en la perforadora Bucyrus 49HR.		Variador de velocidad DC para el movimiento de levante.	<ul style="list-style-type: none"> - Máxima velocidad del motor (rpm). - Máxima velocidad de avance (ft/min). - Máximo voltaje de armadura (VDC). - Corriente de Stall (ADC). - Corriente de campo (ADC). - Corriente a velocidad máxima (ADC). 	Técnica: Observación objetiva.	
PROBLEMAS ESPECÍFICOS	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	HIPÓTESIS ESPECÍFICAS					
¿Cuál es el nivel de confiabilidad de los variadores de velocidad 6RA70 de la perforadora Bucyrus 49HR?	Determinar el nivel de confiabilidad de los variadores de velocidad 6RA70 de la perforadora Bucyrus 49HR.	Los variadores de velocidad 6RA70 de la perforadora Bucyrus 49HR N° Serie 141307 tienen un nivel de confiabilidad no aceptable. Con el proceso de adaptación de los variadores de velocidad DCS800, los estándares de funcionamiento de la perforadora 49HR con los variadores 6RA70 en óptima capacidad son iguales a los estándares de funcionamiento con los variadores DCS800a.	Variable independiente Adaptación de variadores de velocidad	Variador de velocidad DC para el movimiento de rotación.	<ul style="list-style-type: none"> - Corriente de campo (ADC). - Velocidad de broca (rpm). - Velocidad de motor (rpm). - Máximo voltaje de armadura (VDC). - Corriente de Stall (ADC). 	Instrumento: Tabla Excel donde se registra los valores tomados con los instrumentos de medición. Tabla C del Manual de Comisionado de la Perforadora.	Población: 7 perforadoras Bucyrus. Muestra: Por conveniencia: perforadora Bucyrus 49HR N° Serie 141307
¿De qué manera se puede adaptar los variadores de velocidad en reemplazo de los 6RA70 sin afectar el rendimiento estándar de la perforadora Bucyrus 49HR?	Desarrollar el proceso de adaptación de variadores DCS800 en reemplazo de los 6RA70 en la perforadora Bucyrus 49HR.						
¿Cuál es el nivel de confiabilidad de los variadores DCS800 adaptados en reemplazo de los 6RA70 de la perforadora Bucyrus 49HR?	Determinar el nivel de confiabilidad de los variadores de velocidad DCS800 adaptados en reemplazo de los 6RA70 de la perforadora Bucyrus N° Serie 141307.	Los variadores de velocidad DCS800 adaptados en reemplazo de los 6RA70 de la perforadora Bucyrus 49HR N° Serie 141307 tienen un nivel de confiabilidad aceptable.	Variable dependiente Confiabilidad	Tiempo medio entre fallas (MTBF).	<ul style="list-style-type: none"> - Número de detenciones. - Tiempo de detenciones (horas). - Tiempo de operación disponible (horas). 	Técnica: Observación objetiva. Instrumento: Tabla de detenciones de dispatch.	

Anexo B. Cotizaciones de los costos indicados como justificación para realizar la adaptación.

COTIZACION NRO. [REDACTED] PAG. 1

PROYECTO [REDACTED] 0100286

REFERENCIA [REDACTED]

VALIDEZ DE LA OFERTA HASTA [REDACTED]
SUJETO A PREVIA VENTA
ENTREGA EN LIMA

NRO	CANT DISP	DISP	PRO PARTE	DESCRIPCION	L/T sem	VALOR DE VENTA NETO	VALOR DE VENTA NETO	VALOR DE VENTA NETO	VALOR DE VENTA NETO	RAM
1	1		S10 4556935	UPGRADE,DRIVE,GRAB	23	243,627.38	243,627.38	777,171.34	777,171.34	PAR
						VALOR DE VENTA US\$.	243,627.38	VALOR VENTA S/.	777,171.34	
						VALOR I.G.V US\$.	43,852.93	VALOR I.G.V S/.	139,890.04	
						PRECIO DE VENTA US\$.	287,480.31	PRECIO DE VENTA S/.	917,062.18	

- SE HAN PROMULGADO NORMAS QUE PROHIBEN Y SANCIONAN LA MINERIA ILEGAL. LOS BIENES Y/O SERVICIOS DETALLADOS EN ESTE COMPROBANTE NO PODRAN SER DESTINADOS NI DIRECTA NI INDIRECTAMENTE A UNA ACTIVIDAD CONSIDERADA DE MINERIA ILEGAL.

Los precios de ventas en soles son referenciales y han sido calculados utilizando el tipo de cambio venta de s/. 3.19, vigente en el banco de crédito del Perú a la fecha de la presente cotización la facturación se realizará en dolares americanos y podrá ser pagada en soles al tipo de cambio venta vigente en el banco de crédito en el día de su cancelación (resolución cambiaria 030.90.ef/90 art.7).

TIEMPO DE ATENCION - DIAS CALENDARIO (REPUESTOS CATERPILLAR)

STOCK A NIVEL NACIONAL				IMPORTACION AEREA (*)		
MODALIDAD DE VENTA	EN STOCK	EN SUCURSAL	MIAMI	EEUU	FUERA DE EEUU	
STOCK	INMEDIATO	1 - 3	3 - 7	6 - 10	10 - 20	
ENTREGA DIFERIDA			8 - 12	10 - 20	15 - 45	

El tiempo de atención de los repuestos no disponibles a nivel nacional estan sujetos a:

- Disponibilidad de Fábrica.
- (*) Repuestos con peso y volumen excesivo deberian ser importados via maritima. Coordinar el plazo de entrega con su Representante de Venta
- Repuestos inflamables serán importados via maritima (30 - 40 días)
- Coordinar el tiempo de atención de otras linea con su Representante de Ventas.



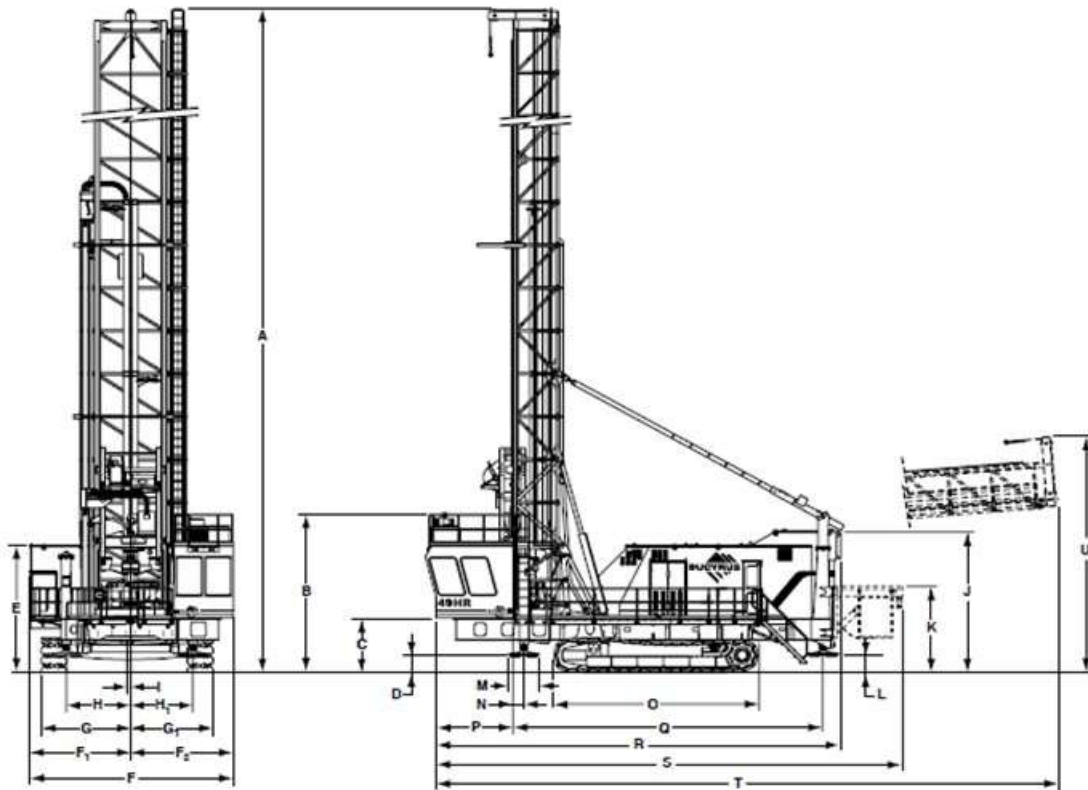
OFERTA

Ciente: 	07 de julio
---	-------------

1. HOJA DE PRECIOS

Cantidad	Unidad	Descripción	Marca	Precio
1	Und	Varador DCS900-S02-0520-05	ABB	39,160.00
1	Und	Extensión de entradas y salidas análogas RAIO-01	ABB	1,246.00
1	Und	Extensión de entradas y salidas digitales RDIO-01	ABB	1,246.00
1	Und	Transformador auxiliar T2-EI 150	ABB	1,780.00
1	Und	Kit de panel de control JPMP-01	ABB	534
1	Und	SDCS-COM-81 - Tarjeta para comunicación	ABB	2,670.00
1	Und	Line Reactor ND10	ABB	8,900.00
1	Und	Cable de fibra óptica	ABB	356
5	Und	Base porta fusible	Busmann	1,780.00
3	Und	Fuse UR 750A / 690V -170M6811	ABB	5,340.00
2	Und	Fusible	Busmann	1,068.00
1	Und	Contactador DC FPLB610115R0006	ABB	12,460.00
1	Und	Bloque de contacto auxiliar DC 2NO + 2NA	HUBBEL	534
1	Und	Puente Rectificador	SEMIKRON	890
1	Gb	Accesorios de montaje		5,340.00
1	Und	Bandeja para montaje		2,848.00
1	Gb	Barra de cobre	TECNOFIL	1,780.00
1	Gb	Barra de plata	TECNOFIL	1,780.00
1	Gb	Cable de fuerza	SUPERFLEX	5,340.00
1	Gb	Cable de control	SUPERFLEX	1,068.00
				S/. 96,120.00

Anexo C. Características de la perforadora Bucyrus 49HR.



Dimensions & Weight

Hole diameter	to 16"	(406 mm)
Hole depth - Single pass standard	65'-0"	(19.81 m)
A		
Overall height with mast for 65' (19.81 m) single pass drill depth	102'-5"	(31.22 m)
B		
Height to top of handrails on operator cab	18'-6"	(5.64 m)
C		
Groundline to top of deck	6'-4"	(1.93 m)
D		
Groundline to bottom of rear jack pads	2'-0"	(0.61 m)
E		
Groundline to top of machinery house roof	15'-1"	(4.60 m)
F		
Overall width of machine	23'-9"	(7.24 m)
F₁		
Centerline of machine to LH side	11'-10"	(3.61 m)
F₂		
Centerline of machine to RH side	11'-11"	(3.63 m)
G₁		
Centerline of machine to LH outside edge of 36" (914 mm) tracks	10'-5"	(3.17 m)
G₂		
Centerline of machine to RH outside edge of 36" (914 mm) tracks	9'-7"	(2.92 m)
H		
Centerline of machine to centerline of LH rear leveling jack	7'-6"	(2.29 m)
H₁		
Centerline of machine to centerline of RH rear leveling jack	7'-3"	(2.21 m)
I		
Centerline of hole to centerline of equalizer axle	5"	(127 mm)
J		
Height to top of machinery house pressurizing unit	16'-7"	(5.05 m)
K		
Height to top of cable reel (Optional)	10'-1"	(3.07 m)
L		
Groundline to bottom of front jack pads	2'-1"	(0.63 m)
M		
Diameter of jack pads	3'-8"	(1.12 m)
N		
Centerline of hole to centerline of rear jacks	15-3/4"	(400 mm)
O		
Overall length of crawlers	23'-11"	(7.29 m)
P		
Centerline of hole to rear of operator's cab	10'-2"	(3.10 m)
Q		
Centerline of rear jacks to centerline of front jacks	36'-2"	(11.02 m)
R		
Overall length of machine	48'-4"	(14.73 m)
S		
Overall length of machine with Optional cable reel	55'-8"	(16.97 m)
T		
Overall length of machine with mast for 65' (19.81 m) single pass drill depth - Mast at rest	102'-6"	(31.24 m)
U		
Ground line to high point with mast for 65' (19.81 m) single pass drill depth - Mast at rest	32'-5"	(9.88 m)
WEIGHT*		
Working weight	340,000 lbs.	(154,224 kg)

*Type and number of options will affect machine weight.

