



**Rediseño del sistema de control de velocidad de un motor de corriente directa de
600HP con variador de velocidad SINAMICS**

JAIRO MOISES PONCE HERNANDEZ

Código

21131313443

Universidad Antonio Nariño

Programa Ingeniería Electromecánica

Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica

Santa Marta, Colombia

2021

**Rediseño del sistema de control de velocidad de un motor de corriente directa de
600HP con variador de velocidad SINAMICS**

JAIRO MOISES PONCE HERNANDEZ

Proyecto de grado presentado como requisito parcial para optar al título de:
Ingeniero Electromecánico

Director (a):

Título (PhD., Maira Cecilia Gasca Mantilla

Línea de Investigación:
Automatización Industrial

Universidad Antonio Nariño

Programa Ingeniería Electromecánica

Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica

Santa Marta, Colombia

2021

NOTA DE ACEPTACIÓN

El trabajo de grado titulado

_____, Cumple con

los requisitos para optar

Al título de _____.

Firma del Tutor

Firma Jurado

Firma Jurado

Santa Marta, 10 marzo 2022.

Contenido

RESUMEN	15
ABSTRACT	16
INTRODUCCIÓN	17
1. PRESENTACIÓN DEL PROYECTO	18
1.1 Planteamiento del Problema	18
1.1.1 Formulación del Problema	20
1.2 ANTECEDENTES.....	20
1.3 OBJETIVOS.....	22
1.3.1 Objetivo General	22
1.3.2 Objetivos Específicos	22
1.4 JUSTIFICACIÓN.....	22
1.5 ALCANCE Y LIMITACIONES	24
2. MARCO TEÓRICO	25
2.1 MARCO REFERENCIAL	25
2.1.1 El concepto DMG	25
2.1.2 Operar hasta el fallo (O.T.F).....	25
2.1.3 Monitoreo basado en condiciones (C.B.M)	26
2.1.4 Subir nivel de habilidad (S.L.U).....	26
2.1.5 Diseño fuera de mantenimiento (D.O.M).....	27
2.1.6 Mantenimiento de tiempo fijo (F.T.M).....	27
2.2 METODOLOGÍA DMG	28
2.2.1 Análisis de criterios	28
2.2.2 Mapeo de decisiones.....	29
2.2.3 Soporte a las decisiones.....	30
2.3 ANÁLISIS DEL SISTEMA DE DESCARGUE DE GÓNDOLAS CON METODOLOGÍA DMG	31
2.4 MAPEO DE DECISIONES.....	31
3. MARCO METODOLÓGICO	33
3.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN	33
3.2 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN	33
3.3 POBLACIÓN Y MUESTRA.....	34
3.4 TÉCNICA E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS.....	35
4. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS	37
4.1 ANÁLISIS DEL SISTEMA DE CONTROL ACTUAL	37
4.2 SELECCIÓN DE ESTRATEGIA DE CONTROL	38
4.3 DISEÑO DE LA INTERFAZ HOMBRE-MÁQUINA PARA LA OPERACIÓN DEL SISTEMA	41
4.4 ANÁLISIS DE COSTO BENEFICIO	44
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	47
5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	49

Figura 1. Informe de rendimiento de cardumper.	15
Figura 2. The Decision-Making Grid.	251
Figura 3. Mapeo de decisiones.	2630
Figura 4. Mapeo de decisiones.	2832
Figura 5. Diagrama de funcionamiento FactoryTalk Transaction Manager.....	31
Figura 6. Categorización del registro de información en base de datos.	32
Figura 7. Interfaz HMI.....	38
Figura 8. Informe de utilización y rendimiento del cardumper	39
Figura 9. Precio de la tonelada de carbón durante el año 2021	450
Figura 10. Informe de redimiendo de Cardumper 2022	47

Lista de tablas

Tabla 1. Criterio de selección.	29
Tabla 2. Criterios de inactividad y frecuencia de fallas.	31
Tabla 3. Límites para cálculos de rango.	31
Tabla 4. Causas de fallo del sistema.	33
Tabla 5. Secuencia del ciclo de volteo.	38
Tabla 6. Cuadro comparativo entre elementos actuales y propuestos	41
Tabla 7. Costos de ejecución del proyecto.....	46

(Dedicatoria)

A mis compañeros de trabajo, por demostrarme que podemos lograr grandes cosas y que las capacidades no las mide un título.

Agradecimientos

Agradecimiento al liderazgo y apoyo del Ing Alberto Bateman y Andres Martinez, a mi familia por entender mi distanciamiento temporal y brindarme las herramientas para finalizar el proyecto. Profesora Elcy Prado y Jairo Daza por su acompañamiento y constante motivacion.

Resumen

En este proyecto se muestra el paso a paso para actualizar un sistema de electrónica de potencia con tecnología básica de IGBT de dos cuadrantes a uno más moderno con la tecnología de IGBT, cuatro cuadrantes, desde la recopilación de información, selección de estrategia de control, rediseño y puesta en marcha, teniendo en cuenta que este cambio abarca también mejora en el control eléctrico y protocolos de comunicación industrial permitiendo tener mejor control del equipo, ya que se tendrán más señales disponibles para él, mejor eficiencia energética, seguridad e integridad a través de protecciones en PLC y configuración fina de parámetros en el Variador que no está disponible en el sistema de potencia actual.

Palabras clave: plc, variador, motor, control.

Abstract

This project shows the step by step to upgrade a power electronics system with basic 2-quadrant technology to a more modern one with 4-quadrant technology, from information gathering, selection of control strategy, redesign and implementation. taking into account that this change also includes improvement in electrical control and industrial communication protocols allowing better control of the equipment, since there will be more signals available for it, better energy efficiency, safety and integrity through PLC protections and fine parameter setting in the Drive that is not available in the current power system.

Keywords: plc, drive, motor, control.

Introducción

Las aplicaciones electrónicas utilizan una amplia variedad de materiales, conocimientos y dispositivos, que allanan el camino hacia el diseño creativo, el desarrollo y la creación de innumerables circuitos electrónicos con el propósito de incorporarlos en productos electrónicos. Por ello, la electrónica de potencia se ha introducido de lleno en la industria, en aplicaciones como fuentes de alimentación, convertidores, inversores, cargadores de baterías, control de temperatura, motores de velocidad variable, mediante el estudio de los efectos y la adaptación de los sistemas electrónicos de potencia a los procesos industriales. Recientemente, el papel de la electrónica de potencia ha adquirido una importancia especial en lo que respecta a la conservación de energía y el control medioambiental. La realidad es que la demanda de energía eléctrica crece de forma directamente proporcional a la mejora de la calidad de vida. En consecuencia, el diseño, desarrollo y optimización de la electrónica de potencia y los dispositivos de control son fundamentales para afrontar los próximos retos. (Rodrigues, Godina, & Pouresmaeil, 2020)

En el caso que analizamos, para el descargue de carbón a través de góndolas se usa un equipo electromecánico para ubicar el tren, este equipo se denomina INDEXER o POSITIONER, y, posterior a ser ubicado, voltear dichas góndolas con otro sistema llamado DUMPER. El Indexer está compuesto por un motor de corriente directa de 600HP y tiene una misión de mover y ubicar trenes de hasta 7500 Toneladas.

En este proyecto se propone rediseñar el sistema utilizando un variador de velocidad SINAMICS, minimizando el uso de señales digitales y análogas a través de protocolos de comunicación Ethernet. Al reducir la cantidad de componentes en el sistema y proveer información óptima al personal mejora el tiempo de respuesta a una falla y esto se refleja a nivel económico en costos de mantenimiento.

1. Presentación del Proyecto

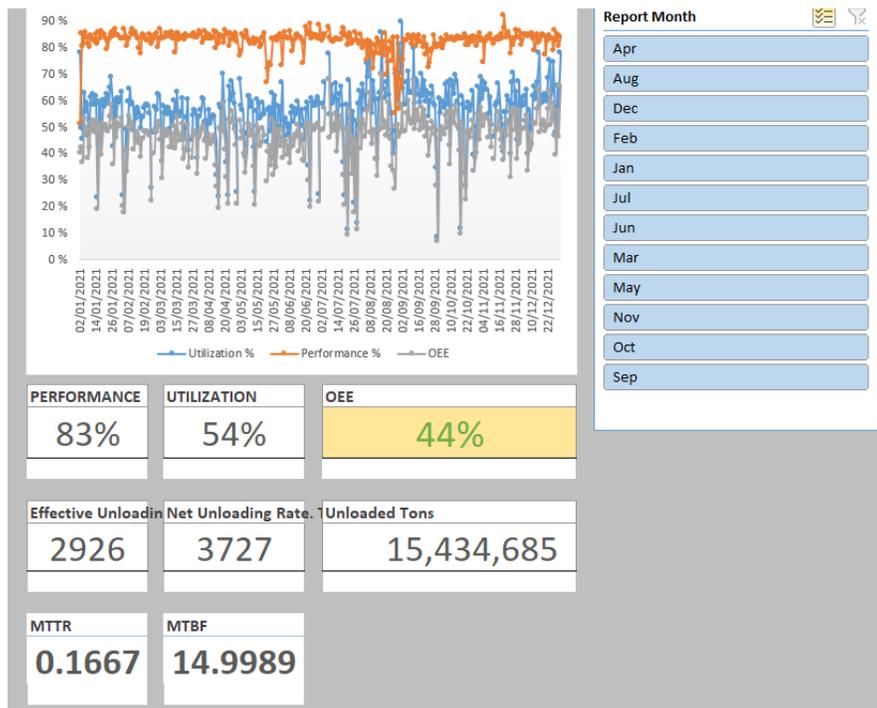
1.1 Planteamiento del Problema

En la actualidad, para el descargue de carbón a través de góndolas se usa un equipo electromecánico para ubicar el tren, este equipo se denomina INDEXER, y, posterior a ser ubicado, voltear dichas góndolas con otro sistema llamado DUMPER. El Indexer está compuesto por un motor de corriente directa de 600HP y tiene una misión de mover y ubicar trenes de hasta 7500 Toneladas.

Para controlar dicho motor, se usa un variador de velocidad con control por medio de la armadura y campo constante, la marca del variador de velocidad no es comercial en Colombia, por ende se genera dificultades a la hora de tener soporte técnico, capacitación de personal y adquisición de componentes de repuesto, lo cual afecta los indicadores de desempeño de la máquina de manera drástica en cuanto a fallas eléctricas, además, debido a la falta de capacitación del personal de Mantenimiento eléctrico, proceder a realizar mejoras, optimización y mantenimiento del equipo se vuelve una tarea de alto riesgo tanto para la integridad de la máquina, como para el personal electricista a cargo.

El sistema electromecánico genera importantes pérdidas económicas cuando se detiene, a continuación, se muestra en la Figura 1, el rendimiento del equipo filtrado en fallas eléctricas ocasionadas por el variador de velocidad actual:

Figura 1.
Informe de rendimiento de cardumper.



Fuente. Drummond Ltd, «Utilización y rendimiento de Cardumper,»
Cienaga, Magdalena, 2021

Como se aprecia en la figura, se tiene un promedio de 10 minutos de falla cada 15 horas, a una rata neta de descargue de 3727 TPH, estos 10 minutos generan 620 toneladas aproximadamente que se dejan de cargar a buque, retrasando la operación y generando bajas del rendimiento del equipo, esto, debido a la ingeniería poco amigable implementada en su diseño. (Drummond Ltd, 2021)

Estas importantes pérdidas, llevan a evaluar el rediseño del sistema de control, lo cual busca minimizar de gran manera estos tiempos perdidos, beneficiándose en si la empresa, al reducir en un futuro sus costos de mantenimiento asociados al equipo, el personal técnico al capacitarse y mantenerse a la vanguardia de la información, y el sistema en sí, al poderse garantizar una mejor eficiencia de este, mejor rendimiento y mayor duración de los componentes.

1.1.1 Formulación del Problema

¿Cómo se puede mejorar el sistema de control de velocidad del motor de corriente directa de 600HP para mejorar los indicadores de desempeño de máquina y minimizar el impacto económico que generan las paradas del equipo?

1.2 Antecedentes

La aplicación de la metodología DMG para identificar oportunidades de mejora y optimizar recursos en las operaciones es objeto de estudio entre las diferentes industrias. En un estudio de caso realizado para la industria de acero, se aplica DMG para mejorar dos indicadores: Tiempo medio para reparar (MTTR) y frecuencia de fallas (MTBF). Este estudio confirma que la aplicación de la metodología de DMG es eficaz para mejorar el rendimiento de los equipos que son sometidos a análisis. (Shhahin, Labib, Emami, & Karbasian, 2019).

En los últimos años, los dispositivos semiconductores de alta velocidad han cambiado de manera positiva el control de los motores de corriente continua, divididos principalmente en tres grandes tipos (Wildi, 2007):

- Control de velocidad en el primer cuadrante: Brinda aceleración aumentando el voltaje de armadura, pero su desaceleración es inercial, la eficiencia energética mejora en la medida que el motor va llegando a su velocidad nominal, la duración del motor tiende a verse disminuida por las pérdidas en el cobre de la armadura y en el hierro.
- Control de velocidad en dos cuadrantes: Cuando es inaceptable la desaceleración inercial, el método de dos cuadrantes permite un control más fino, los métodos de control en 2 cuadrantes más usados son con inversión en el campo de armadura y doble convertidor.
- Control de velocidad en cuatro cuadrantes: Control más fino, que permite emplear de manera simultánea la función de inversor y rectificado; es decir, se puede emplear de manera simultánea el método de control de inversión de campo de armadura y doble convertidor.

La función del Indexer es mover y ubicar trenes de hasta 7500 toneladas, para ello, realiza movimientos repetitivos hacia adelante y hacia atrás sobre la misma vía, lo cual requiere un control bidireccional a la corriente que se aplica al motor, y, por lo tanto, un frenado regenerativo en ambos sentidos. Celso morales explica en su trabajo que este tipo de accionar es propio de la operación en cuatro cuadrantes, por lo que se hace indispensable emplear esta estrategia de control. (Zurita, 1986).

Adicionalmente, a medida que la operación avanza en su curso, la carga que debe mover el Indexer varía, siendo la más alta al iniciar el descargue del tren y la más baja finalizando la operación. Cuando la carga es variable, Dursun y Durdu analizan en su investigación el modo de control por rampas de velocidad. Esta estrategia de control busca que la estabilidad y el desempeño de los motores no se vea altamente impactada por los cambios en la condición de carga. (Dursun & Durdu, 2016).

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Rediseñar el sistema de control de velocidad de un motor de 600HP con variador de velocidad SINAMICS.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Analizar el sistema de control actual, ventajas y desventajas.
- Simplificar estrategia de control actual con variador SINAMICS
- Diseñar interfaz Hombre-Máquina para la operación del sistema
- Presentar análisis de costo beneficio

1.4 Justificación

La decisión de rediseñar el sistema nace de la aplicación del método DMG (Decision Making Grid), En el DMG, los activos se grafican en dos dimensiones separadas: tiempo de inactividad y frecuencia de fallas (Labib, 2004).

El tiempo de inactividad está comúnmente representado por el indicador de rendimiento, MTTR, mientras que la frecuencia de falla se representa a menudo como tiempo medio entre fallos (MTBF); un aumento en la frecuencia de falla es igual a un aumento recíproco del MTBF.

Basado en el método DMG, se evidencia la necesidad de rediseñar del sistema electromecánico en sí.

El objetivo es implementar acciones que conduzcan al movimiento del rendimiento del activo hacia la sección superior izquierda que representa una baja frecuencia de fallas y un bajo tiempo de inactividad (ver Figura 2). Lograr una mejora en el rendimiento del equipo implica menor intervención por parte de personal de mantenimiento para reestablecer su funcionamiento,

lo que se traduce en menor exposición a tareas de alto riesgo. A nivel social esto es beneficio directo para la compañía y la seguridad del personal de mantenimiento.

A continuación, se presentan cinco estrategias de mantenimiento (Seecharan, Labib, & Jardine, 2018):

- OTF Los activos que se encuentran en la sección superior izquierda de la cuadrícula representan Máquinas con baja frecuencia de averías y bajo tiempo de inactividad.
- SLU Cuando las averías ocurren con frecuencia, pero se solucionan rápidamente, lo que resulta en poco tiempo de inactividad.
- CBM con baja frecuencia de fallas, pero alto tiempo de inactividad cuando ocurren fallas.
- DOM La sección inferior derecha de la cuadrícula representa el peor escenario en ambos criterios. Los grandes proyectos de diseño deben ser considerados para cualquier máquina en esta sección. Un activo en este cuadrante se considera no apto para su propósito y, por lo tanto, debe ser un candidato para las próximas actividades de cierre, revisión o reestructuración.
- FTM Las secciones de FTM que bordean OTF cerca de la parte superior izquierda representa un mantenimiento "fácil" en un tiempo fijo.
- Las estrategias antes mencionadas están ordenadas de forma ascendente con respecto al costo o los beneficios percibidos (Seecharan, Labib, & Jardine, 2018). Dicho de otra manera, el beneficio o costo de mantenimiento como se expresa en la ecuación (1).

$$\text{OTF} < \text{FTM} < \text{SLU} < \text{CBM} < \text{DOM} \quad (1)$$

Luego de revisar los indicadores de desempeño del Indexer, el componente se ubicaron dentro de CBM ya que el equipo no falla contantemente, pero en cada una de estas fallas el tiempo perdido es amplio, esto es debido a dos motivos, el primero es el sistema mecánico, que por su naturaleza no falla, pero en caso de falla genera tiempos perdidos altos, y segundo, en el sistema eléctrico, debido a la falta de conocimiento y entendimiento del personal de ingeniería y técnico del equipo y dada su configuración poco amigable con el mantenimiento y falta de una interfaz clara con el usuario, aumenta drásticamente el MTTR del equipo.

Por ende, se aplicará el rediseño del sistema eléctrico, con el objetivo de minimizar los tiempos perdidos y actualizar el componente con tecnologías tales como, tecnología de cuatro cuadrantes, IIOT, Big Data, entre otros, lo cual permitirá llevar al sistema, en su componente eléctrico, de CBM a OTF. Esta actualización en tecnología ayuda a proveer a los usuarios finales mayor información de diagnóstico del equipo, lo que implica una mejor comunicación entre el personal de operaciones y el personal de mantenimiento.

1.5 Alcance y Limitaciones

En el presente proyecto se abarcará desde la fase de análisis del sistema actual destacando ventajas y desventajas de la estrategia implementada, se evaluarán otras alternativas de control de acuerdo con lo establecido en la literatura pasando por el rediseño y simulación del sistema propuesto, culminando con un análisis costo-beneficio de la propuesta planteada. Se diseñará una solución de Interfaz-Hombre-Máquina sujeta a ajustes de acuerdo con la necesidad de la operación del proyecto.

2. Marco Teórico

2.1 Marco Referencial

2.1.1 El concepto DMG

Es desarrollado por Labib (1998a), y consiste en una matriz de tres por tres. En el eje horizontal se ubican los valores de tiempo de inactividad total y en el eje vertical, se ubican los valores de tasa de frecuencia. Esta cuadrícula consta de nueve celdas donde en cada una de ellas se ubica una táctica de mantenimiento específica. Las tácticas de mantenimiento sugeridas se clasificaron como Operar hasta el fallo (OTF), Mantenimiento de tiempo fijo (FTM), Monitoreo basado en la condición (CBM), Aumento de nivel de habilidades (SLU) y diseño fuera de mantenimiento (DOM). Cada una de las tácticas de mantenimiento se ubicaron en cada grilla como se muestra en la figura 2. Y se describen a continuación.

Figura 2.
The Decision-Making Grid.

		DOWNTIME		
		Low	Medium	High
FREQUENCY	Low	O.T.F. [H]	F.T.M. (When ?) [F]	C.B.M. [B]
	Medium	F.T.M. (Who ?) [I]	F.T.M. [E]	F.T.M. (What ?) [A]
	High	S.L.U. [G]	F.T.M. (How ?) [D]	D.O.M. [C]

CBM: Condition Base Monitoring OTF: Operate To failure
 SLU: Skill Level Upgrade DOM: Design Out M/C.
 FTM: Fixed Time Maintenance

Fuente A. Labib, «A decision analysis model for maintenance policy selections using a CMMS,»
Journal of Quality in maintenance Engineering, 2004

2.1.2 Operar hasta el fallo (O.T.F)

Esta estrategia se encuentra en la esquina superior izquierda de la cuadrícula. El equipo que falla en esta categoría significa que tiene una baja tasa de fallas y un bajo tiempo de inactividad.

Es la estrategia de mantenimiento más deseable donde todos los equipos deben apuntar a llegar. El equipo bajo esta categoría debe dejarse funcionar hasta que falle donde no se deben realizar actividades de mantenimiento innecesarias. El tiempo que necesita de reparación es bajo. también se conoce como mantenimiento de averías (BM). Esta táctica hará que el equipo falle en un momento desconocido, lo que llevará el equipo a la condición mínima aceptable (Bakri y Al-Fatihhi bin Mohd Szali Jannudi, 2020).

2.1.3 Monitoreo basado en condiciones (C.B.M)

La estrategia de mantenimiento de monitoreo basado en condiciones se encuentra en la esquina superior derecha de la cuadrícula. Los equipos que fallan en esta categoría son los de baja frecuencia, pero cuando fallan demandan mucho tiempo de reparación provocando altos tiempos muertos. Este equipo debe ser monitoreado con técnicas predictivas como análisis de vibraciones, análisis de aceite, termografía, prueba de ultrasonido y cualquier otra técnica no invasiva. CBM utiliza diferentes parámetros de proceso y muestras de materiales para detectar el desgaste del equipo y, con los resultados, se podría determinar la salud del equipo para determinar las acciones requeridas a tiempo para evitar daños catastróficos en el equipo (Rahman et al., 2013). Esta técnica se basa en monitorear constantemente el rendimiento del equipo, pero solo realizar mantenimiento cuando uno o más parámetros muestran desviación de su estándar "habitual".

2.1.4 Subir nivel de habilidad (S.L.U)

La estrategia de mantenimiento de nivel de habilidad se encuentra en la esquina inferior izquierda de la cuadrícula. Los equipos que fallan en esta categoría son los que fallan con frecuencia (alta frecuencia), pero se vuelven a poner en funcionamiento rápidamente (tiempo de inactividad pequeño). Esta estrategia consiste en aumentar la capacidad de los empleados para resolver problemas. SLU es un principio de TPM, donde el conocimiento se transfiere a los operadores para ejecutar actividades básicas. Los operadores deben comenzar a realizar actividades de limpieza, luego llevar a cabo contramedidas, avanzar para desarrollar e implementar estándares de limpieza y lubricación, continuar mejorando sus habilidades para poder ejecutar rutinas de inspección generales, continuar con las inspecciones por sí mismos, luego poder organizar y estandarizar y finalmente ejecutar mantenimiento totalmente autónomo (Willmot y McCarthy, 2001).