ANEXO D. Base de datos de dispatch. 2019

Work Order	Wvo Descr	Componente (Grupo)	Cond. Subcomponente	SubComponente	SubSubst	Sistema	Operacion	Chart year	FechaComienzo	Mes	Mantenido en	Equipos	Cuarta	Vendedor	Asesor	LineaParte
		C-ACEITE HYD	00000	No Clasificado	No Clasificado	No Clasificado	0.83	1	2019-01-02701375	1	2019-01-027013	T0012	D	BE49HR		53.98
		C-ACEITE HYD	00000	No Clasificado	No Clasificado	No Clasificado	2.14	1	2019-01-02712402	1	2019-01-027124	T0012	D	BE49HR		75.66
		C-FUGA DE AGUA FALDO	00000	No Clasificado	No Clasificado	No Clasificado	0.95	1	2019-01-03707583	1	2019-01-037075	T0012	B	BE49HR		61.4
		C-SWCH	00000	No Clasificado	No Clasificado	No Clasificado	1.59	1	2019-01-0402102	1	2019-01-040210	T0012	A	BE49HR		69.08
		C-BAJA PRES LUBRICACI	00000	No Clasificado	No Clasificado	No Clasificado	6.81	1	2019-01-04070336	1	2019-01-040712	T0012	A	BE49HR		133.72
		C-FUGA DE AIRE AGUA	00000	No Clasificado	No Clasificado	No Clasificado	1.9	1	2019-01-05108291	1	2019-01-051082	T0012	B	BE49HR		72.8
		C-FUGA ACEITE HOCO	00000	No Clasificado	No Clasificado	No Clasificado	7.72	1	2019-01-07212033	1	2019-01-080704	T0012	A	BE49HR		142.64
		FUGA ACEITE DE COMP	00000	No Clasificado	No Clasificado	No Clasificado	0.79	1	2019-01-13175371	1	2019-01-131762	T0012	D	BE49HR		59.48
		C-CAMBIO BOMBA GR	00000	No Clasificado	No Clasificado	No Clasificado	2.14	1	2019-01-19174834	1	2019-01-191765	T0012	A	BE49HR		75.66
		C-FUGA DE AIRE Y AGU	00000	No Clasificado	No Clasificado	No Clasificado	1.18	1	2019-01-21109313	1	2019-01-211210	T0012	A	BE49HR		64.16
		C-REPNOS SUELTOS	00000	No Clasificado	No Clasificado	No Clasificado	13.69	1	2019-01-23720451	1	2019-01-240102	T0012	A	BE49HR		214.28
MM548693	C-ROTACION	no null	PP062	DRIVE DE ROTACION	GABINETE DE CONTROL DE		0.25	1	2019-12-21118067	12	2019-12-211181	T0012	D	0000006703	BE49HR	51.3
MM548929	C-ROTACION	no null	PP062	DRIVE DE ROTACION	GABINETE DE CONTROL DE		1.8	1	2019-12-19126328	12	2019-12-191263	T0012	C	0000004987	BE49HR	98.35
		no null	00000	No Clasificado	No Clasificado	No Clasificado	2.1	1	2019-01-27714245	1	2019-01-277163	T0012	B	BE49HR		75.2
		C-RANTALL	00000	No Clasificado	No Clasificado	No Clasificado	0.26	1	2019-01-22718304	1	2019-01-227184	T0012	B	BE49HR		53.12
		CONTROL SOPLOADOR	00000	No Clasificado	No Clasificado	No Clasificado	3.7	1	2019-01-28720190	1	2019-01-297006	T0012	B	BE49HR		94.4
		FUGA HIDRAULICO	00000	No Clasificado	No Clasificado	No Clasificado	1.01	1	2019-01-30720391	1	2019-01-307213	T0012	B	BE49HR		62.12
		C-PLATO DEL DERECHO	00000	No Clasificado	No Clasificado	No Clasificado	7.5	1	2019-01-31118055	1	2019-01-311213	T0012	C	BE49HR		140
MM5478621	C-FUGA ACEI	C-FUGA ACEITE	PP381	ACOPLAMIENTO DO	COMPRESOR SISTEMA DE		2.13	1	2019-01-15122392	1	2019-01-161064	T0012	C	0000005888	BE49HR	79.8
MM542678	C-ANILLOS	C-ANILLOS	PP007	CABLE DE POTENCI	ALTO VOLTAJ SISTEMA DE		1.85	1	2019-01-29111572	1	2019-01-307151	T0012	C	0000007071	BE49HR	206.48
MM548009	C-CAMBIO RC	C-CAMBIO ROTADOR	PP062	DRIVE DE ROTACION	GABINETE DE CONTROL DE		1.31	1	2019-12-191202491	12	2019-12-191205	T0012	B	0000006651	BE49HR	95.08
		no null	00000	No Clasificado	No Clasificado	No Clasificado	24.22	1	2019-01-08116415	1	2019-01-091165	T0012	A	BE49HR		140.64
		C-EXTENSION PM	00000	No Clasificado	No Clasificado	No Clasificado	23.26	1	2019-02-09116550	2	2019-02-101163	T0012	A	BE49HR		129.12
		no null	00000	No Clasificado	No Clasificado	No Clasificado	0.33	1	2019-02-13174353	2	2019-02-131745	T0012	B	BE49HR		53.96
		no null	00000	No Clasificado	No Clasificado	No Clasificado	2.42	1	2019-02-19117191	2	2019-02-191184	T0012	C	BE49HR		79.04
		C-BAJA PRESION	00000	No Clasificado	No Clasificado	No Clasificado	49.07	1	2019-02-24721321	2	2019-02-247223	T0012	C	BE49HR		638.84
		C-SENSOR FRENO CABEZ	00000	No Clasificado	No Clasificado	No Clasificado	0.54	1	2019-02-27710241	2	2019-02-277102	T0012	A	BE49HR		56.48
		C-CONVECCION AGUA	00000	No Clasificado	No Clasificado	No Clasificado	0.07	1	2019-02-28710935	2	2019-02-287093	T0012	A	BE49HR		50.84
MM5486174	C-BAJA PRES	C-BAJA PRESION	PP228	BOMBA DE LUBRICO	LUBRICACION LUBRICACIO		1.06	1	2019-02-23722123	2	2019-02-237231	T0012	C	0000005868	BE49HR	62.72
MM5485536	C-SEGURO SI	C-SEGURO SOBRESI	PP000	OTROS	OTROS		2.45	1	2019-02-20715032	2	2019-02-207173	T0012	C	0000005888	BE49HR	79.4
MM5487262	C-FUGA AGU	C-FUGA AGUA SHOCK	PP154	SHOCK ABSORBER	SISTEMA DE RI MASTIL		2.55	1	2019-02-19170393	2	2019-02-191713	T0012	C	0000005888	BE49HR	80.6
MM547888	C-ROTACION	C-ROTACION	PP062	DRIVE DE ROTACION	GABINETE DE CONTROL DE		4.49	1	2019-12-18113583	12	2019-12-181135	T0012	C	0000004887	BE49HR	106.42
MM547631	C-ROTACION	C-ROTACION	PP062	DRIVE DE ROTACION	GABINETE DE CONTROL DE		1.13	1	2019-12-18110172	12	2019-12-181101	T0012	C	0000004887	BE49HR	62.74
MM547524	C-ROTACION	C-ROTACION	PP062	DRIVE DE ROTACION	GABINETE DE CONTROL DE		0.25	1	2019-12-17116003	12	2019-12-171160	T0012	C	0000004887	BE49HR	51.3
MM547624	C-ROTACION	C-ROTACION	PP062	DRIVE DE ROTACION	GABINETE DE CONTROL DE		8.34	1	2019-03-08120100	3	2019-03-091043	T0012	A	BE49HR		150.08
MM547621	C-ROTACION	C-ROTACION	PP062	DRIVE DE ROTACION	GABINETE DE CONTROL DE		0.68	1	2019-12-17718545	12	2019-12-177172	T0012	C	0000004887	BE49HR	58.89
		no null	00000	No Clasificado	No Clasificado	No Clasificado	1.51	1	2019-03-18116071	3	2019-03-181173	T0012	D	BE49HR		68.12
		C-PARABRISAS	00000	No Clasificado	No Clasificado	No Clasificado	9.45	1	2019-03-21145612	3	2019-03-211456	T0012	A	BE49HR		183.4
		no null	00000	No Clasificado	No Clasificado	No Clasificado	1.29	1	2019-03-27710801	3	2019-03-277105	T0012	B	BE49HR		65.64
		C-FUGA ACEITE COMP	00000	No Clasificado	No Clasificado	No Clasificado	1.32	1	2019-03-27718581	3	2019-03-277181	T0012	B	BE49HR		65.84
MM547613	C-ROTACION	C-ROTACION	PP062	DRIVE DE ROTACION	GABINETE DE CONTROL DE		0.95	1	2019-12-17716064	12	2019-12-177165	T0012	C	0000004887	BE49HR	60.4
MM547293	C-WINCHE	C-WINCHE	PP490	WINCHE	WINCHE SISTEMAS AL		6.14	1	2019-03-03178293	3	2019-03-031723	T0012	A	0000004887	BE49HR	123.68
MM547429	FALLA DEL D	C-ROTACION	PP062	DRIVE DE ROTACION	GABINETE DE CONTROL DE		0.91	1	2019-12-17712065	12	2019-12-177121	T0012	C	0000004887	BE49HR	60.4
MM547292	CIZADO EM	CIZADO EMPUJE	PP058	MOTOR ELECTRIC	SISTEMA DE RI MASTIL		56.93	1	2019-12-16719441	12	2019-12-167195	T0012	B	0000004887	BE49HR	793.16
MM545486	C-ROTACION	C-ROTACION	PP062	DRIVE DE ROTACION	GABINETE DE CONTROL DE		47.22	1	2019-04-02112316	4	2019-04-021114	T0012	A	BE49HR		616.64
		C-NO FUNCIONA	00000	No Clasificado	No Clasificado	No Clasificado	1.19	1	2019-04-14714135	4	2019-04-147131	T0012	B	BE49HR		64.28
		C-NO FUNCIONA	00000	No Clasificado	No Clasificado	No Clasificado	0.13	1	2019-04-14715380	4	2019-04-147153	T0012	B	BE49HR		51.56
		C-PTA	00000	No Clasificado	No Clasificado	No Clasificado	0.83	1	2019-04-22711312	4	2019-04-227113	T0012	C	BE49HR		53.96
		C-FRESI AIRE ELEVADO	00000	No Clasificado	No Clasificado	No Clasificado	1.47	1	2019-04-25719113	4	2019-04-257203	T0012	C	BE49HR		67.64
MM547016	CIZADO EM	CIZADO EMPUJE	PP058	MOTOR ELECTRIC	SISTEMA DE RI MASTIL		5.94	1	2019-12-15704392	12	2019-12-157103	T0012	B	0000004887	BE49HR	121.28
MM549090	C-SISTEMA E	C-SISTEMA ELECTRIC	PP199	CABINA	CABINA SISTEMA CAI		0.12	1	2019-04-14715245	4	2019-04-147153	T0012	B	0000006451	BE49HR	51.44
MM548418	C-ROTACION	C-ROTACION	PP062	DRIVE DE ROTACION	GABINETE DE CONTROL DE		0.39	1	2019-12-19120754	12	2019-12-191208	T0012	C	0000007054	BE49HR	52.42
MM544192	FALLA DRIVE	C-ROTACION	PP062	DRIVE DE ROTACION	GABINETE DE CONTROL DE		1.24	1	2019-12-01704412	12	2019-12-017044	T0012	C	0000004887	BE49HR	58.72
MM544178	C-ROTACION	C-ROTACION	PP062	DRIVE DE ROTACION	GABINETE DE CONTROL DE		1.09	1	2019-12-01703324	12	2019-12-017034	T0012	C	0000006628	BE49HR	57.52
MM543299	PERDIDA DE	C-ROTACION/CAIE	PP062	DRIVE DE ROTACION	GABINETE DE CONTROL DE		4.77	1	2019-11-27707420	11	2019-11-277121	T0012	C	0000004887	BE49HR	114.08
MM542887	C-PERDIDA C	C-PERDIDA CAMPO ROT	PP062	DRIVE DE ROTACION	GABINETE DE CONTROL DE		3.89	1	2019-11-24708583	11	2019-11-247184	T0012	A	0000004884	BE49HR	98.62
		no null	00000	No Clasificado	No Clasificado	No Clasificado	0.16	1	2019-05-03110440	5	2019-05-031105	T0012	A	BE49HR		51.92
		ESPERANDO CAM BAJA	00000	No Clasificado	No Clasificado	No Clasificado	4.09	1	2019-05-05719500	5	2019-05-057233	T0012	A	BE49HR		98.08
		C-INSTALACION CONSEL	00000	No Clasificado	No Clasificado	No Clasificado	1.69	1	2019-05-10715019	5	2019-05-107150	T0012	C	0000005972	BE49HR	52.42
		no null	00000	No Clasificado	No Clasificado	No Clasificado	0.24	1	2019-05-11711560	5	2019-05-117223	T0012	B	BE49HR		52.80
		C-FUGA ACEITE HIDRAU	00000	No Clasificado	No Clasificado	No Clasificado	0.82	1	2019-05-13718170	5	2019-05-137175	T0012	D	BE49HR		59.84
		C-EXTENSION PM	00000	No Clasificado	No Clasificado	No Clasificado	58.48	1	2019-05-23705480	5	2019-05-237163	T0012	D	BE49HR		751.76
		C-SELLO SHOCK ABSOR	00000	No Clasificado	No Clasificado	No Clasificado	1.35	1	2019-05-28712433	5	2019-05-287144	T0012	C	BE49HR		66.2
		no null	00000	No Clasificado	No Clasificado	No Clasificado	0.83	1	2019-05-29714078	5	2019-05-297145	T0012	C	BE49HR		59.96
		C-CAMARA NO SALE	00000	No Clasificado	No Clasificado	No Clasificado	1.27	1	2019-05-29715302	5	2019-05-297154	T0012	C	BE49HR		64.2
MM548821	IRITEM REP	no null	00000	No Clasificado	No Clasificado	No Clasificado	2.02	1	2019-05-28705486	5	2019-05-287054	T0012	C	BE49HR		149.0
MM540460	R&I MOTOR	C-MOTOR PROPULSION	PP247	MOTOR	MOTOR PROPULSION		5.94	1	2019-05-26720172	5	2019-05-277021	T0012	A	0000006498	BE49HR	12

MM51950	MANGUERA MANGUERA	PP186	PANEL DE CONTROL CARINA	SISTEMA CAI	0.89	1 2019-07-28T18:05:3	7 2019-07-28T18:05:3	B	0000004893	BE49HR	58.28	
MM517083	C-FUGA DE C-FUGA DE AGUA SHOCK	PP154	SHOCK ABSORBER	SISTEMA DE R MASTIL	1.85	1 2019-07-27T06:01:5	7 2019-07-27T07:5:1	A	0000006825	BE49HR	72.2	
MM515772	C-CARRETE C-CARRETE CABLE	PP123	CADENA	ENROLLADOR ENROLLADO	1.05	1 2019-07-20T01:54:3	7 2019-07-20T02:1:1	D	0000004874	BE49HR	62.8	
MM517099	C-EMPUNE IN C-EMPUNE NO TIENE	PP046	TARJETA CONTROL PLC / COMUNI-CONTROL		4.44	1 2019-07-27T10:45:4	7 2019-07-27T11:1:1	C	0000004857	BE49HR	103.28	
MM515596	C-GRABACION C-GRABACION	PP028	RADIO	CONEXION	0.89	1 2019-07-27T18:06:1	7 2019-07-27T18:06:1	A	0000004848	BE49HR	50.48	
MM515624	C-PULL DOWN C-PULL DOWN E (ZADO	AC209	OTROS SIST O PROOP OTROS	TRAN DE PO	1.08	1 2019-07-15T05:34:0	7 2019-07-15T06:3:1	C	0000004867	BE49HR	52.56	
MM515628	C-VENTANA C-VENTANA VISUALZAE	PP167	COMPUERTA VISUA ESTRUCTURA	ESTRUCTURA	0.15	1 2019-07-25T22:39:4	7 2019-07-25T22:4:1	A	0000004809	BE49HR	51.8	
MM515770	C-COMPUTA C-COMPUTADORA NIE	PP039	PLC HARDWARE Y PLC / COMUNI-CONTROL		0.1	1 2019-07-20T00:34:2	7 2019-07-20T00:5:1	D	0000007054	BE49HR	53.8	
MM515211	INSPECCION C-PREDICTIVO	PP000	OTROS	OTROS	0.3	7 2019-07-17T20:52:0	7 2019-07-17T21:3:1	D	0000004871	BE49HR	53.6	
MM513806	C-APORO DE C-APORO DE SOLDADUR	PP154	SHOCK ABSORBER	SISTEMA DE R MASTIL	2.52	1 2019-07-11T03:35:5	7 2019-07-11T06:6:1	B	0000006656	BE49HR	80.24	
MM514431	C-BASE GORO C-BASE CORTINA POLVO	PP170	CORTINA DE POLVO ESTRUCTURA	ESTRUCTURA	13.89	1 2019-07-18T14:00:7	7 2019-07-18T14:03:5	D	0000006865	BE49HR	218.2	
MM512822	C-FUGA HD C-FUGA HD	PP470	MAQUILAS	HIIDRAULICO SISTEMA ME	1.39	1 2019-07-08T06:18:2	7 2019-07-08T07:4:1	A	0000006696	BE49HR	60.68	
MM512930	C-TEMP ALOC C-TEMP MOTOR ROTAO	PP126	MOTOR ELECTRICO	SISTEMA DE R MASTIL	1.13	1 2019-07-07T01:17:3	7 2019-07-07T02:2:1	A	0000004866	BE49HR	65.56	
MM512998	C-MOTOR RC C-MOTOR ROTACION	PP156	MOTOR ELECTRICO	SISTEMA DE R MASTIL	1.87	1 2019-07-07T07:45:2	7 2019-07-07T09:3:1	C	0000004872	BE49HR	72.44	
MM514397	C-TEMPALTA C-TEMPALTA MOTOR RC	PP156	MOTOR ELECTRICO	SISTEMA DE R MASTIL	0.37	1 2019-07-07T07:12:3	7 2019-07-07T07:9:1	C	0000004873	BE49HR	54.44	
MM512444	PM3 PERFOR C-PM	PP500	PM	PM	26.88	1 2019-07-24T1:12:0	7 2019-07-25T21:5:1	B	0000004806	BE49HR	194.16	
MM518857	CONTROL RC C-CONTROL ROTACION	PP058	DRIVE DE EMPUNE	GABINETE DE CONTROL DE	0.44	1 2019-08-09T19:58:1	8 2019-08-09T20:1:1	C	0000004878	BE49HR	57.83	
MM515467	SIN ROTACION SIN ROTACION	PP062	DRIVE DE ROTACION	GABINETE DE CONTROL DE	22.81	1 2019-07-24T11:20:0	7 2019-07-25T16:0:1	B	0000004871	BE49HR	211.28	
MM518201	MOTOR ROT C-ROTACION	PP062	DRIVE DE ROTACION	GABINETE DE CONTROL DE	0.68	1 2019-07-23T00:10:3	7 2019-07-23T01:2:1	A	0000004872	BE49HR	54.31	
MM518177	MOTOR ROT C-ROTACION	PP062	DRIVE DE ROTACION	GABINETE DE CONTROL DE	0.86	1 2019-07-22T21:05:4	7 2019-07-22T21:4:1	A	0000004872	BE49HR	69.71	
MM519727	C-SOBRE COI C-SOBRE CORRIENTE CA	PP062	DRIVE DE ROTACION	GABINETE DE CONTROL DE	1.34	1 2019-07-21T10:40:1	7 2019-07-21T11:5:1	A	0000004848	BE49HR	63.09	
MM514758	C-ROTACION C-ROTACION	PP062	DRIVE DE ROTACION	GABINETE DE CONTROL DE	1.17	1 2019-07-16T04:30:2	7 2019-07-16T05:5:1	C	0000004828	BE49HR	61.22	
	noClasificado	00000	No Clasificado	No Clasificado	No Clasificado	1.85	1 2019-08-04T04:30:4	8 2019-08-04T06:0:1	C	0000004874	BE49HR	69.8
	noClasificado	00000	No Clasificado	No Clasificado	No Clasificado	0.86	1 2019-08-05T07:20:0	8 2019-08-05T07:5:1	D	0000004871	BE49HR	60.32
	noClasificado	00000	No Clasificado	No Clasificado	No Clasificado	0.88	1 2019-08-07T18:12:0	8 2019-08-07T18:12:0	A	0000004874	BE49HR	58.96
	noClasificado	00000	No Clasificado	No Clasificado	No Clasificado	2.8	1 2019-08-10T07:30:1	8 2019-08-10T10:0:1	A	0000004871	BE49HR	63.6
	noClasificado	00000	No Clasificado	No Clasificado	No Clasificado	0.11	1 2019-08-18T10:12:8	8 2019-08-19T10:1:1	C	0000004871	BE49HR	51.2
	noClasificado	00000	No Clasificado	No Clasificado	No Clasificado	0.23	1 2019-08-20T11:20:2	8 2019-08-20T11:9:1	C	0000004871	BE49HR	52.76
	noClasificado	00000	No Clasificado	No Clasificado	No Clasificado	1.81	1 2019-08-26T16:00:5	8 2019-08-26T17:9:1	A	0000004871	BE49HR	69.32
	noClasificado	00000	No Clasificado	No Clasificado	No Clasificado	1.71	1 2019-08-29T15:40:2	8 2019-08-29T17:2:1	A	0000004871	BE49HR	70.32
MM518702	C-ROTACION C-ROTACION	PP062	MOTOR ELECTRICO	SISTEMA DE R MASTIL	32.96	1 2019-08-07T18:20:1	8 2019-08-07T18:20:1	B	0000004871	BE49HR	201.92	
MM521143	CHUMACERU CHUMACERA CORTINA	PP170	CORTINA DE PÓLVO ESTRUCTURA	ESTRUCTURA	1	1 2019-08-15T16:49:1	8 2019-08-15T17:6:1	D	0000004865	BE49HR	56.8	
MM520504	SEGURO FOG SEGURO PORTABARRAS	PP144	PORTA BARRA	HERRAMIENTA MASTIL	0.75	1 2019-08-11T10:55:3	8 2019-08-11T11:4:1	B	0000004871	BE49HR	58	
MM514721	FALLA SIFETE C-POTENCIA	PP062	DRIVE DE ROTACION	GABINETE DE CONTROL DE	0.77	1 2019-07-15T23:10:5	7 2019-07-15T24:4:1	D	0000004867	BE49HR	56.82	
MM513978	C-BAJO AISU C-BAJO AISLAMIENTO AN	PP000	OTROS	OTROS	3.59	1 2019-08-10T01:34:4	8 2019-08-10T05:1:1	C	0000004873	BE49HR	93.08	
MM522482	C-SEGURO D C-SEGURO DE BARRA	PP129	CILINDRO HIDRAUL	TENSIONADOR EMPUNE	0.41	1 2019-08-22T11:13:1	8 2019-08-22T12:0:1	D	0000004874	BE49HR	54.92	
MM521231	C-FUGA ADE C-FUGA ADEO COMPR	PP178	COMPRESOR	COMPRESOR SISTEMA DE	6.98	1 2019-08-21T09:00:5	8 2019-08-21T15:5:1	D	0000004899	BE49HR	138.76	
MM521618	ACEITE BROO ACEITE BROCA	PP480	TACLE LUBRICACI	SISTEMA DE R MASTIL	1.14	1 2019-08-18T12:31:8	8 2019-08-18T12:31:8	A	0000004871	BE49HR	51.68	
MM525986	C-PROPULSIC C-PROPULSION	PP000	OTROS	OTROS	1.47	1 2019-08-11T01:06:1	8 2019-08-11T02:3:1	D	0000004837	BE49HR	57.64	
MM520420	C-SEGURO P C-SEGURO PORTABARRA	PP131	TOPE DEL PORTABA MASTIL	MASTIL	2.41	1 2019-08-22T04:06:1	8 2019-08-22T06:3:1	C	0000004830	BE49HR	78.92	
MM518649	C-ESCALERA C-ESCALERA	PP000	OTROS	OTROS	1.56	1 2019-08-04T09:10:0	8 2019-08-04T10:0:1	D	0000004874	BE49HR	68.72	
MM512854	C-ESCALERA C-ESCALERA	PP000	OTROS	OTROS	0.27	1 2019-08-03T10:43:1	8 2019-08-03T10:5:1	D	0000007408	BE49HR	53.24	
MM519612	C-PORTA BARRA C-PORTA BARRA	PP000	OTROS	OTROS	0.24	1 2019-08-08T23:28:1	8 2019-08-09T08:1:1	D	0000004831	BE49HR	58.98	
MM521036	C-SEG PORTA C-SEG PORTA BARRAS	PP000	OTROS	OTROS	2.48	1 2019-08-11T19:01:3	8 2019-08-11T21:4:1	D	0000004898	BE49HR	82.18	
MM519595	C-ANABARRIS C-ANABARRIS	PP129	CABINA	CABINA SISTEMA CAI	10.71	1 2019-08-09T07:46:0	8 2019-08-09T12:1:1	A	0000004898	BE49HR	176.52	
MM520712	C-SEG PORTA C-SEG PORTA BARRAS	PP000	OTROS	OTROS	0.51	1 2019-08-14T00:01:2	8 2019-08-14T00:3:1	A	0000004898	BE49HR	56.12	
MM520716	C-NO BAA C-NO BAA MASTIL	PP000	OTROS	OTROS	0.42	1 2019-08-14T03:10:0	8 2019-08-14T03:3:1	A	0000004898	BE49HR	55.04	
MM520718	C-SEG PORTA C-SEG PORTA BARRAS	PP000	OTROS	OTROS	0.47	1 2019-08-14T05:27:4	8 2019-08-14T05:5:1	A	0000004898	BE49HR	55.64	
MM519820	ESCALERA A ESCALERA ADESO	PP000	OTROS	OTROS	2.33	1 2019-08-08T03:30:4	8 2019-08-08T08:1:1	D	0000007408	BE49HR	77.96	
MM518769	MOTOR DE MOTOR ROTARY	PP000	OTROS	OTROS	12.54	1 2019-08-09T07:11:2	8 2019-08-09T07:2:1	D	0000004837	BE49HR	105.58	
MM521325	CAMBIO COF C-CORTINA DE POLVO	PP170	CORTINA DE PÓLVO ESTRUCTURA	ESTRUCTURA	2.79	1 2019-08-27T19:05:4	8 2019-08-27T22:2:1	D	0000004874	BE49HR	83.48	
MM511159	C-PULL DOWN C-PULL DOWN	PP058	DRIVE DE EMPUNE	GABINETE DE CONTROL DE	1.14	1 2019-06-29T11:01:1	6 2019-06-29T11:6:1	A	0000004812	BE49HR	50.16	
	C-GATOS	00000	No Clasificado	No Clasificado	No Clasificado	0.97	1 2019-09-12T22:23:6	9 2019-09-12T23:0:1	C	0000004871	BE49HR	56.84
	C-COMPUTADORA	00000	No Clasificado	No Clasificado	No Clasificado	0.86	1 2019-09-15T02:42:0	9 2019-09-15T03:3:1	C	0000004871	BE49HR	60.32
	noClasificado	00000	No Clasificado	No Clasificado	No Clasificado	0.63	1 2019-09-15T10:39:2	9 2019-09-15T11:3:1	A	0000004871	BE49HR	57.56
	noClasificado	00000	No Clasificado	No Clasificado	No Clasificado	0.63	1 2019-09-15T18:06:1	9 2019-09-15T18:06:1	A	0000004871	BE49HR	51.68
	noClasificado	00000	No Clasificado	No Clasificado	No Clasificado	10.91	1 2019-09-23T19:00:0	9 2019-09-24T03:0:1	A	0000004871	BE49HR	201.92
MM520594	CORTE DE E	PP007	CABLE DE POTENCI	ALTO VOLTAGI SISTEMA DE	0.56	1 2019-09-28T02:35:4	9 2019-09-28T03:0:1	B	0000004799	BE49HR	56.72	
MM527032	C-CAPAGO C-CAPAGO	PP230	SENSOR DE NIVEL	LUBRICACION LUBRICACIO	0.82	1 2019-09-18T12:33:8	9 2019-09-18T13:2:1	D	0000004878	BE49HR	59.84	
MM523653	C-PROPULSIC C-PROPULSION	PP263	TRANSMISION DE P	TRANSMISION PROPULSIOA	0.42	1 2019-09-19T10:25:0	9 2019-09-19T11:2:1	A	0000004864	BE49HR	55.04	
MM522500	FALLA COMP FALLA COMPRESOR	PP178	COMPRESOR	COMPRESOR SISTEMA DE	10.84	1 2019-09-07T08:37:3	9 2019-09-07T13:2:1	B	0000006698	BE49HR	280.08	
MM522561	FALLA COMP FALLA COMPRESOR	PP178	COMPRESOR	COMPRESOR SISTEMA DE	10.84	1 2019-09-07T08:37:3	9 2019-09-07T13:2:1	B	0000006698	BE49HR	280.08	
MM527236	CAJETE HIC CAJETE HIDRAULICO	PP246	BOMBIDOR	BOMBIDOR PROPULSIOA	3.28	1 2019-09-24T05:35:1	9 2019-09-24T08:0:1	C	0000004879	BE49HR	80.36	
MM520006	C-FUGA POR C-FUGA POR ROTACION	PP152	CAJA DE ROTACION	SISTEMA DE R MASTIL	0.95	1 2019-09-24T06:31:1	9 2019-09-24T07:3:1	A	0000004892	BE49HR	61.4	
MM520009	FUGA ACEITE FUGA ACEITE CABEZAL	PP132	CAJA DE ROTACION	SISTEMA DE R MASTIL	1	1 2019-09-24T07:36:2	9 2019-09-24T08:3:1	B	0000004892	BE49HR	62	
MM529414	SIN CILINDRO C-SEGURO PORTABARRA	PP144	PORTA BARRA	HERRAMIENTA MASTIL	0.38	1 2019-09-21T02:55:0	9 2019-09-21T03:1:1	A	0000004898	BE49HR	54.56	
MM527811	C-INSPECCION C-INSPECCION MANTO	00000	No Clasificado	No Clasificado	No Clasificado	0.68	1 2019-09-17T13:30:2	9 2019-09-17T18:0:1	A	0000004861	BE49HR	57.2
MM520217	C-INTENCION C-INTENCION AGUA	00000	No Clasificado	No Clasificado	No Clasificado	0.58	1 2019-09-25T03:54:1	9 2019-09-25T04:7:1	A	0000004898	BE49HR	54.96
MM525668	C-CORTINA C-CORTINA POLVO	PP170	CORTINA DE PÓLVO ESTRUCTURA	ESTRUCTURA	2.64	1 2019-09-09T18:10:2	9 2019-09-09T18:1:1	D	0000004861	BE49HR	81.88	
MM526358	C-CORTINA P C-CORTINA POLVO	PP170	CORTINA DE PÓLVO ESTRUCTURA	ESTRUCTURA	4.72	1 2019-09-11T17:48:5	9 2019-09-11T22:3:1	D	0000004864	BE49HR	106.64	
MM528139	SHOCK ABOO SHOCK ABSORBER	PP170	OTROS	OTROS	0.52	1 2019-09-20T12:37:0	9 2019-09-20T13:0:1	B	0000004852	BE49HR	56.24	
MM513740	SOBRE VELO C-SIST ELECTRICO	PP161	ENCODER/RESOLVE	SISTEMA DE R MASTIL	1.22	1 2019-09-28T10:55:3	9 2019-09-28T12:0:1	D	0000004828	BE49HR	64.64	
MM521420	PM4 PERFOR	PP400	FILTROS DE AIRE	MOTOR ADMIS SISTEMA MC	55.79	1 2019-09-21T10:25:2	9 2019-09-23T18:1:1	B	0000004815			

Anexo E. Hoja de Comisionado.

BUCYRUS INTERNATIONAL, INC.
ELECTRICAL ADJUSTMENTS FOR BLAST HOLE DRILLS
USING SIEMENS DC MOTION CONTROL DRIVES

*This document is protected under applicable copyright laws to the extent available.
Any unauthorized and unlawful reproduction, distribution or other use shall be subject to liability.*

© 2010 Bucyrus International, Inc. All rights reserved.

CUSTOMER: _____
LOCATION: Peru
MODEL: 49HR
LOT: 108
S/N: 141307
DATE: 6/22/2010
REV. DATE: _____

FIGURES BY: A. Viesselmann
TESTED BY: _____
DATE: _____
APPROVED: _____
DATE: _____

BUCYRUS REFERENCE DOCUMENTS

MACHINE SCHEMATICS
SIEMENS DRIVE DRAWINGS & SCHEMATICS
SIEMENS BASE DRIVE PANEL INSTRUCTIONS
START-UP INSTRUCTIONS
PHASE SEQUENCE RELAY SET-UP INSTRUCTIONS
SIMOREG DC MASTER DRIVE SET-UP INSTRUCTIONS
MACHINE GENERAL ARRGT.
CUSTOMER SOFTWARE DOCUMENTATION
OPERATOR DISPLAY MANUAL
WATER INJECTION SET-UP INSTRUCTIONS
PROGRAMMABLE DRILL CONTROL MANUAL

B010347
1M-22008
PUBLICATION NO.A1-126-008-001 (1M-22051)
X-4064 (REV. 12/22/92 OR LATER)
N/A
X-4123
E022798
EB141300.REP, XINS.REP
X-4141
X-4126
N/A

INPUT VOLTAGES

STD.		ACTUAL
7200	(INCOMING)	_____
480	(AUXILIARY)	_____
480	(H/P DRIVE)	_____
480	(ROTARY DRIVE)	_____

INPUT FREQUENCY: 60 HZ

ALTITUDE: 15,090 FT. 4600 METERS

TEMP. RANGE: -4 TO 78 DEG. F
-20 TO 26 DEG. C

PRESSURE SWITCH SETTINGS

LUBE PANEL	DEVICE ACTION	STANDARD SETTINGS	ACTUAL
LLPS	CLOSING PRESSURE	2500 PSI	_____
LLPS	OPENING PRESSURE	MINIMUM POSSIBLE	_____

AIR SYSTEM

CIPS	OPENING PRESSURE	15 PSI*
CIPS	CLOSING PRESSURE	19-21 PSI*
COPS	OPENING PRESSURE	15 PSI*

BUCYRUS INTERNATIONAL, INC.
ELECTRICAL ADJUSTMENTS FOR BLAST HOLE DRILLS
USING SIEMENS DC MOTION CONTROL DRIVES

ROTARY DRIVE START UP ADJUSTMENTS WITH POWER ON

PARAM. INDEX		PARAM	DEFAULT	MDV810 ROTARY	ACTUAL VALUE
NO.	NO.	DESC.	VALUE	STD. VALUE	
P050	0	LANGUAGE	0	1	
P053	2	PERMANENT MEMORY CONTROL WORD	1	0	
P067	0	LOAD CLASS	1	5	
P075	0	POWER SECTION CONTROL WORD	1	1	
P082	0	FIELD OPERATING MODE	2	3	
P083	1	SPEED FEEDBACK SOURCE	0	3	
P100	1	MOTOR RATED ARMATURE CURRENT	0	330	
P101	1	MOTOR RATED ARMATURE VOLTAGE	400	500	
P102	1	MOTOR RATED FIELD CURRENT	0	14.2	
P104	1	TAPERED CURRENT LIMIT SPEED POINT 1	5000	1346	
P105	1	CURRENT LIMIT @ SPEED POINT 1	0.1	285	
P106	1	TAPERED CURRENT LIMIT SPEED POINT 2	5000	1475	
P107	1	CURRENT LIMIT @ SPEED POINT 2	0.1	284	
P108	1	MAXIMUM OPERATING SPEED - N3	5000	1475	
P109	1	ENABLE TAPERED CURRENT LIMIT	0	1	
P110	1	MOTOR ARMATURE RESISTANCE	0	.058 **	
P111	1	MOTOR ARMATURE INDUCTANCE	0	2.92 **	
P112	1	MOTOR FIELD RESISTANCE	0	10.8 **	
P114	1	MOTOR THERMAL TIME CONSTANT	10	0	
P115	1	MAXIMUM SPEED FOR EMF FEEDBACK	100	104.16	
P155	1	ARM CUR CONTROLLER PROP GAIN	0.1	.16 **	
P156	1	ARM CUR CONTROLLER INTEGRAL TIME	0.2	.058 **	
P169	1	TORQUE OR CURRENT CONTROL SELECTION	1	0	
P171	1	POSITIVE CURRENT LIMIT	100	127	
P172	1	NEGATIVE CURRENT LIMIT	-100	-127	
P180	1	POSITIVE TORQUE LIMIT 1	300	120.9	
P181	1	NEGATIVE TORQUE LIMIT 1	-300	-120.9	
P222	1	SPEED CONTROL PI TO P CHANGE OVER SPEED	0	0.3	
P225	1	SPEED CONTROLLER PROPORTIONAL GAIN	3	5.38	
P226	1	SPEED CONTROLLER INTEGRAL TIME	0.65	0.1	
P228	1	SPEED REFERENCE FILTER TIME	0	100	
P255	1	FIELD CURRENT CONTROL PROP GAIN	5	7.5 **	
P256	1	FIELD CURRENT CONTROL INTEGRAL TIME	0.2	.10 **	
P303	1	RAMP-UP TIME 1	10	0.5	
P304	1	RAMP-DOWN TIME 1	10	0.5	
P394	1	FIELD CURRENT THRESHOLD IF-MIN	3	5	
P401	1	INTERNAL FIXED VALUE (STRONG FIELD)	0	45	
P402	1	INTERNAL FIXED VALUE (MEDIUM FIELD)	0	31.7	
P403	1	INTERNAL FIXED VALUE (WEAK FIELD)	0	25	
P455	1	INPUT FOR CONNECTOR SELECTOR SWITCH 1	0	401	
P455	2	INPUT FOR CONNECTOR SELECTOR SWITCH 1	0	402	
P455	3	INPUT FOR CONNECTOR SELECTOR SWITCH 1	0	403	
P456	1	CONNECTOR SELECTOR SWITCH 1 CONTROL	0	22	
P456	2	CONNECTOR SELECTOR SWITCH 1 CONTROL	0	20	

BUCYRUS INTERNATIONAL, INC.
ELECTRICAL ADJUSTMENTS FOR BLAST HOLE DRILLS
USING SIEMENS DC MOTION CONTROL DRIVES

ROTARY DRIVE START UP ADJUSTMENTS WITH POWER ON

PARAM. INDEX		PARAM	DEFAULT	MDV810 ROTARY	ACTUAL VALUE
NO.	NO.	DESC.	VALUE	STD. VALUE	
P457	1	INPUT FOR CONNECTOR SELECTOR SWITCH 2	0	230	
P458	1	CONNECTOR SELECTOR SWITCH 2 CONTROL	0	24	
P611	1	FIELD CURRENT REFERENCE SELECTION	277	231	
P664	1	SOURCE FOR CONTROL WORD 1, BIT 6	1	16	
P665	1	1ST SOURCE FOR CONTROL WORD 1, BIT 7	0	10	
P750	0	OUTPUT VALUE SOURCE, ANALOG OUTPUT 1	0	292	
P752	0	ANALOG OUTPUT 1 FILTER TIME	0	100	
P753	0	NORMALIZATION OF ANALOG OUTPUT 1	10	10.38	
P755	0	OUTPUT VALUE SOURCE, ANALOG OUTPUT 2	0	206	
P757	0	ANALOG OUTPUT 2 FILTER TIME	0	100	
P758	0	NORMALIZATION OF ANALOG OUTPUT 2	10	6	
P760	0	OUTPUT VALUE SOURCE, ANALOG OUTPUT 3	0	117	
P762	0	ANALOG OUTPUT 3 FILTER TIME	0	100	
P763	0	NORMALIZATION OF ANALOG OUTPUT 3	10	6.8	
P771	0	OUTPUT VALUE SOURCE, BINARY OUTPUT 1	0	107	
P820	7	DISABLE FAULT MONITORING	0	38	
P820	8	DISABLE FAULT MONITORING	0	42	
P820	9	DISABLE FAULT MONITORING	0	48	
P820	10	DISABLE FAULT MONITORING	0	40	
P825	1	FIELD FEEDBACK ANALOG OFFSET	19139	*	
P825	2	FIELD FEEDBACK ANALOG OFFSET	19139	*	
P825	3	FIELD FEEDBACK ANALOG OFFSET	19139	*	
P826	1	AC LINE ZERO CROSSING CORRECTION	0	**	
P826	2	AC LINE ZERO CROSSING CORRECTION	0	**	
P826	3	AC LINE ZERO CROSSING CORRECTION	0	**	
P826	4	AC LINE ZERO CROSSING CORRECTION	0	**	
P826	5	AC LINE ZERO CROSSING CORRECTION	0	**	
P826	6	AC LINE ZERO CROSSING CORRECTION	0	**	
U580	0	CONTROL WORD FOR COMMUATION MONITORING	7	4	
U962	99	FUNCTION BLOCK PROCESSING SEQUENCE	299	0	
U962	100	FUNCTION BLOCK PROCESSING SEQUENCE	300	299	

* AUTOMATICALLY DETERMINED BY THE DRIVE DURING THE PARAMETER DEFAULT PROCEDURE.