2.1.5 Diseño fuera de mantenimiento (D.O.M)

La estrategia DOM se encuentra en la esquina inferior derecha de la cuadrícula. Los equipos que entran en esta categoría son las máquinas de peor rendimiento con alto tiempo de inactividad y alta frecuencia de fallos. Se considera que estas máquinas cambien su diseño para mejorar el rendimiento. El nuevo diseño puede incluir la adición de redundancia, el cambio de tecnología, la mejora de la tecnología actual o la modificación de la forma en que se pueden realizar las reparaciones para que sea más fácil reparar/reemplazar.

2.1.6 Mantenimiento de tiempo fijo (F.T.M)

La estrategia FTM, también llamada Mantenimiento Preventivo (PM), está ubicada en cinco de las nueve redes. Las máquinas que entran en esta categoría son el tiempo de inactividad medio con una tasa de fallas de baja frecuencia, el tiempo de inactividad medio con una tasa de fallas de frecuencia media, el tiempo de inactividad medio con una tasa de fallas alta, el tiempo de inactividad bajo con una tasa de fallas de frecuencia media y el tiempo de inactividad alto con una tasa de frecuencia.

Si bien, la táctica en todas las grillas es FTM, cada una de ellas está enfocada en un aspecto diferente del mantenimiento preventivo. El tiempo de inactividad bajo y la frecuencia media deben centrarse en "Quién" (personas) está ejecutando el mantenimiento preventivo. El tiempo de inactividad medio y la alta frecuencia deben centrarse en "Cómo" se ejecuta el PM (procedimiento). El tiempo de inactividad medio y la baja frecuencia deben centrarse en "Cuándo" (período de tiempo) se está ejecutando el PM. Finalmente, el alto tiempo de inactividad y la frecuencia media se centran en el "Qué" (Metodología y Estándares). Cuando el equipo tenga un tiempo de inactividad medio y una frecuencia media, estará en el medio de la red. Esta máquina deberá analizarse, probablemente como una combinación de problemas dependiendo de qué tan cerca esté de los bordes de las otras cuadrículas.

La estrategia de TPM se enfoca en el cuidado de activos, donde las máquinas, equipos y procesos son considerados como los más valiosos para las personas que los operan y mantienen. El cuidado de activos consiste en tres principios: limpieza e inspecciones, controles y monitoreo y servicios y mantenimiento preventivo. (Willmot y McCarthy, 2001).

2.2 Metodología DMG

La metodología DMG consta de tres pasos (Labib, 2004):

2.2.1 Análisis de criterios

Este paso consiste en utilizar el análisis de Pareto de dos criterios para identificar el equipo con peor desempeño. Los elementos utilizados son el tiempo de inactividad y la frecuencia de fallo. En caso de que se incluya un tercer o más criterios para identificar la máquina con peor rendimiento, la técnica MCDM se utilizará como AHP.

Los límites de frontera se han discutido a lo largo del tiempo para garantizar una correcta clasificación de las máquinas en el rango alto, bajo y medio, de acuerdo con los criterios seleccionados. Labib (2004) propone seleccionar los rangos, buscando tener una distribución uniforme entre todos los criterios. Fernández et al. (2003) proponen las siguientes fórmulas para determinar los límites:

High boundary = highest value

Medium/high boundary = highest value – 1/3(highest value)

Low/medium boundary = highest value – 2/3(highest value)

Low boundary = lowest value

Tahir et al. (2009), proponen una variación de los límites, usando un análisis de agrupamiento para evitar que los datos en un rango muy cercano de valores estén en diferente escala. Las fórmulas propuestas para determinar los límites son:

$$k = \frac{X_{max} - X_{min}}{3} \quad (2)$$

$$High_{boundarie} = [X_{max}, (X_{max} - k)] \quad (3)$$

$$Medium_{boundarie} = [(X_{max} - k), (X_{max} - 2k)] \quad (4)$$

$$Low_{boundarie} = [(X_{max} - 2k), (X_{min})] \quad (5)$$

Según Yunusa-Kaltungo y Labib (2020), el primer método para determinar los límites es útil cuando se supone que los datos disponibles son homogéneos. El segundo método no considera la homogeneidad de los datos, ya que utiliza un método de agrupación para obtener la máxima diferencia entre valores de datos sucesivos. Se puede utilizar un tercer método de lógica difusa para determinar reglas capaces de definir estos límites.

El resultado de este análisis es una tabla para cada criterio de selección, con las máquinas distribuidas como se muestra en la figura 6. La distribución no siempre tendrá las mismas máquinas en ambas tablas. Si una máquina está en una de las mesas, pero no en la otra, no se considera, ya que puede ser un evento raro único del equipo.

Tabla 1.
Criterio de selección.

Frequency			Downtime		
	Machine	Value		Machine	Value
HIGH	A	XX	HIGH	D	XX
	B	XX		E	XX
	C	XX		A	XX
MEDIUM	D	XX	MEDIUM	B	XX
	E	XX		H	XX
	F	XX		I	XX
LOW	G	XX	LOW	C	XX
	H	XX		F	XX
	I	XX		G	XX
	J	XX		J	XX

Tomado de A. Labib, «A decision analysis model for maintenance policy selections using a CMMS,» *Journal of Quality in maintenance Engineering*, 2004

2.2.2 Mapeo de decisiones

Una vez identificadas las máquinas, se mapean en el DMG para determinar la técnica de mantenimiento a aplicar a cada una de las máquinas. La Figura 7 muestra cómo se coloca cada máquina en la grilla para determinar la técnica de mantenimiento.

Figura 3.
Mapeo de decisiones.

		DOWNTIME		
		Low	Medium	High
F r e q u e n c y	Low	OTF G J	FTM I WHEN? H	CBM
	Medium	F FTM WHO?	FTM	E FTM WHAT? D
	High	C SLU	B FTM HOW?	A DOM

Tomado de A. Labib, «A decision analysis model for maintenance policy selections using a CMMS,» *Journal of Quality in maintenance Engineering*, 2004

2.2.3 Soporte a las decisiones

El análisis MCDM se utiliza para ir más allá e identificar el componente de la máquina donde debe enfocarse la estrategia (Fernández et al., 2003). Este paso tiene como objetivo decidir las actividades necesarias para ejecutar en un componente específico para mejorar el rendimiento del equipo, utilizando AHP (Alsam-Zainudeen y Labib, 2011). Esta técnica permitirá desglosar problemas complejos en problemas únicos dando valores numéricos a cada uno de los elementos en comparación con los elementos del nivel anterior. Se calculará un número de prioridad global y ese número se comparará entre sí para determinar el sistema que está causando los principales problemas en el equipo y es en el que se centrarán la mayoría de las acciones.

Labib (1998) también considera el análisis de costos como un criterio de apoyo a la decisión. La idea es ir más allá de los resultados del paso dos y encontrar las razones que respaldan la implementación de la nueva estrategia.

2.3 Análisis del sistema de descargue de góndolas con Metodología DMG

Los equipos de peor rendimiento se identifican utilizando el tiempo de inactividad y la tasa de fallas de frecuencia según el principio de Pareto. Para clasificar los rangos alto, medio y bajo, la metodología propuesta por Tahir et al (2009) ya que los datos no pueden considerarse homogénea. La Tabla 2 muestra el criterio de tiempo de inactividad y el criterio de frecuencia de fallas y la Tabla 3 muestra los límites para determinar el rango alto, medio y bajo en los criterios de tiempo de inactividad y frecuencia.

Tabla 2.

Criterios de inactividad y frecuencia de fallas.

EQUIPO	DOWNTIME (HORAS)	CRITERIO	FRECUENCY	CRITERIO
SISTEMA DE DESCARGUE DE GÓNDOLAS	129	High (Alto)	164	High (Alto)

Fuente. Ponce (2022)

Tabla 3. Límites para cálculos de rango.

DOWNTIME VALUES			FRECUENCY VALUES		
HIGH	132	105	HIGH	164	122
MEDIUM	105	78	MEDIUM	122	79
LOW	78	51	LOW	79	37

Fuente. Ponce (2022)

2.4 Mapeo de decisiones

El siguiente paso es mapear cada máquina en el DMG para determinar la táctica de mantenimiento sugerida. La Figura 8 muestra el DMG mapeado. Como se ve, se recomienda para DOM.

Figura 4.
Mapeo de decisiones.

		Downtime			
		Low	Medium	High	
F r e q u e n c y	L o w	OTF	FTM WHEN?	CBM	37
	M e d i u m	FTM WHO?	FTM	FTM WHAT?	79
	H i g h	SLU	FTM HOW?	DOM MC0720	122
		51	78	105	132

Fuente. Ponce (2022)

La Tabla 4 muestra el tiempo de inactividad y la frecuencia de falla del volteador de góndolas. Las fallas mecánicas relacionadas con el tambor del posicionador y el subsistema de guaya constituyen el mayor tiempo de inactividad, seguido de las fallas eléctricas. La mayoría de las fallas eléctricas se relacionan con el posicionamiento automático del equipo. Estas dos razones son el 62,9% del tiempo de inactividad. Además, las fallas eléctricas son las más frecuentes seguidas de las fallas mecánicas, siendo 68.9% de las fallas del sistema. Se deben revisar tanto los aspectos mecánicos como eléctricos para mejorar su diseño.

Tabla 4.

Causas de fallo del sistema.

QUAD INDEXER			
Downtiem Reason	Number of Hours	Frequency Reason	Number of Faults
MECH	51.86	ELECTRICO	82
ELECTRICO	29.56	MECH	31
HID	28.11	HID	30
FAILURE	6.84	RAILROAD	12
ESTRUCTURA	4.85	FAILURE	4
RAILROAD	4.74	ESTRUCTURA	3
PM	3.32	PM	2
TOTAL	129.28	TOTAL	164

Fuente. Ponce (2022)

En este trabajo, se analizan los aspectos eléctricos para el rediseño.

3. Marco Metodológico

3.1 Tipo de Investigación

El tipo de investigación es de carácter cualitativa-descriptiva, En una investigación descriptiva el objetivo es llegar a conocer las condiciones que sobresalen en el proceso, mientras que en una cualitativa se enfoca en cómo suceden los hechos. Se analizará el funcionamiento del sistema, se recolectará información histórica de campo y posteriormente basados en la literatura, se implementará una solución que mejore el rendimiento del equipo. (Eunsook T & Willis L, 2000)

3.2 Diseño de la Investigación

A continuación, se detallan los pasos a seguir para la consecución del proyecto:

1. Estudio del sistema de control actual: Se realizó una revisión documental a la información de los equipos, se revisaron planos, condiciones de diseño y operación de la estrategia de control con el fin de identificar puntos fuertes y oportunidades de mejora.
2. Evaluación de opciones de rediseño: Basándose en la literatura de control de motores DC, consultando la teoría los principales tipos de control de velocidad que se ejercen (Control

de velocidad en primer cuadrante, en dos cuadrantes y en cuatro cuadrantes) se identificó que la mejor opción es el control de velocidad en cuatro cuadrantes.

3. Elaboración de la interfaz Hombre-Máquina para la operación del sistema: Tomando como fuente de información la retroalimentación de los operadores (reuniones cortas, donde se aclararon cuáles eran sus principales inconvenientes a la hora de ver la interfaz), y teniendo en cuenta la información que facilitaría el diagnóstico del equipo en caso de falla (estado de sensores, descripción de alarmas, ubicación de elementos en pantalla y alertas visuales), se diseñó una nueva interfaz hombre-máquina (HMI).
4. Presentación de análisis Costo-Beneficio: Teniendo en cuenta los indicadores MTTR y MTBF calculados en el informe de utilización y rendimiento de los cardumpers para el año 2021, se calculó de manera aproximada cuanto deja de ganar la empresa anualmente si no se realiza una mejora al sistema de control del Indexer para disminuir las fallas de origen eléctrico, así mismo, se presentó el tiempo estimado de retorno de inversión.

3.3 Población y Muestra

El equipo de estudio es el sistema volteador de góndolas, se tomó como referencia para una línea base los datos almacenados del funcionamiento del equipo. Desde el 2020 se emplea software especializado (FactoryTalk Transaction Manager) para la captura de información en tiempo real desde la red de automatización del puerto a una base de datos de SQL server. (ver Figura 5).

La población se define como un “conjunto finito o infinito de elementos con características comunes” Para este proyecto, la población es el conjunto de datos recolectados del sistema cardumpers. (Arias, 2012).

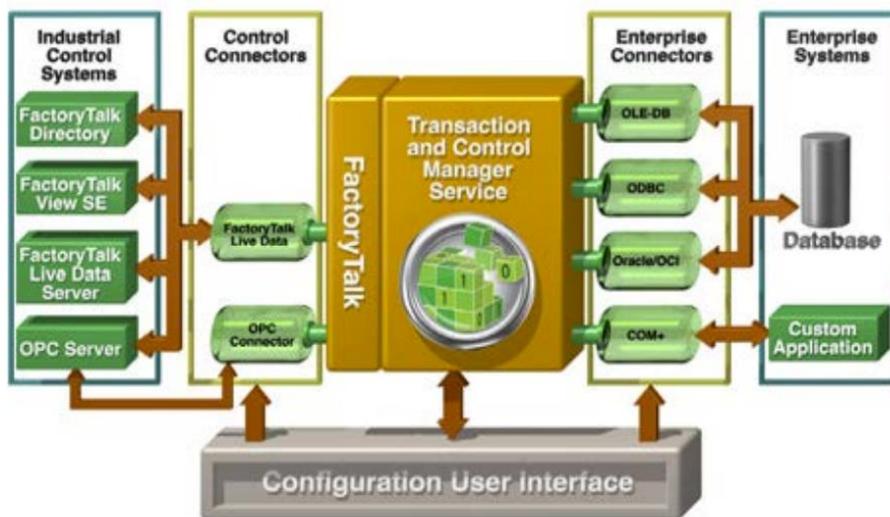
Se toma la información concerniente a los tiempos de parada por mantenimiento eléctrico, que estén relacionados con el sistema del Indexer y el tiempo planeado de producción. Así mismo se delimita la muestra a un año de datos (2021) debido a que la empresa estima el presupuesto para proyectos de mejora y mantenimiento de manera anual.

3.4 Técnica e Instrumentos de Recolección de Datos

Los datos son recolectados de manera automática desde el sistema de supervisión hacia una base de datos. El consolidado de la información se consigue mediante el software FactoryTalk Transaction Manager, el cual registra de manera continua todo lo que sucede con el equipo.

Figura 5.

Diagrama de funcionamiento FactoryTalk Transaction Manager



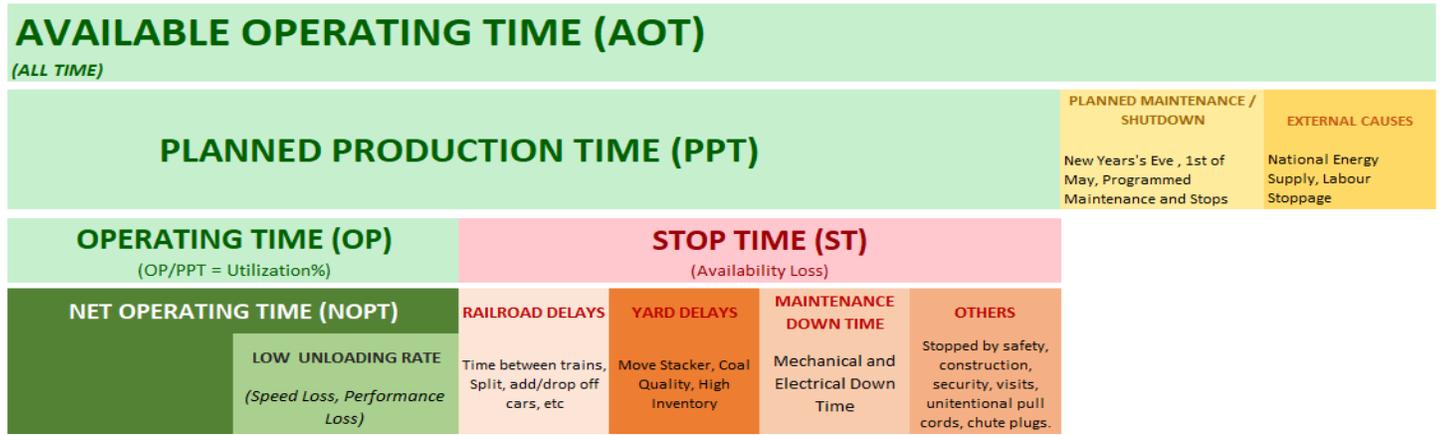
Fuente: Perfil de producto FactoryTalk Transaction Manager. (Rockwell Automation)

En la figura 5. Se observa el esquema de flujo de FactoryTalk Transaction manager, de izquierda a derecha se observa que existe comunicación bidireccional entre sistemas de control industriales mediante conectores de control, estos conectores son servicios de configuración del lado del servidor. Más a la derecha existe flujo bidireccional hacia sistemas de bases de datos, toda la configuración es accesible mediante interfaz de usuario.

En esta base de datos se almacena información categorizada de los tiempos operativos y tiempos de parada del equipo como se observa en la figura 6.

Figura 6.

Categorización del registro de información en base de datos.



Performance: Es un indicador del desempeño del descargue. Se calcula como la relación de comparación entre Net Unloading Rate y la máxima rata de de descargue de cada cardumper. Performance con valores mas cercanos a 100% indican que la mayor parte del tiempo se descargue a la máxima rata posible.

Utilization X Performance = OEE

Tomado de Drummond Ltd, «Utilización y rendimiento de Cardumper,»
Ciénaga, Magdalena, 2021

Se tomaron los datos del año 2021 de los registros históricos para calcular los indicadores de rendimiento. Para facilitar el análisis se emplea el informe de utilización y rendimiento de Cardumpers para recolectar esta información de la base de datos (Anexo 1), así mismo, se realizaron reuniones con los diferentes operadores para identificar falencias y oportunidades de mejora a la interfaz hombre-máquina.

4. Análisis e Interpretación de los Resultados

4.1 Análisis del sistema de control actual

Actualmente el sistema esta diseñado por Heyl & Patterson, tiene un control en dos cuadrantes y para el diseño eléctrico el proveedor tecnológico fue Saf Drives.

En el Anexo 2 se aprecia el diagrama unifilar del indexer, en él se puede ver como funciona el sistema actual; existen tres componentes para ejercer el control sobre el motor eléctrico, estos son el variador de velocidad DD312, una tarjeta reguladora de campo y freno. El diagrama unifilar del indexer ayuda a identificar como están distribuidas las cargas para el equipo.

En el Anexo 3 se aprecia el variador de velocidad es un DD312-1600-4 el cual está conectado a una interfaz CA384 y controla un motor de 500HP, A 800rpm y FLC de 1040 amperios, en el motor está acoplado un encoder el cual retroalimenta la señal de velocidad a la tarjeta CA453 del PLC, además, monitorea el voltaje y corriente a través de un voltímetro y un amperímetro análogos el cual está conectado a un transformador de corriente con relación 20:1.

Para el control de campo, el sistema consta de una tarjeta reguladora de campo FS2A-25-2/4 la cual recibe una señal análoga del voltaje de armadura y en base a este, regula la corriente de campo del motor, al estar detenido el motor, tiene una configuración que permite mantener el campo del motor energizado con baja corriente. (Anexo 4)

En el caso del freno, se usa una tarjeta semejante a la de campo, con la diferencia que no recibe la señal de voltaje de armadura, sino una señal externa de 4-20mA proporcionada por la tarjeta CA436 del PLC SAF instalado para el control del sistema.

Estos 3 equipos son controlados por un PLC, el cual recibe y comanda las señales, y a través de señal de fibra óptica se conecta a la red de la empresa destinada para automatización.

Los datos del PLC SAF son leídos por otro PLC AllenBradley a través de mensajería, y este a su vez los publica en una aplicación HMI para brindarle al operador del equipo un panorama

general, monitoreo de posición, velocidad, corriente, alarmas, entre otra información importante del sistema.

La medición de la posición se realiza de manera indirecta a través de la relación, vueltas del motor a posición del Indexer, y los sensores de campo, son sensores inductivos tradicionales PNP y NPN de acuerdo con cada necesidad. Estos sensores se usan para conocer posición de los frenos y del brazo del Indexer; se usa un fotosensor para, después de ubicado el equipo, se detecte que el volteador esté libre de obstáculos y poder girar.

El sistema funciona en los siguientes pasos lógicos y condiciones.

Tabla 5.
Secuencia del ciclo de volteo.

Bajar brazo del Indexer	Para poder bajar el brazo del Indexer se requiere que 2 fotosensores estén activos, lo cual indica que está bien ubicado y el brazo baja.
Avance del Indexer	Si los frenos de entrada y salida están abajo (sensores inductivos) y el volteador está en modo de reposo, se genera el comando de avance del Indexer
Volteo de góndolas y subir brazo del Indexer	Al llegar al final del recorrido, el sistema verifica 2 fotosensores los cuales indican que el volteador de góndolas esta libre, sube los frenos de entrada y salida y al detectar que estos están arriba, inicia simultáneamente el proceso de volteo y subir brazo del Indexer
Retorno del brazo del Indexer	Mientras se termina el proceso de volteo de góndolas y al estar el sensor de brazo del Indexer arriba, el equipo empieza a retornar a su posición inicial

Tomado del documento interno SIG-682 Descargue de trenes en los cardumpers.

4.2 Selección de estrategia de control

Para la selección de estrategia de control, se estableció la necesidad de simplificar el sistema, con el objetivo de eliminar componentes que puedan generar fallas difíciles de detectar, tales como, señales análogas entre el PLC con la tarjeta reguladora de campo y freno, señales de voltaje y corriente análoga, entre otros.

Además de lo anterior, se evidencia que se pueden monitorear más señales del sistema, como también, eliminar un PLC, ya que en la actualidad se tienen dos, uno para control y otro para visualización.

El variador de velocidad SINAMICS DC MASTER es un equipo compacto y contiene la etapa de potencia para la alimentación de la armadura y la etapa de potencia para la alimentación del campo y la electrónica de control.