** AUTOMATICALLY DETERMINED BY THE DRIVE IF ARMATURE CURRENT CONTROLLER SELF TUNING IS PERFORMED.

BUCYRUS INTERNATIONAL, INC.
ELECTRICAL ADJUSTMENTS FOR BLAST HOLE DRILLS
USING SIEMENS DC MOTION CONTROL DRIVES

ROTARY MOTION FOR G.E. 810 FRAME DC MOTOR

DRIVE DATA

<u>SPEED SETTING</u>	<u>FIELD AMPS</u>	<u>ACTUAL</u>	<u>BIT SPEED (RPM)</u>	<u>ACTUAL</u>	<u>MOTOR SPEED (RPM)</u>	<u>ACTUAL</u>	<u>STALL BIT TORQUE (#-FT)</u>
LOW SPEED	13.5A		100 (199 N.L.)		1104 (1089 N.L.)		12,500
MEDIUM SPEED	9.5A		117 (111 N.L.)		1286 (1221 N.L.)		10,500
HIGH SPEED	7.5A		134 (124 N.L.)		1475 (1364 N.L.)		9,100

MAX ARM VOLTAGE	500 VDC
STALL ARM CURRENT	399 ADC

TOP SPEED CURRENT 350 ADC (MAX)

FEEDBACK SCALING

ARM CURRENT	750 ADC = 10 VDC @ RCP TR18
ARM VOLTAGE	800 VDC = 10 VDC @ RCP TR14
FLD CURRENT	10 ADC = 2 VDC @ RCP TR16

BUCYRUS INTERNATIONAL, INC.
ELECTRICAL ADJUSTMENTS FOR BLAST HOLE DRILLS
USING SIEMENS DC MOTION CONTROL DRIVES

HOIST/PULLDOWN DRIVE START UP ADJUSTMENTS WITH POWER ON

PARAM. INDEX		PARAM	DEFAULT	MDV808 H/PDN	ACT.VALUE
NO.	NO.	DESC.	VALUE	STD. VALUE	
P050	0	LANGUAGE	0	1	
P053	2	PERMANENT MEMORY CONTROL WORD	1	0	
P067	0	LOAD CLASS	1	5	
P075	0	POWER SECTION CONTROL WORD	1	1	
P082	0	FIELD OPERATING MODE	2	3	
P083	1	SPEED FEEDBACK SOURCE	0	3	
P100	1	MOTOR RATED ARMATURE CURRENT	0	225	
P101	1	MOTOR RATED ARMATURE VOLTAGE	400	500	
P102	1	MOTOR RATED FIELD CURRENT	0	11	
P104	1	TAPERED CURRENT LIMIT SPEED POINT 1	5000	10	
P105	1	CURRENT LIMIT @ SPEED POINT 1	0.1	304	
P106	1	TAPERED CURRENT LIMIT SPEED POINT 2	5000	1534	
P107	1	CURRENT LIMIT @ SPEED POINT 2	0.1	221	
P108	1	MAXIMUM OPERATING SPEED - N3	5000	1534	
P109	1	ENABLE TAPERED CURRENT LIMIT	0	1	
P110	1	MOTOR ARMATURE RESISTANCE	0	.103 **	
P111	1	MOTOR ARMATURE INDUCTANCE	0	3.77 **	
P112	1	MOTOR FIELD RESISTANCE	0	12.3 **	
P114	1	MOTOR THERMAL TIME CONSTANT	10	0	
P115	1	MAXIMUM SPEED FOR EMF FEEDBACK	100	104.16	
P155	1	ARM CUR CONTROLLER PROP GAIN	0.1	.3 **	
P156	1	ARM CUR CONTROLLER INTEGRAL TIME	0.2	.044 **	
P169	1	TORQUE OR CURRENT CONTROL SELECTION	1	0	
P171	1	POSITIVE CURRENT LIMIT	100	198	
P172	1	NEGATIVE CURRENT LIMIT	-100	-198	
P180	1	POSITIVE TORQUE LIMIT 1	300	188.9	
P181	1	NEGATIVE TORQUE LIMIT 1	-300	-4	
P182	1	POSITIVE TORQUE LIMIT 2	300	118	
P183	1	NEGATIVE TORQUE LIMIT 2	-300	-118	
P200	1	SPINDLE FEEDBACK FILTER TIME	0	10	
P222	1	SPEED CONTROL PI TO P CHANGE OVER SPEED	0	5	
P225	1	SPEED CONTROLLER PROPORTIONAL GAIN	3	2.36	
P226	1	SPEED CONTROLLER INTEGRAL TIME	0.65	0.5	
P228	1	SPEED REFERENCE FILTER TIME	0	122	
P255	1	FIELD CURRENT CONTROL PROP GAIN	5	9.2 **	
P256	1	FIELD CURRENT CONTROL INTEGRAL TIME	0.2	.10 **	
P303	1	RAMP-UP TIME 1	10	0.5	
P304	1	RAMP-DOWN TIME 1	10	0.5	
P394	1	FIELD CURRENT THRESHOLD IF-MIN	3	5	
P401	1	INTERNAL FIXED VALUE (STRONG FIELD)	0	34.3	
P403	1	INTERNAL FIXED VALUE (WEAK FIELD)	0	18.61	
P455	1	INPUT FOR CONNECTOR SELECTOR SWITCH 1	0	401	
P455	3	INPUT FOR CONNECTOR SELECTOR SWITCH 1	0	403	
P456	2	CONNECTOR SELECTOR SWITCH 1 CONTROL	0	20	
P457	1	INPUT FOR CONNECTOR SELECTOR SWITCH 2	0	230	
P458	1	CONNECTOR SELECTOR SWITCH 2 CONTROL	0	24	
P606	1	VARIABLE NEGATIVE TORQUE LIMIT SOURCE	9	15	

BUCYRUS INTERNATIONAL, INC.
ELECTRICAL ADJUSTMENTS FOR BLAST HOLE DRILLS
USING SIEMENS DC MOTION CONTROL DRIVES

HOIST/PULLDOWN DRIVE START UP ADJUSTMENTS WITH POWER ON

PARAM. INDEX		PARAM DESC.	DEFAULT	MDV808 H/PDN	ACT.VALUE
NO.	NO.		VALUE	STD. VALUE	
P611	1	FIELD CURRENT REFERENCE SELECTION	277	231	
P664	1	SOURCE FOR CONTROL WORD 1, BIT 6	1	16	
P665	1	1ST SOURCE FOR CONTROL WORD 1, BIT 7	0	10	
P694	1	SELECT TORQUE LIMIT SWITCHOVER SOURCE	0	18	
P698	1	SELECT SPEED CONT. SWITCHOVER SOURCE	1	22	
P711	1	ANALOG INPUT 1 SCALING	100	60	
P713	0	ANALOG INPUT 1 CONTROL WORD	0	2	
P715	0	ANALOG INPUT 1 FILTER TIME	0	100	
P750	0	OUTPUT VALUE SOURCE, ANALOG OUTPUT 1	0	292	
P752	0	ANALOG OUTPUT 1 FILTER TIME	0	100	
P753	0	NORMALIZATION OF ANALOG OUTPUT 1	10	10.38	
P755	0	OUTPUT VALUE SOURCE, ANALOG OUTPUT 2	0	266	
P757	0	ANALOG OUTPUT 2 FILTER TIME	0	100	
P758	0	NORMALIZATION OF ANALOG OUTPUT 2	10	6	
P760	0	OUTPUT VALUE SOURCE, ANALOG OUTPUT 3	0	117	
P762	0	ANALOG OUTPUT 3 FILTER TIME	0	100	
P763	0	NORMALIZATION OF ANALOG OUTPUT 3	10	6.8	
P771	0	OUTPUT VALUE SOURCE, BINARY OUTPUT 1	0	107	
P820	7	DISABLE FAULT MONITORING	0	38	
P820	8	DISABLE FAULT MONITORING	0	42	
P820	9	DISABLE FAULT MONITORING	0	48	
P820	10	DISABLE FAULT MONITORING	0	40	
P825	1	FIELD FEEDBACK ANALOG OFFSET	19139	*	
P825	2	FIELD FEEDBACK ANALOG OFFSET	19139	*	
P825	3	FIELD FEEDBACK ANALOG OFFSET	19139	*	
P826	1	AC LINE ZERO CROSSING CORRECTION	0	**	
P826	2	AC LINE ZERO CROSSING CORRECTION	0	**	
P826	3	AC LINE ZERO CROSSING CORRECTION	0	**	
P826	4	AC LINE ZERO CROSSING CORRECTION	0	**	
P826	5	AC LINE ZERO CROSSING CORRECTION	0	**	
P826	6	AC LINE ZERO CROSSING CORRECTION	0	**	
U580	0	CONTROL WORD FOR COMMUTATION MONITORING	7	4	
U962	99	FUNCTION BLOCK PROCESSING SEQUENCE	299	0	
U962	100	FUNCTION BLOCK PROCESSING SEQUENCE	300	299	

* AUTOMATICALLY DETERMINED BY THE DRIVE DURING THE PARAMETER DEFAULT PROCEDURE.

** AUTOMATICALLY DETERMINED BY THE DRIVE IF ARMATURE CURRENT CONTROLLER SELF TUNING IS PERFORMED.

BUCYRUS INTERNATIONAL, INC.
ELECTRICAL ADJUSTMENTS FOR BLAST HOLE DRILLS
USING SIEMENS DC MOTION CONTROL DRIVES

"HOIST/PULLDOWN" MOTION FOR G.E. 808 (899 TURNS) FRAME DC MOTOR

DRIVE DATA**

	<u>PULLDOWN*</u>	<u>ACTUAL</u>	<u>LOW SPD HOIST*</u>	<u>ACTUAL</u>	<u>H. SPD HOIST</u>	<u>ACTUAL</u>	<u>PIPE JOINTS</u>	<u>ACTUAL</u>
MAX SPEED AT MTR (RPM)	473 (512 N.L.)		1119 (1198 N.L.)		1533 (1604 N.L.)		496 (512 N.L.)	
MAX SPEED (FT./MIN)	23.1 (25.0 N.L.)		54.7 (54.2 N.L.)		75.0 (89.0 N.L.)		24.3 (25.0 N.L.)	
MAX ARM VOLTAGE (VDC)	220		300		300		119	
STALL ARM CURRENT (ADC)	205		205		420		420	
FIELD (ADC)	10.35A		10.35A		5.63A		5.63A	
TOP SPEED CURRENT (ADC)(MAX)	205		205		205		360	

* SAME VALUES FOR HEAD MOVEMENT UP AND DOWN

** LIMITED TO 9ADC FOR DOWNWARD HEAD MOVEMENT (MOTORING)

***IR COMPENSATION EFFECTS ARE NOT INCLUDED

FEEDBACK SCALING

ARM CURRENT 750 ADC = 10 VDC @ HCP TB18

ARM VOLTAGE 600 VDC = 10 VDC @ HCP TB14

FLD CURRENT 10 ADC = 2 VDC @ HCP TB18

ANEXO F. Confiabilidad establecida por la Compañía Minera.

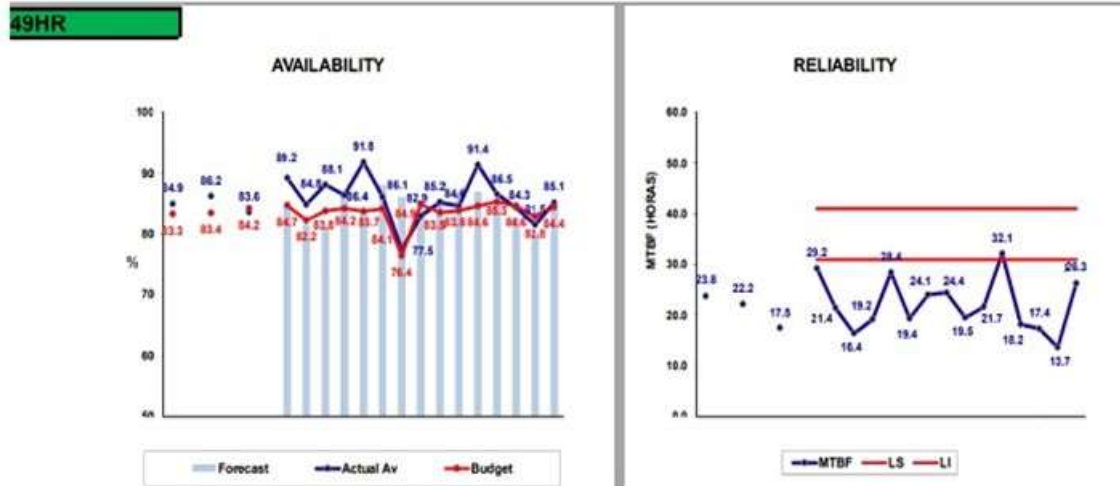
MANUAL DEL PROCESO	
MOP103 – DESARROLLAR LA ESTRATEGIA DE MANTENIMIENTO	
Gerencia de Mantenimiento	
Área: Ingeniería de Mantenimiento	Versión: 02
Código: GMN-INM-MOP103	Página 11 de 11

9. INDICADORES DE DESEMPEÑO

9.1. Porcentaje de Equipos/Flota con Estrategia de Mantenimiento

Se medirá el porcentaje de equipos que cuenten con estrategias definidas del total de equipos en la flota.

El reporte del KPI será anual.



Leyenda:
 LS: Límite superior.
 LI: Límite inferior.


Los valores de KPI, son determinados dentro del Desarrollo de la Estrategia de Mantenimiento para el caso de la confiabilidad, la Compañía Minera de tajo abierto, considera como límites aceptables para las perforadoras Bucyrus 49HR, un límite entre 30 y 40 horas de MTBF.

ANEXO G. Boletín de SIEMENS comunicando la salida del mercado del 6RA70.



SIMOREG DC-MASTER – Product phase out

Dates:
2013 -> Start phase-out
2014 -> Start spare parts phase
2020 -> Production is discontinued
2022 -> End of warranty



SIMOREG DC MASTER 6RA70

SIMOREG 6RA22

The devices of the DC MASTER 6RA70 series were discontinued on February 2014, the spare parts stocking will continue until October 2020.

Unrestricted © Siemens AG 2014. All rights reserved.
Page 2

Customer Services Large Drives

Anexo H. Representación de valores del modelo matemático de los motores de empuje y rotación.

El modelo matemático del motor de rotación y empuje con excitación independiente utiliza el siguiente diagrama

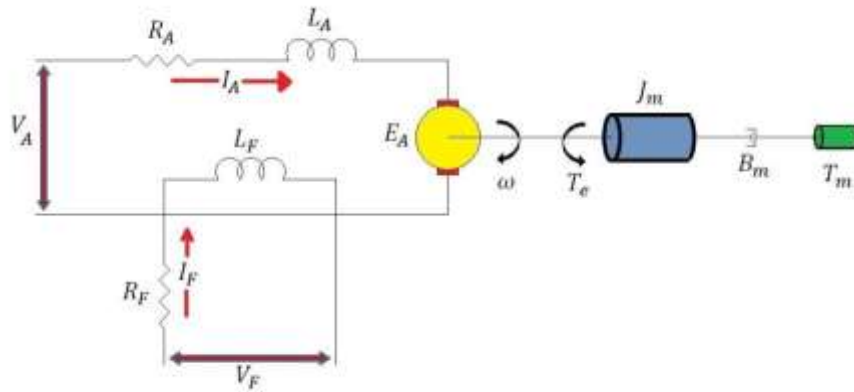


Diagrama del motor de cd con excitación independiente.

En el diagrama, se tiene la siguiente notación:

R_A =Resistencia de armadura. (Ω)	V_F =Voltaje de campo. (V)
L_A =Inductancia de armadura. (H)	E_A =Voltaje interno generado (V)
R_F =Resistencia de campo. (Ω)	T_e =Torque eléctrico. ($N \cdot m$)
L_F =Inductancia de campo. (H)	T_m =Par externo aplicado al motor. ($N \cdot m$)
I_A =Corriente de armadura. (A)	B_m =Coeficiente de fricción viscosa. ($N \cdot$
I_F =Corriente de campo. (A)	J_m =Momento de inercia del motor. ($kg \cdot$
V_A =Voltaje de armadura. (V)	ω =velocidad angular del motor. (rad/s)

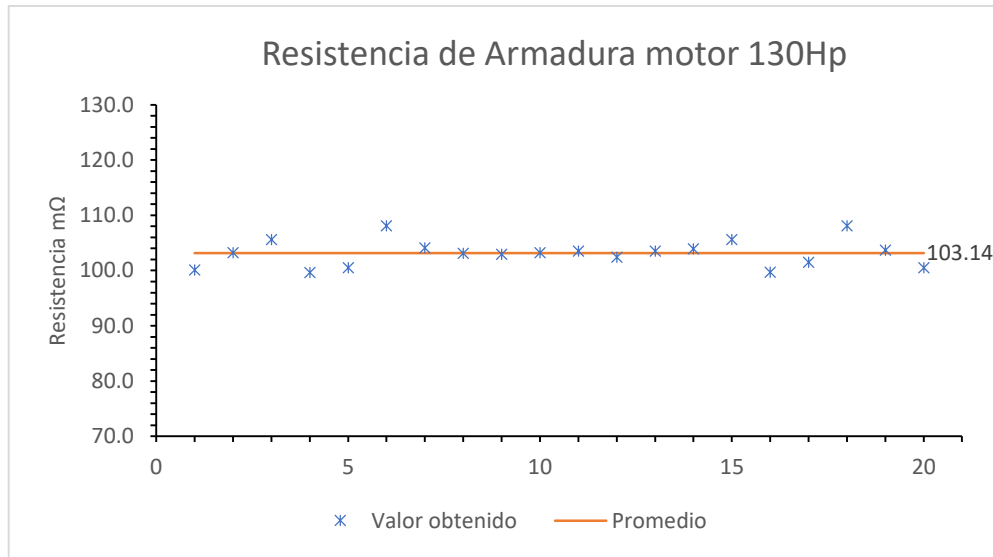
Parámetros en el diagrama esquemático del motor.