Para controlar el sistema de accionamiento se necesita una lógica que concatene varios estados con una señal de mando. Además de relaciones lógicas, en los sistemas de accionamiento también se necesitan operaciones aritméticas o elementos de memoria. Esta funcionalidad está disponible en el equipo como módulo de funciones "Bloques de función libres". Lo cual nos permite minimizar el uso del PLC para múltiples acciones de control. (Siemens, 2015)

Este componente puede recibir directamente la señal del encoder del motor, eliminando así, en gran medida el control del PLC. Además, posee con el módulo de interfaz CBE20, la capacidad de conectarse a PROFINET, lo cual permite también el establecimiento de conexiones SINAMICS Link y la conexión a Ethernet/IP. Esto significa que es posible conectar directamente el variador a la red de automatización. (Siemens, 2015)

Con el variador de velocidad SINAMICS, se prescinde del uso del PLC SAF, la tarjeta FS2A de campo, las señales análogas (ya que procesa internamente y ejerce control) y además permite conectarse directamente a la red de automatización y por ende al PLC de visualización HMI. (Siemens, 2015)

El plano eléctrico sugerido para el control del variador de velocidad SINAMICS se aprecia en el Anexo 5.

Esta propuesta de control disminuye la cantidad componentes en operación, además, permite un análisis de falla más preciso, ya que el variador suministra la mayoría de posibles fallas en el control y pueden ser visualizadas a través de la HMI, reduciendo los tiempos de falla. Al

tener más información del variador, se puede realizar mejor control de éste, tal como el debilitamiento de campo para aumentar la velocidad del motor y aumentar o disminuir la velocidad de una manera más precisa, de acuerdo con la posición del equipo, entre otros.

Para la posición, se propone el uso de un sensor laser IIoT, de la marca del PLC instalado (ver Tabla 6), para facilitar el proceso de configuración en el programa de este, esto permitirá eliminar la lectura indirecta a través de las RPM del motor y minimiza los errores ocasionados por este tipo de medida.

De igual manera en el Anexo 1 se evidencia que muchas fallas son ocasionadas por errores en las señales de los sensores inductivos, esto debido a que este tipo de sensores al fallar, tienden a ponerse en corto y enviar una señal constante al PLC, siguiendo con la recomendación de IIoT, se recomienda también, reemplazar dichos sensores inductivos por sensores IIoT de la misma marca del PLC para facilitar la configuración, la principal ventaja de este tipo de sensores es su capacidad de autodiagnóstico, lo cual facilita corregir rápidamente las averías ocasionadas por sensores, también debido a su novedosa tecnología, elimina el envío de señales de control a campo a través de cableado, reemplazando todo esto por un solo cable de comunicación tipo Ethernet, minimizando considerablemente los daños por deterioro y humedad en el tiempo. A su vez se recomienda que este cable sea instalado de manera aérea, para que pueda realizarse fácilmente inspección y corrección de avería en caso de presentarse.

Para los fotosensores, se encuentra que el rango de acción no es capaz de detectar efectivamente obstáculos delgados, lo cual ocasiona que la volanta del tren sea golpeada por el brazo del posicionador de manera repetitiva, por ende, se recomienda usar también para esta aplicación, un sensor laser que permita tener doble verificación para la subida o bajada del brazo del posicionador.

A continuación, en la Tabla 6, se realiza comparativa de los elementos actuales vs los elementos sugeridos.

Tabla 6.

Cuadro comparativo entre elementos actuales y propuestos

Acción	Actualmente instalado	Especificaciones técnicas	Sugerido	Especificaciones técnicas
Lectura de posición	Encoder Dynapar	Salida de datos en código gray. Protocolo de comunicación Serial síncrona.	Sensor Laser IOLink 45lms	Salida de datos analógica (4-20mA) y relé tipo NPN/PNP. Tecnología I/O-link que proporciona información de diagnóstico (sensor sucio, cable en mal estado, entre otras)
Variador de frecuencia DC	DD312-1600-2 Modular	Operación en configuración de dos y cuatro cuadrantes. Requiere de accesorios adicionales para interconexión. Requiere accesorio adicional para regulación de campo. Suministra información básica para diagnóstico del equipo	Sinamics DCM 6RA80	Operación en configuración de dos y cuatro cuadrantes. No requiere de accesorios para interconexión con otros equipos. Posee todas las funciones de regulador de campo de manera interna
Regulador de Campo	FS2A-25-2/4	Provee la habilidad de controlar troque y velocidad. Permite sobrevolución con máximo toque. Nivel de Flujo consistente de campo independiente de los cambios de temperatura del motor		
Sensores de posición	1241D-6501	Sensor fotoeléctrico, configuración de salida tipo relé, distancia máxima de sensado 213m	45LMS-D8LGC1-D4	Sensor tipo laser, distancia máxima 8 metros, compatible con tecnología I/O Link, salida analógica 4-20mA, salidas tipo rele NPN/PNP

Información tomada de hojas de datos de los equipos (Ponce, 2022)

4.3 Diseño de la interfaz Hombre-Máquina para la operación del sistema

Para el diseño de la aplicación HMI, se realizan actualizaciones en la aplicación donde se emplean los datos de fallas provenientes del variador de velocidad SINAMICS al PLC, en donde se configuran cada una de las alarmas para ser visualizadas en la pantalla del operador (Ver Figura 7).

Para este diseño se utilizó el software FactoryTalkView Site Edition de Rockwell Automation, empleado por la compañía para todos los sistemas de supervisión SCADA, se creó el actualizó el acceso directo de los datos provenientes del PLC hacia la pantalla y se agregaron elementos visuales de acuerdo con los requerimientos.

Siguiendo la guía de estilo de Rockwell, el cual se basa en la “ANSI / ISA-18.2-2016. Gestión de Sistemas de Alarmas para Industrias de Procesos.” Y la “ANSI / ISA-101.01-2015. Interfaces hombre-máquina para sistemas de automatización de procesos.”

La Interfaz Hombre-Máquina (HMI) es el principal vínculo que existe entre los operarios y los sistemas automáticos de control, que se encargan de proporcionar información sobre el proceso físico.

Un HMI que cuenta con un buen diseño, está dotado de formas fáciles de navegación, con opciones claras y disponibles que aumentan la productividad, incrementan la seguridad en la operación, reducen distractores en operadores lo cual impacta de forma positiva en cualquier compañía.

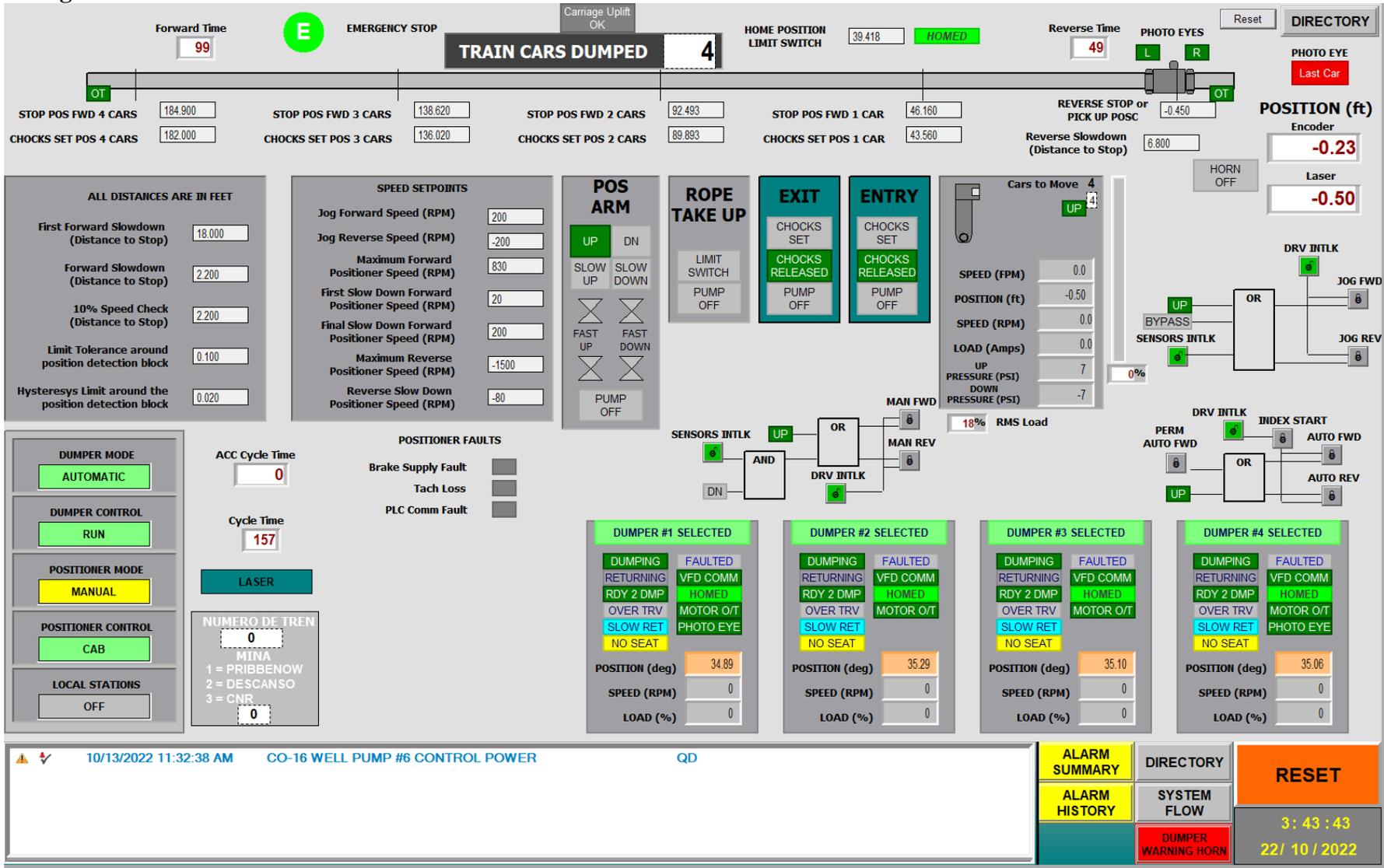
El estándar define la terminología y los modelos para desarrollar una HMI y los procesos de trabajo recomendados para mantener eficazmente la HMI durante todo el ciclo de vida. El uso de este estándar debe (Instrumcontrol.com, 2022):

a) proporcionar orientación para diseñar, construir, operar un HMI para la correcta operación y mantenimiento.

b) mejorar las habilidades del usuario para detectar, diagnosticar y responder adecuadamente a situaciones. Detectar, diagnosticar y responder adecuadamente a situaciones anormales.

En la parte superior de la interfaz se agregaron indicadores para las distancias del recorrido del indexer, los set points de velocidad especificados en el variador SINAMICS se pueden ver y editar en la sección inmediatamente inferior, así como el estado de los sensores del sistema de frenos, y posición de brazo. De la retroalimentación con operadores se implementaron de manera estratégica los componentes de la interfaz y se resaltan con colores llamativos e intermitentes estados de alarma. Adicionalmente, en la parte inferior de la interfaz se encuentra el banner de alarmas, todas las alarmas activas del sistema aparecerán con una descripción en esta sección, el mensaje configurado indica con claridad que elemento del equipo es afectado.

Figura 7. Interfaz HMI

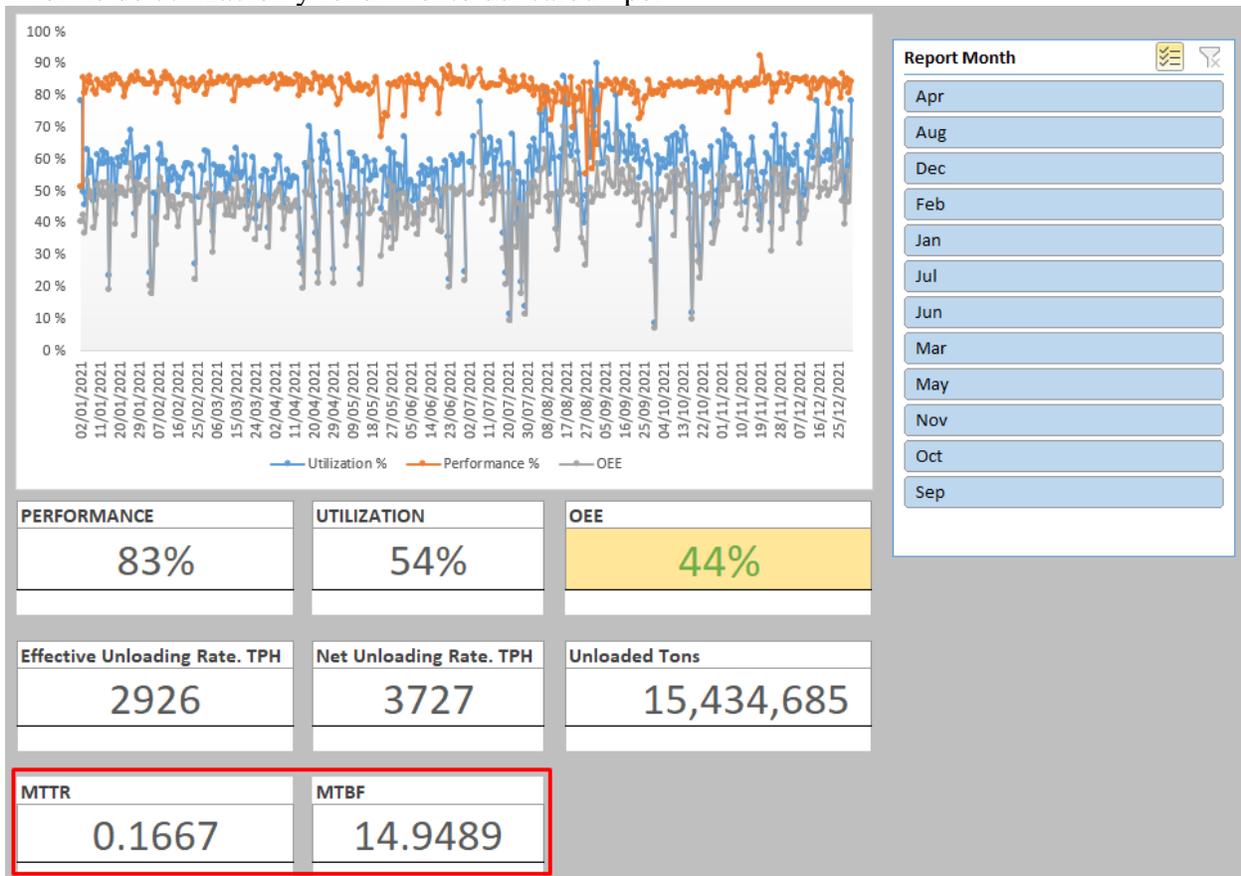


(Ponce,2022)

4.4 Análisis de costo beneficio

Partiendo del análisis DMG, el cual basa su criterio en el tiempo de parada del equipo y la frecuencia con que falla, podemos analizar de los datos recolectados para el año 2021 en el informe de utilización y rendimiento del cardumper se tiene que para el año 2021, por cada 15 de horas de operación (MTBF) se presentan fallas eléctricas relacionadas con el sistema del indexer y que estas tardan en promedio 10 minutos para reestablecerse (ver figura 8)

Figura 8.
Informe de utilización y rendimiento del cardumper



Tomado de Drummond Ltd, «Utilización y rendimiento de Cardumper,» Cienaga, Magdalena, 2021

Estos 10 minutos de parada representan aproximadamente 621,16 toneladas que dejan de descargarse a una tasa neta de 3727 toneladas por hora. Durante el año 2021 el precio de la tonelada de carbón fluctuó desde los USD \$87 pasando por un máximo de USD \$270 y cerrando a USD

\$167. Para efectos de análisis se calcula el costo promedio anual de la tonelada de carbón (USD \$137).

Figura 9.

Precio de la tonelada de carbón durante el año 2021



Tomado de (Trading economics, s.f.)

Ahora, teniendo en cuenta el tiempo planeado de producción (ver figura 6) al año se tienen 8640 horas de trabajo, por lo tanto, se tienen en promedio 576 paradas de diez minutos. Si compactamos todo lo anterior en una ecuación, la ecuación de costo $C(x)$ estaría dada por (ver ecuación 6):

$$C(x) = R * X * P \tag{6}$$

Donde,

P = precio promedio del carbón.

X = cantidad de paradas en el año.

R = cantidad de toneladas que se dejaron de cargar prorrateadas con la rata nominal de descargue.

En este caso, $R = 621,16$; $X = 576$; y $P = 137$.

Esto significa que la empresa dejó de ganar en promedio USD \$49,016,977.00 (cuarenta y nueve millones dieciséis mil novecientos setenta y siete dólares) durante el año 2021.

La ejecución del proyecto toma 7 días de trabajo (56 Horas) y requiere de 5 personas, por lo que el total son 280 horas/hombre de trabajo en total. En la tabla 7 se puede observar de manera compilada los costos de implementación del proyecto.

Tabla 7.
Costos de ejecución del proyecto

Tipo de Recurso	Cantidad	Horas requeridas	Costo Unitario	Costo Total	Código Moneda
Mano de Obra	5	56	\$ 69,50	\$ 19.460,00	USD
Simoreg, Micropro DC drive Siemens	1	NA	\$ 32.158,00	\$ 32.158,00	USD
Relay, Control, 24 VDC Coil	2	NA	\$ 64,64	\$ 129,28	USD
Totales				\$ 51.747,28	USD

Fuente: Ponce (2022)

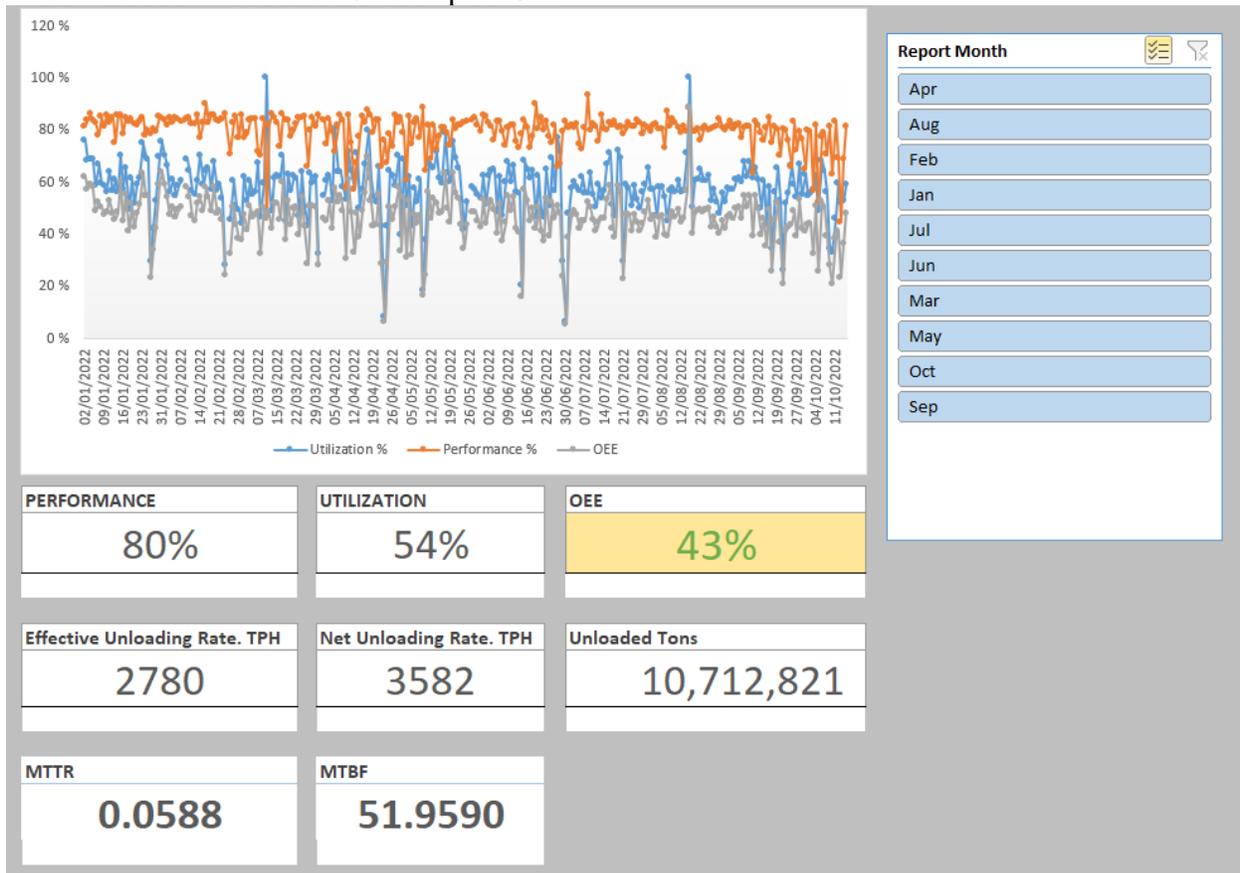
De acuerdo con la ecuación 6, una parada cuesta a la empresa alrededor de USD \$ 85,077 y teniendo en cuenta que ocurre una parada después de cada 15 horas de operación, la inversión se recupera en un día de trabajo.

Conclusiones y Recomendaciones

La optimización de recursos es un referente en términos de rendimiento de operación para cualquier modelo de negocio, en este caso, observamos como un cambio a nivel de minutos (en tiempos de parada) representa grandes sumas de dinero para el negocio de la empresa. En lo que va del 2022 (corte al 11 de octubre 2022), luego de ser implementado el proyecto, se puede apreciar una mejora drástica en los indicadores MTTR y MTBF, como se muestra en la figura 10, donde se evidencia que aproximadamente cada 52 horas de operación, ocurre una parada relacionada con fallas eléctricas en el Indexer de aproximadamente 3 minutos.

Figura 10.

Informe de redimiendo de Cardumper 2022



Fuente Drummond Ltd, «Utilización y rendimiento de Cardumper,» Cienaga, Magdalena, 2022

Como se aprecia en la figura 10, y comparando los datos con la figura 8, vemos que el rediseño de ingeniería es una herramienta que genera un impacto económico fuerte en su

implementación, por lo cual, tomar esta decisión implica un adecuado análisis financiero antes de ejecutarlo.

La reingeniería es una solución que solo se toma en casos de una disponibilidad muy afectada del equipo y genere un impacto negativo fuerte en el modelo de negocio de la empresa en la que se aplica.

Al aplicar rediseño, se obtienen notables ventajas en el sistema, tener un sistema moderno garantiza una vida útil más amplia, aplicar las tendencias actuales de ingeniería en el sistema es una ventaja importante.