1) Motor de empuje y rotación.

$$R_A = 103.14\text{m}\Omega$$

Resistencia de armadura - motor de 130HP. (R_A)

Se realizaron 20 mediciones, obteniendo cada 18 grados obteniendo un promedio de 103.14 m Ω , que se muestra en la figura siguiente:

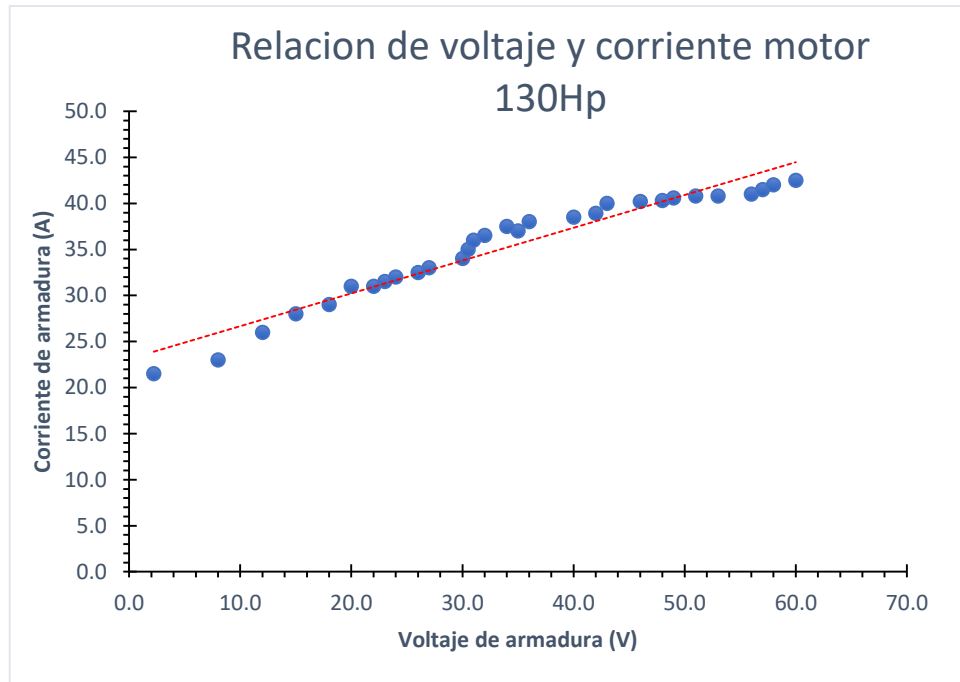


Resistencia de armadura del motor de levante/empuje.

Inductancia de Armadura - motor de 130HP (L_A)

Para el cálculo de la inductancia, se aplicó al bobinado de armadura un voltaje de CA los datos se muestran en la tabla siguiente.

Medición	Valor obtenido VAC (V)	Valor obtenido IAC (A)	Impedancia Z (Ω)	Medición	Valor obtenido VAC (V)	Valor obtenido IAC (A)	Impedancia Z (Ω)
1	2.2	21.5	0.1023	16	35.0	37.0	0.9459
2	8.0	23.0	0.3478	17	34.0	37.5	0.9067
3	12.0	26.0	0.4615	18	36.0	38.0	0.9474
4	15.0	28.0	0.5357	19	40.0	38.5	1.0390
5	18.0	29.0	0.6207	20	42.0	38.9	1.0797
6	20.0	31.0	0.6452	21	43.0	40.0	1.0750
7	22.0	31.0	0.7097	22	46.0	40.2	1.1443
8	23.0	31.5	0.7302	23	48.0	40.3	1.1911
9	24.0	32.0	0.7500	24	49.0	40.6	1.2069
10	26.0	32.5	0.8000	25	51.0	40.8	1.2500
11	27.0	33.0	0.8182	26	53.0	40.8	1.2990
12	30.0	34.0	0.8824	27	56.0	41.0	1.3659
13	30.5	35.0	0.8714	28	57.0	41.5	1.3735
14	31.0	36.0	0.8611	29	58.0	42.0	1.3810
15	32.0	36.5	0.8767	30	60.0	42.5	1.4118



Voltaje de armadura y corriente de armadura de motor de levante/empuje.

El valor promedio de impedancia es: $Z_A = 0.9210\Omega$

$$Z_A = \sqrt{R_A^2 + X_A^2}$$

$$X_A = \sqrt{(0.9210)^2 - (0.1031)^2}$$

$$X_A = 0.9152\Omega$$

$$X_A = 2\pi f L_A$$

$$L_A = \frac{0.9152}{2\pi(60)}$$

$$L_A = 2.4277 \text{ mH}$$

Resistencia de Campo – motor 130HP. (R_F)

Luego, se alimenta con voltaje continuo para medir la resistencia de campo del motor los datos se muestran en la siguiente tabla.

Medición	Valor Medido VDC (V)	Valor Medido IDC (A)	Valor Calculado Ω
1	60	6.5	9.23
2	100	8.2	12.20
3	120	10	12.00
4	140	11.5	12.17
5	150	12.3	12.20
promedio			11.56

$$R_F = 11.56\Omega$$

Inductancia de Campo – motor 130HP (L_F)

Se toma medidas de voltaje corriente aplicando voltaje al grupo de devanados de campo

Valores medidos de voltaje y corriente de campo

Medición	Valor Medido	
	Vac (V)	Iac (A)
1	61.20	0.12
2	118.80	0.14
3	142.50	0.15
4	162.00	0.16
5	181.50	0.17

Los datos los pares de puntos ajustados se asemejarán a una línea recta, donde las ecuaciones,

$$Y = \tilde{b} + \tilde{m}X$$

$$m(I_F) + b = V_F$$

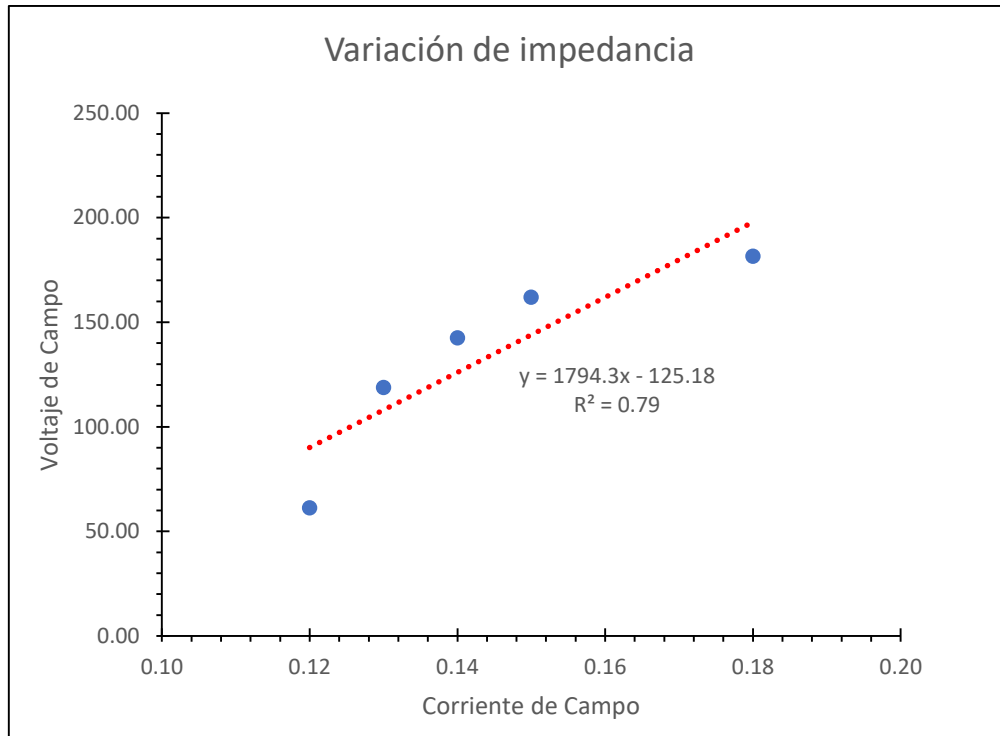
$$A \begin{bmatrix} b \\ m \end{bmatrix} = b$$

de manera que la recta es

$$Y = -125.1849 + 1794.34 X$$

El valor de la pendiente de la ecuación de ajuste corresponde al valor de la impedancia de campo, por lo que

$$Z_F = 1794.34$$



Voltaje de campo y corriente de campo

Calculamos la reactancia usando la siguiente ecuación.

$$Z_F = \sqrt{R_F^2 + X_F^2}$$

$$L_F = \frac{1734.901}{2\pi(60)}$$

$$L_F = 4.6019 \text{ H}$$

Se tiene como valores para el motor empuje

Parámetros	Valores
R_A	103.14mΩ
L_A	2.4277 mH
R_F	11.56Ω
L_F	4.6019 H
K_m	0.0889
K_e	$0.0889 \frac{1}{rad}$
B_m	$75.04 \cdot 10^{-3} \frac{N \cdot m \cdot s}{rad}$
J_m	$J_m = 145.9 \cdot 10^{-3} kg \cdot m^2$

Se consideró la misma evaluación de valores para la tabla siguiente del motor de rotación de 190HP

<i>Parámetros</i>	<i>Valores</i>
R_A	$76.98m\Omega$
L_A	$2.1039 mH$
R_F	10.899Ω
L_F	$2.32618 H$
K_m	0.1371
K_e	$0.1371 \frac{1}{rad}$
B_m	$60.09 \cdot 10^{-3} \frac{N \cdot m \cdot s}{rad}$
J_m	$J_m = 329.6 \cdot 10^{-3} kg \cdot m^2$

Anexo I. Valores de corriente y voltaje del variador de rotación y empuje.

HORA	ROTACION					EMPUJE				
	VELOCIDAD (RPM)	V.ARMAD (V)	L.ARMAD (A)	POTENCIA (KW)	LCAMPO (A)	VELOCIDAD (RPM)	V.ARMAD (V)	L.ARMAD (A)	POTENCIA (KW)	LCAMPO (A)
14:54:00	48	300.9	16.9	5.1	13.5	0.2	7.8	76.6	0.6	10.3
14:54:30	59	300.9	16.9	5.1	13.5	0.1	7.8	76.6	0.6	10.3
14:55:00	59	301.2	19.2	5.8	13.5	0.4	8.1	76.6	0.6	10.3
14:55:30	60	301.9	48.0	14.5	13.5	1.1	7.2	60.3	0.4	10.3
14:56:00	59	305.0	60.8	18.5	13.5	1.0	4.8	59.7	0.3	10.3
14:56:30	60	303.1	30.0	9.1	13.5	1.1	4.4	72.5	0.3	10.2
14:57:00	59	301.5	46.9	14.1	13.5	1.0	5.0	60.6	0.3	10.3
14:57:30	60	303.3	30.6	9.3	13.5	1.1	3.7	63.0	0.2	10.3
14:58:00	60	300.3	43.8	13.2	13.5	1.0	2.8	61.7	0.2	10.3
14:58:30	60	303.1	36.6	11.1	13.5	1.1	4.5	60.6	0.3	10.3
14:59:00	82	413.6	58.1	24.0	13.5	5.5	49.5	45.4	2.2	10.3
14:59:30	83	418.6	142.0	59.4	13.5	5.7	61.1	77.5	4.7	10.3
15:00:00	84	423.7	217.5	92.2	13.5	5.7	59.3	122.0	7.2	10.3
15:00:30	84	421.8	166.1	70.1	13.5	3.6	41.8	122.0	5.1	10.3
15:01:00	84	421.0	174.2	73.3	13.5	3.7	38.7	122.0	4.7	10.3
15:01:30	84	422.4	186.5	78.8	13.5	3.6	47.0	122.0	5.7	10.3
15:02:00	84	421.2	161.4	68.0	13.5	3.4	41.2	122.0	5.0	10.3
15:02:30	84	422.4	187.8	79.3	13.5	3.5	40.9	122.0	5.0	10.3
15:03:00	84	423.1	177.9	75.3	13.5	3.4	40.6	122.0	5.0	10.3
15:03:30	84	421.8	185.0	78.0	13.5	3.5	39.3	122.0	4.8	10.3
15:04:00	84	422.7	196.0	82.8	13.5	3.6	52.4	122.0	6.4	10.3
15:04:30	84	421.3	166.3	70.1	13.5	3.6	34.6	122.0	4.2	10.3
15:05:00	84	423.7	205.6	87.1	13.5	4.9	56.4	122.0	6.9	10.3
15:05:30	84	423.1	241.8	102.3	13.5	4.3	51.7	122.0	6.3	10.3
15:06:00	84	422.5	181.0	76.5	13.5	4.2	52.0	122.0	6.3	10.3
15:06:30	84	421.8	168.9	71.2	13.5	3.6	44.1	122.0	5.4	10.3
15:07:00	84	421.0	172.2	72.5	13.5	3.2	39.8	122.0	4.9	10.3
15:07:30	84	421.2	146.0	61.5	13.5	2.7	32.1	122.0	3.9	10.3
15:08:00	84	420.9	159.8	67.3	13.5	2.9	34.4	122.0	4.2	10.3
15:08:30	84	421.0	175.7	74.0	13.5	2.7	43.4	122.0	5.3	10.2
15:09:00	84	421.3	146.9	61.9	13.5	3.1	32.2	122.0	3.9	10.3
15:09:30	83	420.0	145.5	61.1	13.5	2.5	29.3	122.0	3.6	10.3
15:10:00	83	420.3	148.6	62.5	13.5	2.5	36.0	122.0	4.4	10.3
15:10:30	84	420.7	177.7	74.8	13.5	3.1	43.7	122.0	5.3	10.3
15:11:00	84	420.6	169.1	71.1	13.5	3.9	42.9	122.0	5.2	10.3
15:11:30	84	421.0	166.9	70.3	13.5	3.0	35.3	122.0	4.3	10.3
15:12:00	84	420.0	158.1	66.4	13.5	2.6	34.6	122.0	4.2	10.3
15:12:30	84	421.9	171.7	72.4	13.5	3.2	33.8	122.0	4.1	10.3

15:13:00	84	419.9	158.5	66.6	13.5	3.1	34.9	122.0	4.3	10.3
15:13:30	84	421.8	170.7	72.0	13.5	3.4	41.5	122.0	5.1	10.3
15:14:00	84	420.9	166.2	70.0	13.5	3.6	38.5	122.0	4.7	10.3
15:14:30	84	421.2	167.6	70.6	13.5	3.7	42.6	123.0	5.2	10.3
15:15:00	84	421.9	176.8	74.6	13.5	3.3	42.8	122.0	5.2	10.3
15:15:20	FIN DE HOYO									

Nota. Valores en un ciclo de perforación.

Lista de materiales

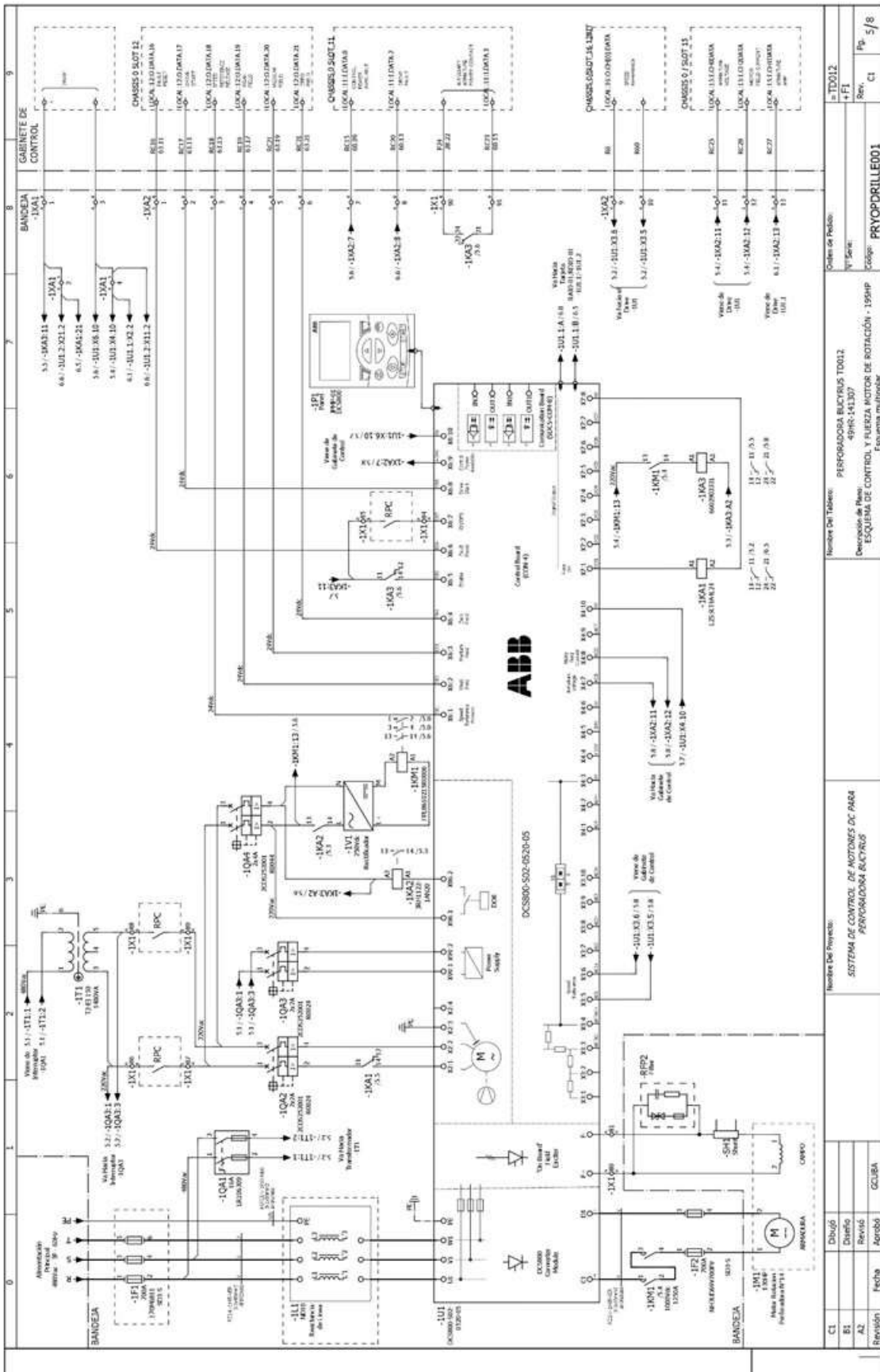
DENOMINACIÓN	CANTIDAD	DESCRIPCIÓN DATOS TÉCNICOS	FABRICANTE	CÓDIGO	UBICACIÓN DE EQUIPO
1F1:2F1	6	Fuse UR200A / 600V	ABB	170M8811	+F1/5.0;+F1/7.0
1F2:2F2	4	Fuse UR200A / 600V	FERRAZ SHAWMUT	INHJUD69V700PV	+F1/5.0;+F1/7.0
1F1:2F1	6	BASE PORTAFUSIBLE UNIPOLAR NH-3	BUSSMAN	S03-S	+F1/5.0;+F1/7.0
1F2:2F2	4	BASE PORTAFUSIBLE UNIPOLAR NH-3	BUSSMAN	S03-S	+F1/5.0;+F1/7.0
1A02:2A02	2	CONTACTOR AUXILIAR, 20A+20C, AC 220 V, 50/60 HZ, CONEXION POR TORILLO, 1AN, 500	SIEMENS	3RH1122-1AN20	+F1/5.3;+F1/7.3
1A03:2A03	2	RELE PREMONTADO PUSH-IN RIF-1, RFT-LV-230AC/2Q1	PHOENIX CONTACT	6602903331	+F1/5.6;+F1/7.6
1M1:2M1	2	PLUS-IN RELAY COMPACT UNIT DC 24V, 2 CO CONTACT LED MODULE RED STANDARD PLUS-SIEMENS LZ5-RT44L24	SIEMENS	LZ5-RT44L24	+F1/5.5;+F1/7.5
1M1:2M1	2	CONTACTOR AL VACIO 2P DC-1/000A 1000VDC, DC-3/DC-5/20A 1000VDC 10A+10C BOBINA 220VDC, DRE800-20-CC	ABB	FF4861021SR0006	+F1/5.4;+F1/7.4
1L1:2L1	2	LINE REACTOR HD10	ABB	DCA0014581P0001	+F1/5.0;+F1/7.0
1P1:2P1	2	KIT DE MONTAJE PIPANEL DE CONTROL (NO INCLUDE PANEL), DPMF-01.	ABB	3AU0000108878	+F1/5.7;+F1/7.6
1Q2:1Q3;2Q2;2Q3	4	INTERRUPTOR AUTOMATICO 2P 2A 20KA (IEC 60947-2) 230/400VAC "C" P/RIELEDIN S202-C2.	ABB	2CDS252001R0024	+F1/5.2;+F1/7.1;+F1/7.2.
1Q4:2Q4	2	INTERRUPTOR AUTOMATICO 2P 4A 20KA (IEC 60947-2) 230/400VAC "C" P/RIELEDIN S202-C4	ABB	2CDS252001R0044	+F1/5.3;+F1/7.3
1Q4:1;2Q4	4	FUSIBLE T/2500 16A R031MM FUSIVENCA 360 068	FUSIVENCA	360 068 16A	+F1/5.1;+F1/7.1