Antes de aplicar reingeniería se debe analizar debidamente, con datos estadísticos para tal fin, la necesidad de modificar un proceso, realizar un análisis sin la suficiente información puede incurrir en gastos innecesarios e incluso en pérdidas para la empresa.

Como base de todo estudio es importante invertir en proyectos que garanticen registrar datos de los procesos de manera confiable, reducir al mínimo la intervención humana en su almacenamiento para reducir el índice de error que pueda generarse por manipulación de la información.

5. Referencias Bibliográficas

- Arias, F. (2012). *EL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN*. EDITORIAL EPISTEME.
- Drummond Ltd. (2021). *Utilizacion y rendimiento de Cardumper*. Cienaga, Magdalena.
- Dursun, E. H., & Durdu, A. (2016). Speed Control of a DC Motor with Variable Load Using Sliding Mode Control. *International Journal of Computer and Electrical Engineering*, 219-226.
- Eunsook T, K., & Willis L, O. (2000). Introduction to Nutrition and Health Research. *Springer Science+Business Media*, 219-220. Obtenido de https://doi.org/10.1007/978-1-4615-1401-5_12
- Instrumcontrol.com. (2022). *Instrumcontrol.com*. Obtenido de <https://instrumcontrol.com/descarga-gratuita-de-la-ansiisa-10101-del-2015/>
- Labib, A. (2004). A decision analysis model for maintenance policy selections using a CMMS. *Journal of Quality in maintenance Engineering*, 191-202.
- Liu Z, Luo F, & Rashid M. (2003). Speed nonlinear control of DC motor drive with field weakening. *IEEE Transactions on Industry Applications* , 417-423.
- Rockwell Automation. (s.f.). *FactoryTalk Transaction Manager*. Obtenido de <https://www.rockwellautomation.com/es-mx/products/software/factorytalk/operationsuite/transaction-manager.html>
- Rodrigues, E., Godina, R., & Pouresmaeil, E. (2020). Industrial Applications of Power Electronics. *Electronics*.
- Santodomingo, C., & Vargas , L. (2013). *Rediseño Del Sistema De Control De Nivel Para Tanque Abierto Monitoreado Por PC De Uso Didáctico En El Laboratorio De Control De La UAN Sede Pto.Colombia Con Aplicación De Sensores Hidrostáticos, Variadores De Velocidad Con Controladores PID Y Aplicación*. Barranquilla.
- Seecharan, Labib, & Jardine. (2018). Maintenance strategies: Decision Making Grid vs Jack-Knife Diagram. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 61-78.
- Shhahin, A., Labib, A., Emami, S., & Karbasian, M. (2019). Improving Decision-Making Grid based on interdependence among failures with a case study in the steel industry. *The TQM Journal*, 167-182.

Siemens. (Feb de 2015). Sinamics DCM DC Converter. Siemens. Obtenido de https://cache.industry.siemens.com/dl/files/240/109478240/att_851821/v1/manual-DC-Converter_es.pdf

Trading economics. (s.f.). *Trading economics*. Obtenido de <https://es.tradingeconomics.com/commodity/coal>

Wildi, T. (2007). *Maquinas electricas y sistemas de potencia*. Pearson Educación.

Zurita, C. G. (Abril de 1986). Sistema de Control para operación de una máquina DC en 4 cuadrantes. Ecuador. Obtenido de Biblioteca digital escuela politécnica nacional: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/10404>

**ANEXO 1. DATOS TOMADOS DE LA BASE DE DATOS DE CARDUMPERS PARA EL
AÑO 2021, FILTRADOS PARA EVENTOS DE APRADA DE MANTENIMIENTO
ELÉCTRICO.**

Anexo 1. Información tomada de base de datos de cardumpers del año 2021 filtrada por fallas eléctricas.

Start Time	End Time	Shift	Train Number	Event Group	Event Code	Event Description	Duration (h:mm:ss)	# Dumped Cars	Tons	Report Date	Comments	Operator ID	Last Modifying User	Loading Rate TPH
1/2/2021 12:59	1/2/2021 13:05	Shift 2	61526	Electrical Maintenance	2362	Entry and Exit Chocks-Electrical	0:06:27			1/2/2021		ajaraba	ajaraba	
1/2/2021 13:08	1/2/2021 13:13	Shift 2	61526	Electrical Maintenance	2362	Entry and Exit Chocks-Electrical	0:04:56			1/2/2021		ajaraba	ajaraba	
1/2/2021 13:15	1/2/2021 13:18	Shift 2	61526	Electrical Maintenance	2362	Entry and Exit Chocks-Electrical	0:03:07			1/2/2021		ajaraba	ajaraba	
1/2/2021 13:21	1/2/2021 13:27	Shift 2	61526	Electrical Maintenance	2362	Entry and Exit Chocks-Electrical	0:05:48			1/2/2021		ajaraba	ajaraba	
1/5/2021 7:36	1/5/2021 7:52	Shift 2	20819	Electrical Maintenance	2349	Others-Electrical	0:15:58			1/5/2021	problema con la proteccion de purgue	jrincon	jrincon	
1/6/2021 8:29	1/6/2021 8:30	Shift 2	61537	Electrical Maintenance	232609	Conveyor Pullocord	0:01:32			1/6/2021	pulcor en el convellor 14	jrincon	jrincon	
1/9/2021 5:44	1/9/2021 6:19	Shift 2	20852	Electrical Maintenance	236511	Dumper Drive Fault	0:35:00			1/9/2021		ajaraba	ajaraba	
1/9/2021 8:17	1/9/2021 8:19	Shift 2	20852	Electrical Maintenance	2349	Others-Electrical	0:02:11			1/9/2021	pruebas con el dumper # 3	ajaraba	ajaraba	
1/9/2021 18:01	1/9/2021 18:05	Shift 1	20856	Electrical Maintenance	2349	Others-Electrical	0:03:30			1/10/2021	oxilacion	ajaraba	ajaraba	
1/22/2021 5:32	1/22/2021 5:37	Shift 2	20982	Electrical Maintenance	2349	Others-Electrical	0:05:31			1/22/2021	oxilacion de energia	jrincon	jrincon	
1/22/2021 5:54	1/22/2021 5:59	Shift 2	20982	Electrical Maintenance	2349	Others-Electrical	0:05:06			1/22/2021	falla convellor 29	jrincon	jrincon	
1/27/2021 3:40	1/27/2021 3:44	Shift 1	21033	Electrical Maintenance	2362	Entry and Exit Chocks-Electrical	0:03:36			1/27/2021	FALLA F DE SALIDA AVANCE 54-58	rirreno	rirreno	
1/29/2021 23:12	1/29/2021 23:21	Shift 1	21062	Electrical Maintenance	232609	Conveyor Pullocord	0:09:03	50	456	1/30/2021	C 19 PULL CORD #2B	ycontreras	ycontreras	3023.21
2/2/2021 18:49	2/2/2021 18:51	Shift 1	21103	Electrical Maintenance	2335	Energy Supply	0:01:58			2/3/2021	OSCILACION DE ENERGIA	ycontreras	ycontreras	
2/4/2021 8:28	2/4/2021 8:38	Shift 2	61644	Electrical Maintenance	236515	Dumper Goswitch Fault	0:10:24			2/4/2021	DUMPER 4 NO SENTADO	rirreno	rirreno	
2/4/2021 9:47	2/4/2021 9:52	Shift 2	61644	Electrical Maintenance	2349	Others-Electrical	0:04:52			2/4/2021	FALLA SENSOR GUAYA INDEXER	rirreno	rirreno	
2/5/2021 9:22	2/5/2021 9:30	Shift 2	21118	Electrical Maintenance	236504	Dumper Fail To Dump Or Return	0:07:31			2/5/2021	FALLA DUMPER UNO DIFERENCIA DE ENCODER	rirreno	rirreno	
2/6/2021 1:07	2/6/2021 1:11	Shift 1	21126	Electrical Maintenance	2362	Entry and Exit Chocks-Electrical	0:04:03			2/6/2021		jrincon	jrincon	
2/7/2021 13:25	2/7/2021 13:38	Shift 2	21141	Electrical Maintenance	236512	Dumper Interlock	0:12:53			2/7/2021	FALLA DUMPER 1 DIF DE ENCODER	rirreno	rirreno	
2/11/2021 5:57	2/11/2021 6:32	Shift 2	21178	Electrical Maintenance	2362	Entry and Exit Chocks-Electrical	0:35:17			2/11/2021		jpadilla	ajaraba	
2/12/2021 16:02	2/12/2021 16:03	Shift 2	21194	Electrical Maintenance	2362	Entry and Exit Chocks-Electrical	0:00:32			2/12/2021		ajaraba	ajaraba	
2/15/2021 8:37	2/15/2021 9:03	Shift 2	61676	Electrical Maintenance	2335	Energy Supply	0:26:17			2/15/2021		ajaraba	ajaraba	
2/15/2021 9:34	2/15/2021 10:14	Shift 2	61676	Electrical Maintenance	2335	Energy Supply	0:40:18			2/15/2021		ajaraba	ajaraba	
2/21/2021 3:13	2/21/2021 3:15	Shift 1	61691	Electrical Maintenance	2362	Entry and Exit Chocks-Electrical	0:02:08			2/21/2021		ajaraba	ajaraba	
2/23/2021 7:35	2/23/2021 7:37	Shift 2	21309	Electrical Maintenance	2349	Others-Electrical	0:01:25			2/23/2021	EL BRAZO NO SUBIO (42 carros)	rirreno	rirreno	
2/24/2021 2:38	2/24/2021 2:44	Shift 1	21317	Electrical Maintenance	236503	Dumper Overtravel	0:06:40			2/24/2021		ajaraba	ajaraba	
2/24/2021 2:56	2/24/2021 3:01	Shift 1	21317	Electrical Maintenance	236503	Dumper Overtravel	0:05:49			2/24/2021		ajaraba	ajaraba	
2/28/2021 1:32	2/28/2021 1:50	Shift 1	21343	Electrical Maintenance	232607	Conveyor Belt Slip	0:17:09			2/28/2021	belt slip c 19	jpadilla	jpadilla	
2/28/2021 5:30	2/28/2021 5:33	Shift 2	21345	Electrical Maintenance	236512	Dumper Interlock	0:03:26			2/28/2021		jpadilla	jpadilla	
2/28/2021 13:10	2/28/2021 13:14	Shift 2	21348	Electrical Maintenance	2335	Energy Supply	0:03:41			2/28/2021	SE APAGO LA CO-22 POR OSCILACION	jpadilla	jpadilla	
2/28/2021 20:48	2/28/2021 20:55	Shift 1	21351	Electrical Maintenance	236504	Dumper Fail To Dump Or Return	0:07:23			2/28/2021	Dumper #2 no sento	jpadilla	jpadilla	
2/28/2021 21:32	2/28/2021 21:35	Shift 1	21351	Electrical Maintenance	236403	Indexer Overtravel	0:03:21			2/28/2021	falla en el variador del indexer	jpadilla	jpadilla	
2/28/2021 22:22	2/28/2021 22:39	Shift 1	21352	Electrical Maintenance	2362	Entry and Exit Chocks-Electrical	0:16:47			2/28/2021	Falla del sensor, frenos de salida	jpadilla	jpadilla	
2/28/2021 22:39	2/28/2021 22:40	Shift 1	21352	Electrical Maintenance	2362	Entry and Exit Chocks-Electrical	0:01:04			2/28/2021	Falla del sensor, frenos de salida	jpadilla	jpadilla	
3/4/2021 6:18	3/4/2021 6:24	Shift 2	21384	Electrical Maintenance	236403	Indexer Overtravel	0:06:21			3/4/2021		ajaraba	ajaraba	
3/6/2021 1:52	3/6/2021 3:24	Shift 1	21409	Electrical Maintenance	2349	Others-Electrical	1:31:47			3/6/2021	FALLA MAGNETO CO-19	rirreno	rirreno	
3/11/2021 12:10	3/11/2021 12:20	Shift 2	21461	Electrical Maintenance	2356	Scales-Electrical	0:10:36			3/11/2021	CO: #19	jpadilla	jpadilla	
3/11/2021 22:47	3/11/2021 22:47	Shift 1	21466	Electrical Maintenance	2349	Others-Electrical	0:00:27			3/12/2021	BRAZO NO LISTO PARA BAJAR	rirreno	rirreno	
3/11/2021 22:54	3/11/2021 23:17	Shift 1	21466	Electrical Maintenance	236402	Indexer Laser Vs Encoder Fault	0:22:39			3/12/2021	38 CARROS 7 PIES	rirreno	rirreno	
3/12/2021 15:07	3/12/2021 15:16	Shift 2	21472	Electrical Maintenance	232607	Conveyor Belt Slip	0:08:48			3/12/2021	conveyor 16	jpadilla	jpadilla	
3/12/2021 15:16	3/12/2021 15:17	Shift 2	21472	Electrical Maintenance	232607	Conveyor Belt Slip	0:01:07	106	24	3/12/2021	conveyor 16	jpadilla	jpadilla	1289.56
3/12/2021 15:17	3/12/2021 15:19	Shift 2	21472	Electrical Maintenance	232607	Conveyor Belt Slip	0:02:35			3/12/2021	conveyor 16	jpadilla	jpadilla	
3/14/2021 13:57	3/14/2021 14:07	Shift 2	21494	Electrical Maintenance	2335	Energy Supply	0:10:17			3/14/2021	Oxilacion de energia	jpadilla	jpadilla	
3/24/2021 7:34	3/24/2021 7:37	Shift 2	21605	Electrical Maintenance	236402	Indexer Laser Vs Encoder Fault	0:02:23			3/24/2021		ajaraba	ajaraba	
3/25/2021 19:07	3/25/2021 19:11	Shift 1	21606	Electrical Maintenance	235203	Collecting / Feeder Chute Plug	0:04:47			3/26/2021	chute plug colector # 2	jpadilla	jpadilla	
3/25/2021 19:12	3/25/2021 19:17	Shift 1	21606	Electrical Maintenance	235203	Collecting / Feeder Chute Plug	0:04:35			3/26/2021	chute plug colector # 2	jpadilla	jpadilla	
3/25/2021 19:19	3/25/2021 19:23	Shift 1	21606	Electrical Maintenance	235203	Collecting / Feeder Chute Plug	0:03:51			3/26/2021	chute olug colector # 2	jpadilla	jpadilla	
3/28/2021 15:04	3/28/2021 15:13	Shift 2	21635	Electrical Maintenance	235201	Collecting / Feeder Control Power	0:08:32			3/28/2021		ajaraba	ajaraba	
3/29/2021 22:22	3/29/2021 22:34	Shift 1	21650	Electrical Maintenance	2349	Others-Electrical	0:12:09			3/30/2021	FALLA ELECT BOON STK UNO	rirreno	rirreno	
4/1/2021 6:47	4/1/2021 6:48	Shift 2	21673	Electrical Maintenance	232609	Conveyor Pullocord	0:00:50			4/1/2021	pulcord c 29	jpadilla	jpadilla	
4/3/2021 15:19	4/3/2021 15:27	Shift 2	21699	Electrical Maintenance	236504	Dumper Fail To Dump Or Return	0:08:03			4/3/2021	dumper # 2 no sento del todo	jpadilla	jpadilla	
4/7/2021 1:31	4/7/2021 1:32	Shift 1	21736	Electrical Maintenance	2349	Others-Electrical	0:01:31			4/7/2021	oxilacio	ajaraba	ajaraba	
4/10/2021 3:44	4/10/2021 3:48	Shift 1	21770	Electrical Maintenance	236412	Indexer Interlock	0:04:36			4/10/2021	falla del censor freno de entrada no aplicado	jpadilla	jpadilla	
4/18/2021 10:58	4/18/2021 11:02	Shift 2	21847	Electrical Maintenance	236402	Indexer Laser Vs Encoder Fault	0:04:24			4/18/2021		ajaraba	ajaraba	
4/19/2021 8:32	4/19/2021 8:53	Shift 2	61829	Electrical Maintenance	232609	Conveyor Pullocord	0:21:01			4/19/2021	stcker 1 falla del pullocord	ajaraba	ajaraba	
4/19/2021 8:59	4/19/2021 9:07	Shift 2	61829	Electrical Maintenance	232609	Conveyor Pullocord	0:07:12			4/19/2021	stcker 1 falla del pullocord	ajaraba	ajaraba	
4/19/2021 9:49	4/19/2021 10:16	Shift 2	21857	Electrical Maintenance	232609	Conveyor Pullocord	0:26:19			4/19/2021	stcker 1 falla del pullocord	ajaraba	ajaraba	
4/19/2021 10:24	4/19/2021 10:49	Shift 2	21857	Electrical Maintenance	232609	Conveyor Pullocord	0:25:11			4/19/2021	stcker 1 falla del pullocord	ajaraba	ajaraba	
4/24/2021 3:48	4/24/2021 3:49	Shift 1	21895	Electrical Maintenance	236402	Indexer Laser Vs Encoder Fault	0:01:36			4/24/2021		ajaraba	ajaraba	
4/24/2021 21:38	4/24/2021 21:39	Shift 1	21903	Electrical Maintenance	236402	Indexer Laser Vs Encoder Fault	0:01:22			4/25/2021		ajaraba	ajaraba	
4/25/2021 16:20	4/25/2021 16:24	Shift 2	21911	Electrical Maintenance	236403	Indexer Overtravel	0:04:14			4/25/2021	el brazo no esta libre para subir	jpadilla	jpadilla	
5/9/2021 8:59	5/9/2021 9:01	Shift 2	61890	Electrical Maintenance	2362	Entry and Exit Chocks-Electrical	0:01:28			5/9/2021		ajaraba	ajaraba	