CI	Dibujó	Nombre Del Proyecto	Nombre Del Taller	Char de Fecha:	TD012
BE	Diseño	SISTEMA DE CONTROL DE MOTORES DC A664	DESCRIPCION BUCVUS T002	17/04/2017	MATERIALES
A2	Revisó	RESERVAADORA BUCVUS	408-14137		Ren:
Revisión	Aprobó	G. CUBA	Lista de Materiales		CI
			Lista de Materiales		3 / 8
			PRYOPORILLE001		

Lista de materiales

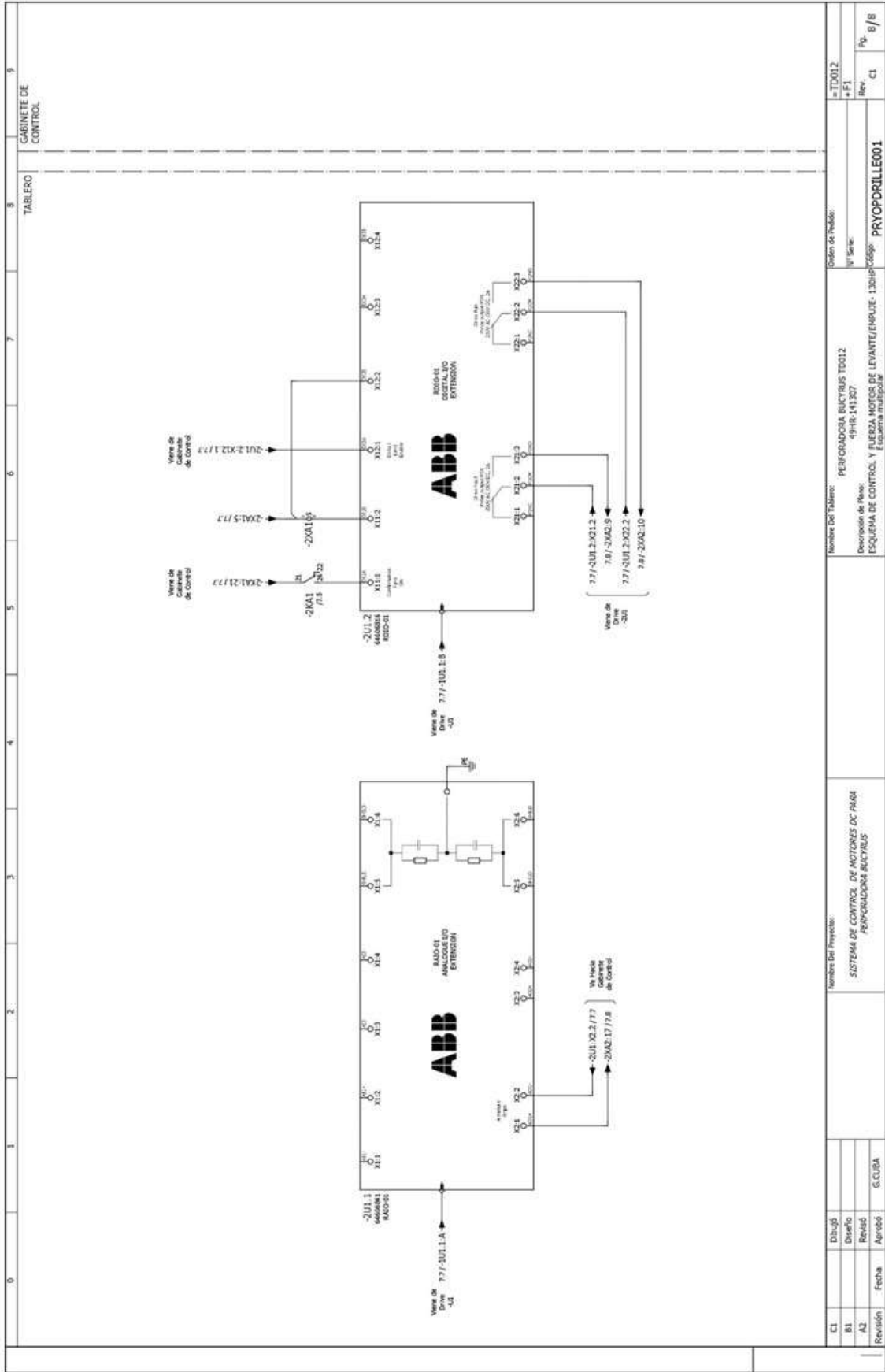
DENOMINACIÓN	CANTIDAD	DESCRIPCIÓN DATOS TÉCNICOS	FABRICANTE	CÓDIGO	UBICACIÓN DE EQUIPO
1Q41:2Q41	2	PORTA FUSIBLE 30A 600V SECCIONADOR 8X32MM ETI LR106309	ETI	LR106309	+F1/5.1;+F1/7.1
1T1:2T1	2	AUXILIARY TRANSFORMER T2-EI150	ABB	T2-EI150	+F1/5.2;+F1/7.2
TOPES	14	ESCUADRA FINAL TERMOPLASTICO 10MM	SIEMENS	8VA1808	+F1/5.8
1U1:1X1:2X1	16	TERMINAL THERMOPLASTIC INDIVIDUAL, 6.5MM SIZE 4	SIEMENS	8WA1011-1DG11	+F1/5.2;+F1/5.3;+F1/5.6;+F1/5.8;+F1/7.1;+F1/7.2;+F1/7.3;+F1/7.8
1U1:2:2U1.2	2	EXTENSIÓN DE ENTRADAS Y SALIDAS DIGITALES RD3D-01	ABB	64606816	+F1/6.5;+F1/8.5
1U1:1:2U1.1	2	EXTENSIÓN DE ENTRADAS Y SALIDAS ANALOGICAS RAUD-01	ABB	64606841	+F1/6.1;+F1/8.1
1U1:2U1	2	VARIABLE DCS800-S02-0520-05	ABB	DCS800-S02-0520-05	+F1/5.0;+F1/7.0
1U1:2U1	2	TARJETA DE INTERFAZ DE FIBRA OPTICA SDCS-COM-8	ABB	SDCS-COM-81	+F1/5.0;+F1/7.0
1V1:2V1	2	RECTIFICADOR 250VDC	SEMIRON	SKB 30/04 A1	+F1/5.3;+F1/7.3
1X1:2X1	4	BORNE DE CONEXION 6mm2 14-8AVG 41A 800V BEIGE SIEMENS	SIEMENS	8VA1011-1DH11	+F1/5.1;+F1/7.1
1XA1:1XA2:2XA1:2XA2	21	BORNE DE DOBLE PISO 2.5MM-4MM AVG 26-12 CONEX. POR TORNILLO GRIS UT19 2.5	PHOENIX CONTACT	660304636	+F1/5.8;+F1/7.8
1XA1:1XA2:2XA1:2XA2	4	TAPA FINAL 2.5MM-4MM GRIS D-UT19 2.5/4.	PHOENIX CONTACT	6603047293	+F1/5.8;+F1/7.8

CI	Dibujó	Nombre Del Proyecto	Nombre Del Trabajo	Orden de Pedido	Id: T0012
B1	Diseño	SISTEMA DE CONTROL DE MOTORES DC PARA PERSONAL SOCORRUS	DESCRIPCIÓN DE PISO	Nº Serie	- MATERIALES
A2	Revisó			Clasificación	
Revisión	Fecha	Aprobó	G. CUBA	PRYOPDRILLE001	
				Cl	Pg. 4 / 8



Nombre Del Proyecto:		Nombre Del Tablero:		Orden de Pedido:	
SISTEMA DE CONTROL DE MOTORES DC PARA PERFORADORA BUCYRUS		PERFORADORA BUCYRUS TD032		= TD012	
ESQUEMA DE CONTROL Y FUERZA MOTOR DE ROTACION - 150HP		49PR-141307		+ F1	
Esquema multipolar		Descripción de Placa:		Rev. C1	
Código: PRYOPDRILLE01		Fig. 5/8			

Revisión	Fecha	Aprobó	Diseño
CI			
BI			
AZ			
GCLBA			



CI	Dibujó	Nombre Del Proyecto:		Nombre Del Tablero:	Orden de Pedido:	= T0012 + F1
B1	Diseño	SISTEMA DE CONTROL DE MOTORES DC TRM4		PERFORADORA BUCHRUIS T0012	Y1 Serie:	
A2	Revisó	PERFORADORA BUCHRUIS		DESCRIPCION DE HECHO:	Y1 Serie:	Rev. CI
Revisión	Fecha	Aprobó		ESQUEMA DE CONTROL Y FUERZA MOTORA DE LEVANTE/EMPALE - 130HP/3Cable	Y1 Serie:	Pg. 8/8
		E.CUBA		Equipa m.újgolar	PRYOPDRILLE001	

Anexo K. Hoja técnica para la selección de los fusibles.

Square Body - DIN 43 620
690V/700V (IEC/U.L.) 40-1000A





Size	Rated Current RMS-Amps	Electrical Characteristics			Ordering Information			Curves
		I ² t (A ² S)		Watts Loss	DIN Type T Indicator for Micro	Carton Qty.	Carton Weight (kg)	BIF #
		Pre-arc	Clearing at 660V					
1*	40	40	270	9	170M3808	5	1.85	17056314
	50	77	515	11	170M3809			
	63	115	770	14	170M3810			
	80	185	1250	18	170M3811			
	100	360	2450	21	170M3812			
	125	550	3700	26	170M3813			
	160	1100	7500	30	170M3814			
	200	2200	15000	35	170M3815			
	250	4200	28500	40	170M3816			
	315	7000	46500	50	170M3817			
350	10000	68500	55	170M3818				
400	15000	105000	60	170M3819				
2	400	11000	74000	65	170M5808	5	3.00	17056318
	450	15500	105000	70	170M5809			
	500	21500	145000	75	170M5810			
	550	28000	190000	80	170M5811			
	630	41000	275000	90	170M5812			
	700	60500	405000	95	170M5813			
3	500	14000	95000	95	170M6808	1	1.15	17056320
	550	19500	135000	100	170M6809			
	630	31000	210000	105	170M6810			
	700	44500	300000	110	170M6811			
	800	69500	465000	115	170M6812			
	900	100000	670000	120	170M6813			
	1000	140000	945000	125	170M6814			

- Interrupting rating 200kA (Estimated 300kA) RMS Symmetrical.
- Watts loss provided at rated current.
- Microswitch indicator ordered separately. See accessories on pages 58-59.

1 kg = 2.2 lbs. 1 lb = 0.45 kg

Rated Current

The rated current of this fuse range has been given with copper conductors that have a current density of 1.3 A/mm² (IEC 60269-4). For conductor cross section according to IEC 60269-1, the fuses must be derated. Please contact Bussmann for application assistance.

Anexo L. Hoja técnica para la selección del contactor de Armadura.

IORE..CC contactors

Power circuit up to 1500 V DC

DC operated



IORE1400-20-CC

Description

IORE..CC contactors are used for controlling DC power circuits up to 1500 V DC.

These contactors are designed with:

- variable number of poles according to the application
- control circuit: DC operated
- 1 N.O. and 1 N.C. auxiliary contacts available, as standard.

Blowout in DC circuit switching

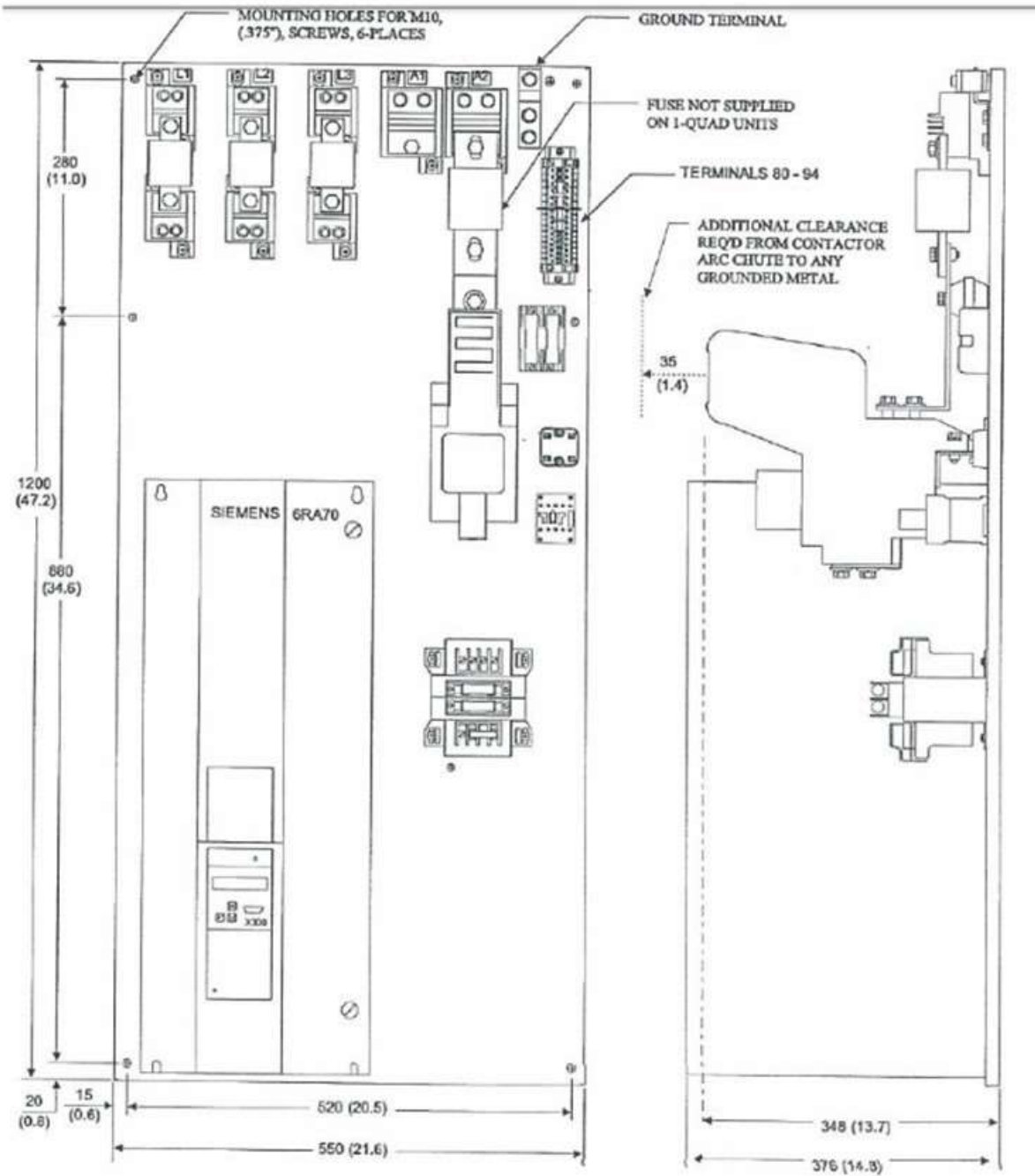
If the breaking current is lower than 50 % of the contactor rating, permanent magnet must be added, see blowout code table.

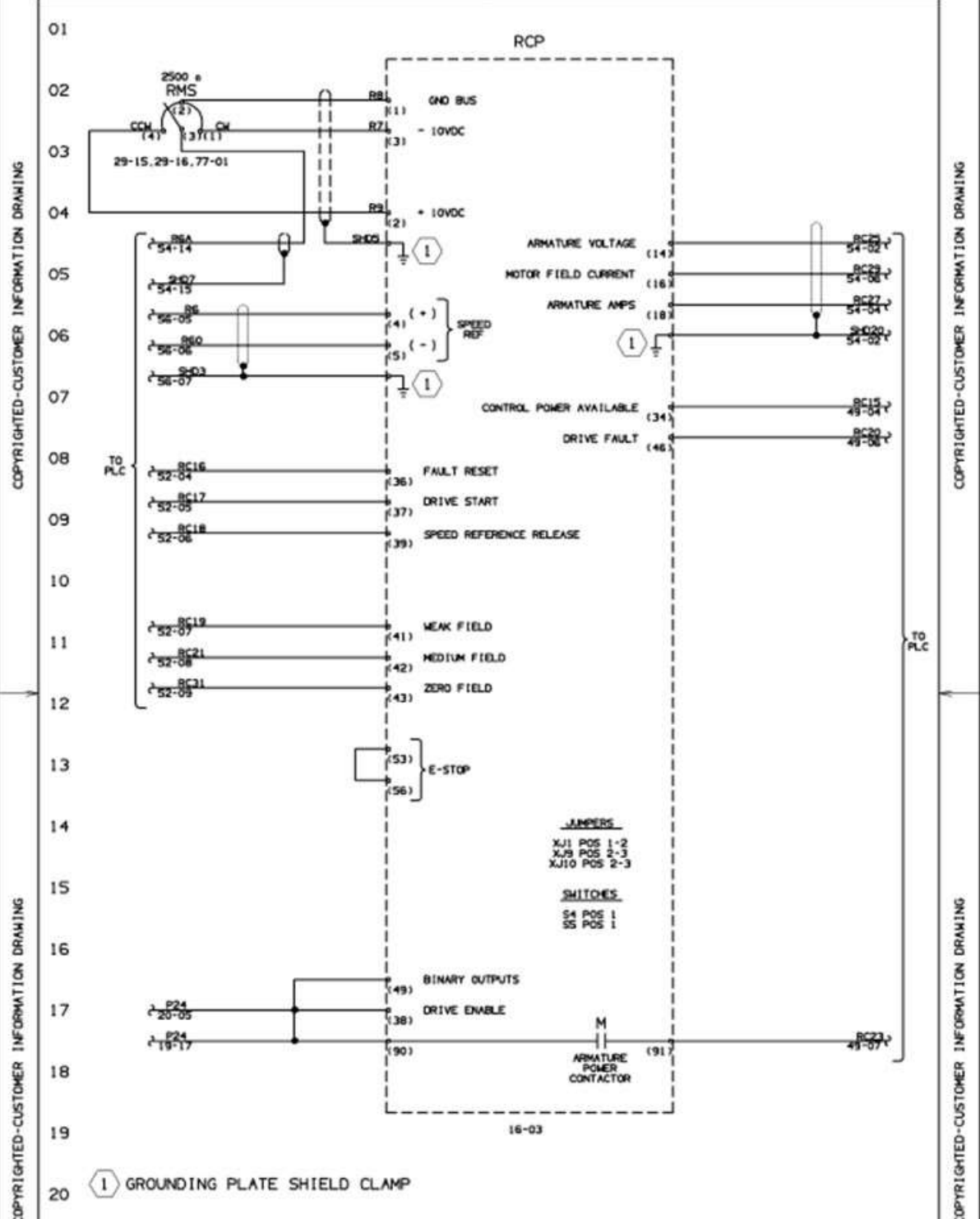
Ordering details

IEC DC-1 Rated operational current	DC-1 Rated operational voltage (3) V DC	DC-3 / DC-5 Rated operational current	DC-3 / DC-5 Rated operational voltage (3) V DC	Number of poles	Rated con- trol circuit voltage Uc (1) V DC	Auxiliary contacts fitted (2)	Type	Order code	Weight pkg (1 pce) kg
85	500	68	500	1	220	1 1	IORE63-10-CC	FPL7110116R0006	3.2
	1000		1000	2		1 1	IORE63-20-CC	FPL7110216R0006	4.2
	1500		1500	3		1 1	IORE63-30-CC	On request	5.2
170	500	125	500	1	220	1 1	IORE125-10-CC	FPL7410115R0006	4.2
	1000		1000	2		1 1	IORE125-20-CC	FPL7410215R0006	6.2
	1500		1500	3		1 1	IORE125-30-CC	On request	8.2
275	500	205	500	1	220	1 1	IORE200-10-CC	FPL7610115R0006	6.6
	1000		1000	2		1 1	IORE200-20-CC	FPL7610215R0006	9.6
	1500		1500	3		1 1	IORE200-30-CC	On request	12.6
400	500	350	500	1	220	1 1	IORE400-10-CC	FPL9410115R0006	13.9
	1000		1000	2		1 1	IORE400-20-CC	FPL9410215R0006	19.7
	1500		1500	3		1 1	IORE400-30-CC	On request	25.5
550	500	500	500	1	220	1 1	IORE500-10-CC	FPL8310115R0006	13.9
	1000		1000	2		1 1	IORE500-20-CC	FPL8310215R0006	19.7
	1500		1500	3		1 1	IORE500-30-CC	On request	25.5
800	750	720	600	1	220	1 1	IORE800-10-CC	FPL8610115R0006	31
	1500		1000	2		1 1	IORE800-20-CC	FPL8610215R0006	40
	-		1500	3		1 1	IORE800-30-CC	FPL8610315R0006	51
1000	750	1000	600	1	220	1 1	IORE1000-10-CC	FPL8710115R0006	31
	1500		1000	2		1 1	IORE1000-20-CC	FPL8710215R0006	40
	-		1500	3		1 1	IORE1000-30-CC	FPL8710315R0006	50
1250	750	1250	600	1	220	1 1	IORE1400-10-CC	FPL6110115R0006	32
	1500		1000	2		1 1	IORE1400-20-CC	FPL6110215R0006	42
	-		1500	3		1 1	IORE1400-30-CC	FPL6110315R0006	52
1600	750	1600	600	1	220	1 1	IORE1700-10-CC	FPL6210115R0006	34
	1500		1000	2		1 1	IORE1700-20-CC	FPL6210215R0006	47
	-		1500	3		1 1	IORE1700-30-CC	FPL6210315R0006	61
2000	750	2000	600	1	220	1 1	IORE2100-10-CC	FPL6310115R0006	37
	1500		1000	2		1 1	IORE2100-20-CC	FPL6310215R0006	52
	-		1500	3		1 1	IORE2100-30-CC	FPL6310315R0006	68
2300	750			1	220	1 1	IORE2500-10-CC	FPL6710115R0006	45
	1500			2		1 1	IORE2500-20-CC	FPL6710215R0006	71
	-			3		1 1	IORE2500-30-CC	FPL6710315R0006	
3200	750			1	220	1 1	IORE3200-10-CC	FPL6510115R0006	52
	1500			2		1 1	IORE3200-20-CC	FPL6510215R0006	83
	-			3		1 1	IORE3200-30-CC	FPL6510315R0006	

Anexo M. Tablero Simoreg 6RA70.

Dimensiones en mm(in)

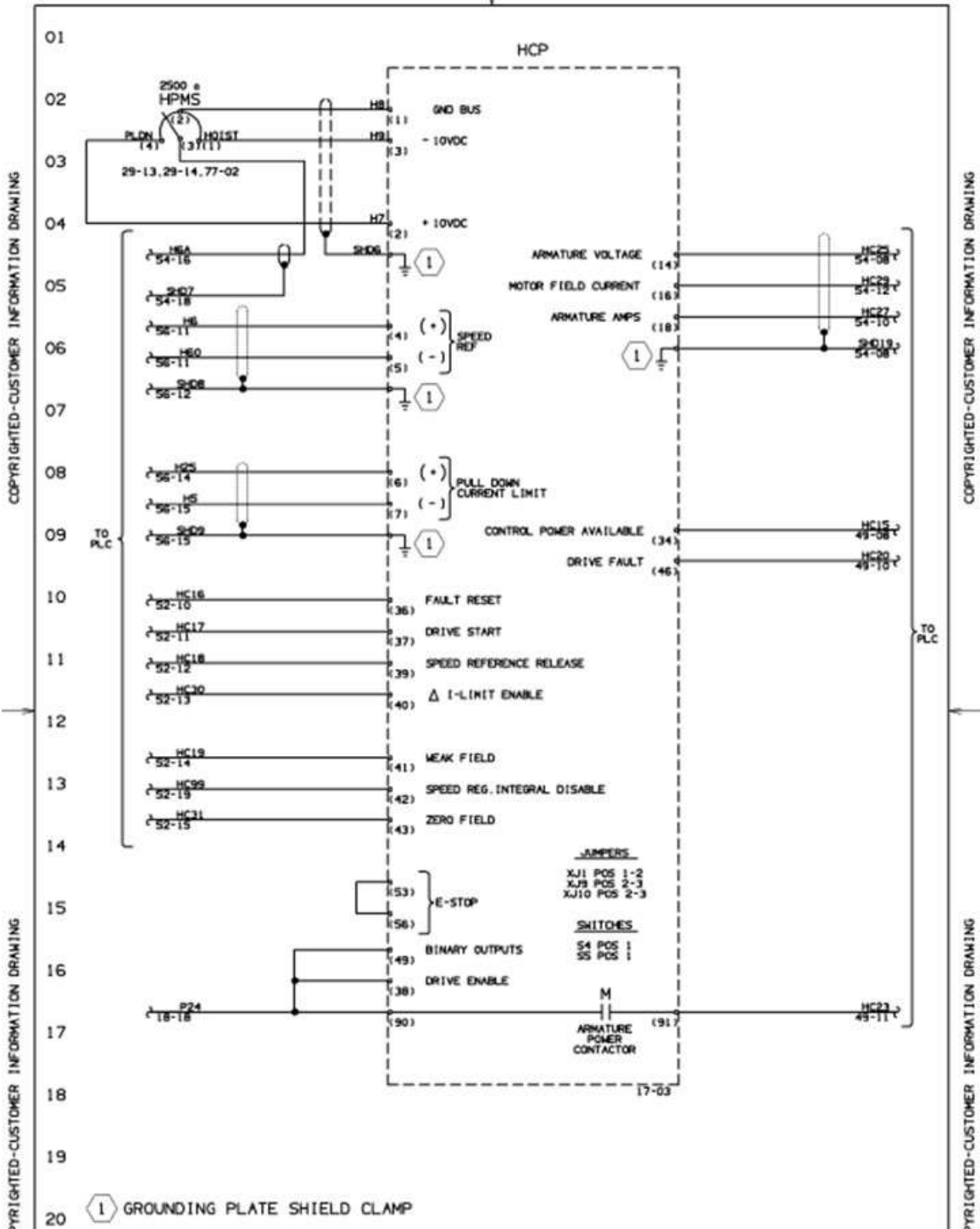




THIS DOCUMENT IS PROTECTED UNDER APPLICABLE COPYRIGHT LAWS TO THE EXTENT AVAILABLE. ANY UNAUTHORIZED AND UNLAWFUL REPRODUCTION, DISTRIBUTION OR OTHER USE SHALL BE SUBJECT TO LIABILITY. © 2001 Bucyrus International, Inc. ALL RIGHTS RESERVED.

REISSUE DATE 05/17/01	ISSUE DATE 04/10/01	Bucyrus International Inc.	TITLE ROTARY DRIVE CONTROL
SUPV. W.C. KLOPP	CHECKED A.B. SPRAGUE		DATE 03/23/01
APPD.	APPD.	NO.	

1 | UPDATED RCP ATTRIBUTES | YY | 05/01 | DET.



COPYRIGHTED-CUSTOMER INFORMATION DRAWING

COPYRIGHTED-CUSTOMER INFORMATION DRAWING

COPYRIGHTED-CUSTOMER INFORMATION DRAWING

COPYRIGHTED-CUSTOMER INFORMATION DRAWING

THIS DOCUMENT IS PROTECTED UNDER APPLICABLE COPYRIGHT LAWS TO THE EXTENT AVAILABLE. ANY UNAUTHORIZED AND UNLAWFUL REPRODUCTION, DISTRIBUTION OR OTHER USE SHALL BE SUBJECT TO LIABILITY. © 2001 Bucyrus International, Inc. ALL RIGHTS RESERVED.

REISSUE DATE	ISSUE DATE	Bucyrus International Inc.	TITLE	
05/17/01	04/10/01		HOIST/PULLDOWN	
SUPV.			DRIVE CONTROL	
W. C. KLOPP			DATE	
CHECKED	APPD.		03/23/01	
A. B. SPRAGUE				

Anexo P. Pruebas SAT para antes del montaje.

PRUEBAS DE ACEPTACIÓN EN SITIO (SAT)

Lista de comprobación de la instalación

1. INSTALACIÓN MECÁNICA

Pruebas	Aprob.	Observaciones
1.1 Las condiciones ambientales de funcionamiento son las adecuadas	✓	
1.2 La unidad está correctamente instalada en una pared vertical no inflamable	✓	
1.3 El aire de refrigeración fluye libremente	✓	
1.4 El motor y el equipo accionado están listos para la puesta en marcha	✓	
1.5 Se ha verificado que todos los terminales apantallados están apretados	✓	
1.6 Todas las conexiones de cables están correctamente colocadas	✓	

2. INSTALACIÓN ELÉCTRICA

Pruebas	Aprob.	Observaciones
2.1 El convertidor dispone de la conexión a tierra adecuada	✓	
2.2 La tensión de red coincide con la tensión nominal de entrada del convertidor	✓	
2.3 Las conexiones a red de U1, V1 y W1 y sus pares de apriete son correctos	✓	
2.4 Los fusibles de red y desconector están instalados	✓	
2.5 Las conexiones a motor en C1, D1 y F+, F-, y sus pares de apriete son correctos	✓	
2.6 El circuito y relé de paro de emergencia funcionan correctamente	-	No aplica
2.7 Está conectada la alimentación del ventilador	✓	
2.8 Las conexiones de control externo en el convertidor son correctas	✓	
2.9 No hay herramientas, objetos extraños ni polvo debido a perforaciones en el convertidor	✓	
2.10 El convertidor de frecuencia, la caja de conexiones del motor y las demás cubiertas se encuentran en su lugar	✓	

Nota:

La presente lista de comprobación se obtuvo del manual de hardware del convertidor ABS
Documento: Manual de Hardware - Convertidores DCS880 (de 20A a 5200A)
Código del documento: 3ADW000194R0506 Rev E
Vigencia: 22/04/2007

Resultado

✓	Aprobado
X	Observado
-	No Aplica

Operatividad de Equipos (ROTACION)

Item	Dispositivo (Tag)	Tensión	Carga(s)	Aprob.	Observaciones
1	IN	480VAC	1F1	✓	
2	1F1	480VAC	1L1 1QA1	✓	
3	1L1	480VAC	1U1:U1-V1-W1	✓	
4	1QA1	480VAC	1T1	✓	
5	1T1	220VAC	1QA2 1X1:96-88	✓	
6	1QA2	220VAC	1U1:X96:1-2	✓	
7	1X1:97-88	220VAC	1QA2 1QA4	✓	
8	1QA2	220VAC	1U1:X2:1-2	✓	
9	1QA4	220VAC	1V1	✓	
10	1V1	220VDC	1XM1:A1-A2	✓	
11	1QM1	220VAC	1KAS:A1-A2	✓	
12	1U1:C1-D1	0-545VDC	1F2	✓	
13	1U1:F+ - F-	0-20ADC	1X1:80-81	✓	
14					
15					
16					

Procedimiento:

1. Completar los campos Dispositivo, Tensión y Carga(s) con los datos de los equipos instalados en el tablero. En la casilla Dispositivo considerar los equipos que suministren energía a otros.
2. Energizar el gabinete.
3. Verificar el voltaje en cada punto indicado en los planos eléctricos.
4. Llenar el campo Aprob. de acuerdo a las opciones disponibles en la tabla Resultado.
5. Completar Observaciones según se requiera.

Resultado

✓	Aprobado
X	Observado
-	No Aplica

Configuración de Variador - DCS880 (ROTACION)

1. DATOS NOMINALES DEL VARIADOR

1.1 Tipo:	Módulo de convertidor trifásico
1.2 Tipo de puente:	Antiparalelo (4Q) ✓
1.3 Intensidad CC nominal:	520 A ✓
1.4 Modelo:	DCS880-502-0520-05 ✓
1.5 Tensión AC nominal:	230 - 325 V ✓
1.6 Tamaño de módulo:	D3 ✓
1.7 Tensión CC de armadura:	0 - 345 V ✓
1.8 Intensidad AC nominal:	424 A ✓
1.7 Intensidad CC de campo:	20 A ✓
1.7 Tensión de ventiladores:	230 VAC ✓
1.7 Grado de protección:	IP 00 ✓

2. CONFORMIDAD DE DATOS TÉCNICOS

3. CONFIGURACIÓN DEL VARIADOR

3.4 Función D11:	Speed reference release	Test
3.5 Función D12:	Weak field	✓
3.6 Función D13:	Medium field	✓
3.7 Función D14:	Zero field	✓
3.8 Función D16:	Enable	✓
3.9 Función D16:	Fault reset	✓
3.10 Función D17:	On/Off 2	✓
3.11 Función D18:	Drive start	✓
3.12 Función A11:	Speed reference	✓
3.13 Función AO1:	Armature voltage	✓
3.14 Función AO2:	Motor field current	✓
3.15 Función DO1:	Fans ON	✓

3.16 Función RDO-01 D11A:	Fans ON AcB	Test
3.17 Función RAIO-01 AO1:	Armature Amps	✓
3.18 Función RDO-01 R1NO:	Drive Fault	✓

4. VERIFICACIÓN DE PRUEBAS

4.1 Restablecer parámetros de fábrica	✓
4.2 Ingreso de datos de parametrización	✓
4.3 Arranque desde Panel	✓
4.4 Arranque vía entradas digitales	✓
4.5 Arranque en vacío	✓
4.6 Pruebas de IO's digitales	✓
4.7 Pruebas de IO's Analógicas	✓

5. PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO

Estado	Vel.	Armadura		Campo	
		V	I	V	I
Reposo					
Selector: Bajo	958 RPM	538 V	350 A	167 V	13.4 A
Selector: Medio	1058 RPM	532 V	350 A	112 V	9.5 A
Selector: Alto	1198 RPM	532 V	350 A	74 V	7.5 A
Selector: Bajo					
Selector: Medio					
Selector: Alto					

Resultado	
✓	Aprobado
X	Observado
-	No Aplica

Operatividad de Equipos (LEVANTE/EMPUJE)

Item	Dispositivo (Tag)	Tensión	Carga(s)								Aprob.	Observaciones	
			1	2	3	4	5	6	7	8			
1	IN	480VAC	1F1									✓	
2	1F1	480VAC	1L1	1QA1								✓	
3	1L1	480VAC	1U1,U1-V1-W1									✓	
4	1QA1	480VAC	1T1									✓	
5	1T1	220VAC	1QA3	1X1,85-88								✓	
6	1QA8	220VAC	1U1,399-1-2									✓	
7	1X1,87-89	220VAC	1QA2	1QA4								✓	
8	1QA2	220VAC	1U1,32-1-2									✓	
9	1QA4	220VAC	1V1									✓	
10	1V1	220VDC	1HM1,A1-A2									✓	
11	1KA11	220VAC	1KA2A1-A2									✓	
12	1U1,C1-D1	0-848VDC	1F2									✓	
13	1U1,F+ - F-	0-254VDC	1X1,85-81									✓	
14													
15													
16													

Procedimiento:

1. Completar los campos Dispositivo, Tensión y Carga(s) con los datos de los equipos instalados en el tablero. En la casilla Dispositivo considerar los equipos que suministren energía a otros.
2. Energizar el gabinete.
3. Verificar el voltaje en cada punto indicado en los planos eléctricos.
4. Llenar el campo Aprob. de acuerdo a las opciones disponibles en la tabla Resultado.
5. Completar Observaciones según se requiera.

Resultado	
✓	Aprobado
X	Observado
-	No Aplica

Configuración de Variador - DCS880 (LEVANTE/EMPUJE)

**Anexo Q. Lista de parámetros de los variadores de rotación y
levante/empuje.**

Nombre de parámetro	File: Rotary DCS800	File: Hoist/Pulldown DCS800
10.01: CommandSel	Local I/O	Local I/O
10.03: Reset	DI6	DI6
10.15: OnOff1	DI7	DI7
10.16: StartStop	DI8	DI8
10.20: ConvFanAck	DI9	DI9
11.02: Ref1Mux	DI1	DI1
11.03: Ref1Sel	AI1	AI2
14.03: DO2Index	0	0
14.04: DO2BitNo	0	0
14.05: DO3Index	0	0
14.06: DO3BitNo	0	0
14.15: DO8Index	801	801
14.16: DO8BitNo	0	0
15.04: FiltAO1 [ms]	100	100
15.05: ScaleAO1 [mV]	7917	7917
15.06: IndexAO2	129	129
15.09: FiltAO2 [ms]	100	100
15.10: ScaleAO2 [mV]	5680	5680
15.11: IndexAO3	106	106
15.13: ConvModeAO3	10mA Offset	10mA Offset
15.14: FiltAO3 [ms]	100	100
15.15: ScaleAO3 [mA]	14.4	14.4
19.01: Data1	0	0
19.02: Data2	0	0
19.03: Data3	0	0
19.04: Data4	0	0
19.07: Data7	0	0
19.08: Data8	0	0
20.01: M1SpeedMin [rpm]	-1475	-1533
20.02: M1SpeedMax [rpm]	1475	1533
20.03: M1ZeroSpeedLim [rpm]	75	75
20.05: TorqMax [%]	120.9	188.9
20.06: TorqMin [%]	-120.9	-4
20.07: TorqMaxSPC [%]	120.9	118
20.08: TorqMinSPC [%]	-120.9	-118
20.12: M1CurLimBrdg1 [%]	127	198
20.13: M1CurLimBrdg2 [%]	-127	-198
21.14: FanDly [s]	0	1
21.16: MainContCtrlMode	DCcontact	DCcontact
21.18: FldHeatSel	NotUsed	NotUsed
22.01: AccTime1 [s]	0.5	0.5
22.02: DecTime1 [s]	0.5	0.5
22.05: ShapeTime [s]	0	0
23.02: FixedSpeed1 [rpm]	0	0
23.03: FixedSpeed2 [rpm]	0	0
23.06: SpeedErrFilt [ms]	0	0
23.11: SpeedErrFilt2 [ms]	0	0

24.03: KpS	6	6
24.09: TiS [ms]	500	250
24.12: DerivTime [ms]	50	50
30.01: StallTime [s]	0	0
30.02: StallSpeed [rpm]	5	5
30.03: StallTorq [%]	75	75
30.06: ResCurDetectLim [A]	4	4
30.07: ResCurDetectDel [ms]	10	10
30.08: ArmOvrVoltLev [%]	120	120
30.09: ArmOvrCurLev [%]	250	250
30.12: M1FldMinTrip [%]	10	10
30.16: M1OvrSpeed [rpm]	2200	2200
30.22: UNetMin1 [%]	80	80
30.24: PowrDownTime [ms]	500	500
34.01: DispParam1Sel	114	114
34.08: DispParam2Sel	130	130
42.03: M1BrakeRefDly [s]	0.099999994	0.099999994
43.06: M1KpArmCur	0.34999996	0.26999998
43.07: M1TiArmCur [ms]	53	36
43.08: M1DiscontCurLim [%]	20.84	28.450001
43.09: M1ArmL [mH]	2.928	3.771
43.10: M1ArmR [mOhm]	58	103
43.17: MaxCurLimSpeed [rpm]	1307	1475
43.18: ArmCurLimSpeed1 [%]	127	127
43.19: ArmCurLimSpeed2 [%]	120.41	120.41
43.20: ArmCurLimSpeed3 [%]	114.36	114.36
43.21: ArmCurLimSpeed4 [%]	108.64	108.64
43.22: ArmCurLimSpeed5 [%]	103.27	103.27
44.01: FldCtrlMode	Fix	EMF
44.02: M1KpFex	6.8199997	3.6599998
44.04: M1FldHeatRef [%]	100	100
44.07: EMF CtrlPosLim [%]	10	10
44.08: EMF CtrlNegLim [%]	-100	-100
44.09: KpEMF	0.5	0.5
44.10: TiEMF [ms]	50	50
44.12: FldCurFlux40 [%]	40	25
44.13: FldCurFlux70 [%]	70	35
44.14: FldCurFlux90 [%]	90	85
45.02: M1PosLimCtrl [%]	43	66
45.05: M1FldRefMode	M1FldRefExt	M1FldRefExt
45.06: M1FldRefExt [%]	46.479996	46.479996
49.02: M2NomCur [A]	0	0
49.06: M2FldHeatRef [%]	100	100
49.10: M2KpFex	0.19999999	0.19999999
49.30: M2BrakeRefDly [s]	0.099999994	0.099999994
50.01: M1SpeeDCSale [rpm]	1475	1533
50.02: M1EncMeasMode	A+/-B+-	A+/-B+-
50.03: M1SpeedFbSel	EMF	EMF
50.04: M1EncPulseNo [ppr]	1024	1024
50.06: SpeedFiltTime [ms]	5	5
50.10: SpeedLev [rpm]	150	150
50.12: M1TachoAdjust [rpm]	0	0
50.13: M1TachoVolt1000 [V]	0	0

70.01: Ch0 NodeAddr	1	1
70.06: Ch0 HW Config	Ring	Ring
70.08: Ch2 NodeAddr	1	1
70.09: Ch2 MaFoMode	NotUsed	NotUsed
70.10: Ch2 MasSig1	701	701
70.11: Ch2 MasSig2	2301	2301
70.12: Ch2 MasSig3	210	210
70.18: Ch2 FolSig1	701	701
70.19: Ch2 FolSig2	2301	2301
70.20: Ch2 FolSig3	2501	2501
70.21: Ch3 HW Config	Star	Star
70.22: Ch3 NodeAddr	1	1
83.01: AdapProgCmd	Start	Start
83.04: TimeLevSel	20ms	20ms
84.04: Block1Type	Switch-I	Switch-I
84.05: Block1In1	805	805
84.06: Block1In2	8503	8503
84.07: Block1In3	8502	8502
84.08: Block1Attrib	0X2	0X2
84.10: Block2Type	Switch-I	Switch-I
84.11: Block2In1	805	805
84.12: Block2In2	8501	8501
84.13: Block2In3	8409	8409
84.14: Block2Attrib	0X1	0X1
84.16: Block3Type	Switch-I	Switch-I
84.17: Block3In1	805	805
84.19: Block3In3	8415	8415
84.20: Block3Attrib	0X2003	0X2003
84.22: Block4Type	MaskSet	MaskSet
84.23: Block4In1	705	705
84.24: Block4In2	256	256
84.25: Block4In3	-801	-801
84.26: Block4Attrib	0X2300	0X2300
84.28: Block5Type	MaskSet	MaskSet
84.29: Block5In1	702	702
84.30: Block5In2	16	16
84.31: Block5In3	-1	-1
84.32: Block5Attrib	0X6004	0X6004
85.01: Constant1	5493	5493
85.02: Constant2	9648	9648
85.03: Constant3	6901	6901
86.03: Block3Out	4506	4506
86.04: Block4Out	705	705
86.05: Block5Out	702	702
88.29: M1TachoGain	15	15
88.30: M2TachoGain	15	15
90.01: DsetXVal1	701	701
90.02: DsetXVal2	2301	2301
90.03: DsetXVal3	2501	2501
90.04: DsetXplus2Val1	702	702
90.05: DsetXplus2Val2	703	703
90.06: DsetXplus2Val3	0	0
90.07: DsetXplus4Val1	0	0

90.08: DsetXplus4Val2	0	0
90.09: DsetXplus4Val3	0	0
90.10: DsetXplus6Val1	0	0
90.13: DsetXplus8Val1	0	0
90.14: DsetXplus8Val2	0	0
90.15: DsetXplus8Val3	0	0
90.16: DsetXplus10Val1	0	0
90.17: DsetXplus10Val2	0	0
90.18: DsetXplus10Val3	0	0
92.01: DsetXplus1Val1	801	801
92.02: DsetXplus1Val2	104	104
92.03: DsetXplus1Val3	209	209
92.04: DsetXplus3Val1	802	802
92.05: DsetXplus3Val2	101	101
92.06: DsetXplus3Val3	108	108
92.07: DsetXplus5Val1	901	901
92.08: DsetXplus5Val2	902	902
92.09: DsetXplus5Val3	903	903
92.10: DsetXplus7Val1	904	904
92.11: DsetXplus7Val2	906	906
92.12: DsetXplus7Val3	907	907
92.13: DsetXplus9Val1	908	908
92.14: DsetXplus9Val2	803	803
92.15: DsetXplus9Val3	805	805
92.16: DsetXplus11Val1	806	806
92.17: DsetXplus11Val2	124	124
92.18: DsetXplus11Val3	122	122
93.01: DsetXplus13Val1	0	0
93.02: DsetXplus13Val2	0	0
93.03: DsetXplus13Val3	0	0
93.04: DsetXplus15Val1	0	0
93.05: DsetXplus15Val2	0	0
93.06: DsetXplus15Val3	0	0
97.14: KpPLL	2	2
97.24: OffsetUDC [%]	5.0999994	5.0999994
98.02: CommModule	NotUsed	NotUsed
98.03: DIO ExtModule1	Slot2	Slot2
98.06: AIO ExtModule	Slot1	Slot1
99.02: M1NomVolt [V]	475	475
99.03: M1NomCur [A]	330	225
99.04: M1BaseSpeed [rpm]	1075	1125
99.09: DeviceName	Rotary	Hoist
99.10: NomMainsVolt [V]	480	480
99.11: M1NomFldCur [A]	14.2	11.0
99.12: M1UsedFexType	OnBoard	OnBoard

Anexo R. Fotos de prueba y armado del variador DCS800 en el tablero de montaje.



Prueba de resistencia de campo



Armadura del motor de rotación



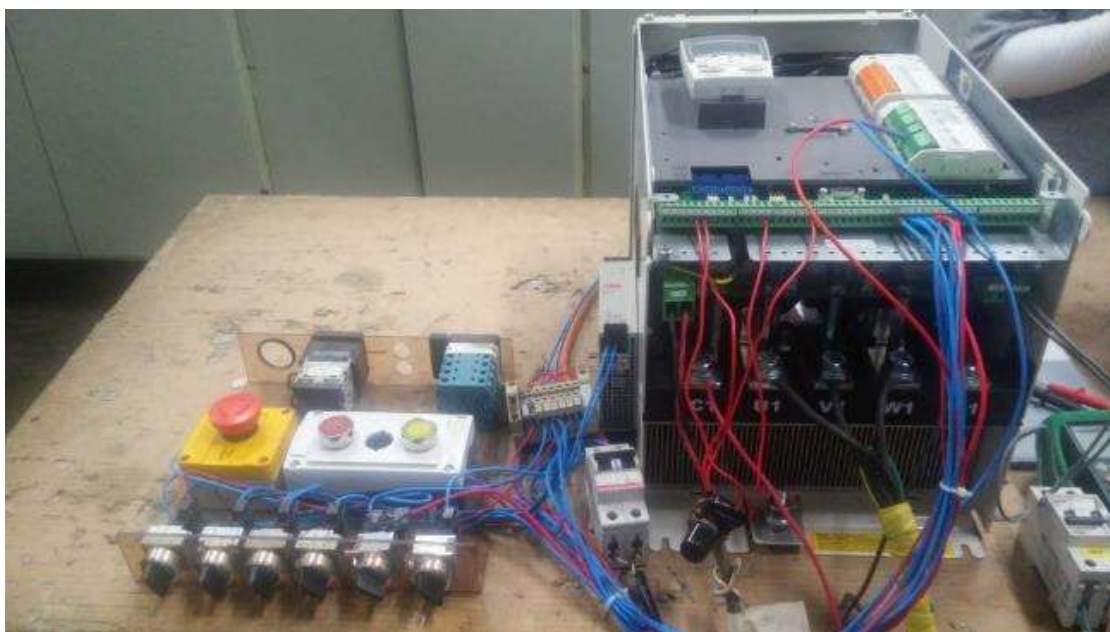
Bobinas de campo e interpolos del motor de rotación.



Motor de rotación.



Motor de empuje



Pruebas de parametrización del variador DCS800.



Variador DCS800 armado en tablero con componentes eléctricos



Montaje de tablero en Perforadora



Tablero antiguo comparado con el tablero nuevo

Anexo S. Estadísticas.

Prueba de Hipótesis General

Prueba de Normalidad

Resumen de procesamiento de casos

	Casos					
	Válido		Perdidos		Total	
	N	Porcentaje	N	Porcentaje	N	Porcentaje
Confiabilidad 6RA70	12	92,3 %	1	7,7 %	13	100,0 %
Confiabilidad DCS800a	12	92,3 %	1	7,7 %	13	100,0 %

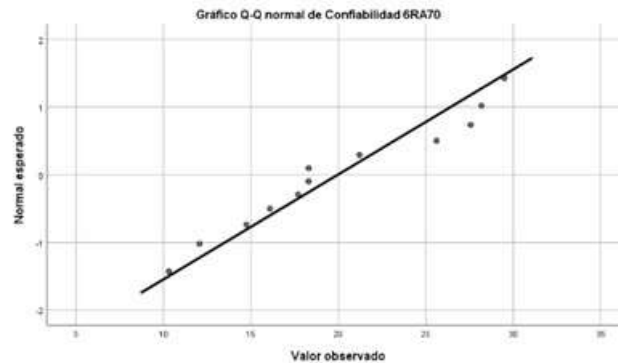
Pruebas de normalidad

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Confiabilidad 6RA70	,185	12	,200*	,936	12	,446
Confiabilidad DCS800a	,134	12	,200*	,935	12	,431

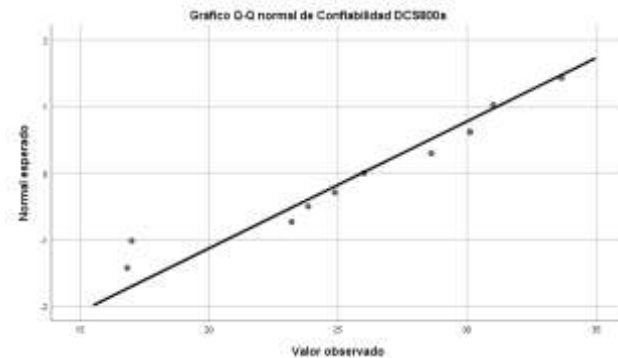
*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

a. Corrección de significación de Lilliefors

Confiabilidad 6RA70



Confiabilidad DCS800a



AUTORIZACION

Yo _____ identificado con DNI N° _____, como supervisor del área de Palas y Perforadoras de la empresa

autorizo al señor Gustavo Henry Cuba Ventura, con DNI 29565015, para el uso de figuras, planos, diagramas eléctricos, fotos, softwares e información de la empresa

PARA EL DESARROLLO DE SU TESIS TITULADA :

"Impacto de la adaptación de los variadores de velocidad en la confiabilidad de las perforadoras Bucyrus 49HR en una Compañía Minera de tajo abierto".

Para optar el título como Ingeniero Electricista.

Se emite este documento para los fines que el señor Gustavo Henry Cuba Ventura considere necesarios.

Sin otro particular me despido.

Atentamente