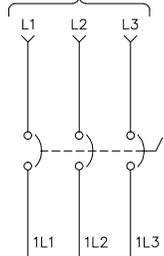
5/10/2021 4:56	5/10/2021 5:00	Shift 1	22021	Electrical Maintenance	2349	Others-Electrical	0:03:58		5/10/2021	EL BRAZO NO LLEGO AL TOPE	rirreno	rirreno
5/11/2021 1:49	5/11/2021 1:52	Shift 1	22030	Electrical Maintenance	2349	Others-Electrical	0:03:18		5/11/2021	EL BRAZO NO LLEGO AL TOPE	ajaraba	ajaraba
5/13/2021 6:20	5/13/2021 6:31	Shift 2	22044	Electrical Maintenance	236515	Dumper Goswitch Fault	0:10:49		5/13/2021	Dumper #1 no sentado.	rirreno	rirreno
5/13/2021 6:36	5/13/2021 6:46	Shift 2	22044	Electrical Maintenance	236515	Dumper Goswitch Fault	0:09:43		5/13/2021	Dumper #1 no sentado.	rirreno	rirreno
5/13/2021 7:45	5/13/2021 7:52	Shift 2	22044	Electrical Maintenance	236515	Dumper Goswitch Fault	0:06:56		5/13/2021	Dumper #1 no sentado	rirreno	rirreno
5/13/2021 19:52	5/13/2021 19:52	Shift 1	22048	Electrical Maintenance	236512	Dumper Interlock	0:00:30		5/14/2021	DUMPER UNO NO SENTADO (70 carros)	rirreno	rirreno
5/14/2021 0:00	5/14/2021 0:02	Shift 1	22050	Electrical Maintenance	236512	Dumper Interlock	0:01:32		5/14/2021	DUMPER UNO NO SENTADO (122)	rirreno	rirreno
5/14/2021 4:50	5/14/2021 4:52	Shift 1	61902	Electrical Maintenance	236512	Dumper Interlock	0:01:33		5/14/2021	DUMPER UNO NO SENTADO (114)	rirreno	rirreno
5/14/2021 7:59	5/14/2021 8:13	Shift 2	22053	Electrical Maintenance	236512	Dumper Interlock	0:13:47		5/14/2021	dumper # 1 no gira	jpadilla	jpadilla
5/14/2021 10:15	5/14/2021 10:20	Shift 2	22055	Electrical Maintenance	236512	Dumper Interlock	0:04:36		5/14/2021	dumper #1 no giro	jpadilla	jpadilla
5/14/2021 10:24	5/14/2021 10:25	Shift 2	22055	Electrical Maintenance	236512	Dumper Interlock	0:00:37		5/14/2021	dumper #1 no giro	jpadilla	jpadilla
5/14/2021 11:03	5/14/2021 11:03	Shift 2	22055	Electrical Maintenance	236512	Dumper Interlock	0:00:15		5/14/2021	dumper # 1 no giro	jpadilla	jpadilla
5/15/2021 12:14	5/15/2021 12:16	Shift 2	22068	Electrical Maintenance	236512	Dumper Interlock	0:01:26		5/15/2021	dumper # 1 no giro	jpadilla	jpadilla
5/16/2021 14:18	5/16/2021 14:20	Shift 2	22080	Electrical Maintenance	2362	Entry and Exit Chocks-Electrical	0:01:50		5/16/2021	problema sensor frenos de entrada	jpadilla	jpadilla
5/16/2021 14:20	5/16/2021 14:21	Shift 2	22080	Electrical Maintenance	2362	Entry and Exit Chocks-Electrical	0:01:23		5/16/2021	problema sensor frenos de entrada	jpadilla	jpadilla
5/16/2021 22:23	5/16/2021 23:37	Shift 1	22085	Electrical Maintenance	236511	Dumper Drive Fault	1:14:20		5/17/2021		ajaraba	ajaraba
5/18/2021 21:18	5/18/2021 21:21	Shift 1	22104	Electrical Maintenance	2335	Energy Supply	0:02:44		5/19/2021	oxilacion	ajaraba	ajaraba
5/28/2021 0:25	5/28/2021 0:25	Shift 1	22178	Electrical Maintenance	236403	Indexer Overtravel	0:00:43		5/28/2021	el brazo no subio completo	jpadilla	jpadilla
5/28/2021 22:05	5/28/2021 22:06	Shift 1	22190	Electrical Maintenance	2349	Others-Electrical	0:01:23		5/29/2021	EL BRAZO NO SUBIO (26)	rirreno	rirreno
5/30/2021 23:40	5/30/2021 23:44	Shift 1	22210	Electrical Maintenance	236512	Dumper Interlock	0:03:43		5/31/2021	DUMPER UNO NO GIRO (38)	rirreno	rirreno
5/31/2021 18:07	5/31/2021 18:51	Shift 1	22218	Electrical Maintenance	2349	Others-Electrical	0:43:28		5/31/2021	FALLA PANTALLA BLOQUEADAS	standby	rirreno
6/1/2021 6:16	6/1/2021 6:21	Shift 2	61947	Electrical Maintenance	2349	Others-Electrical	0:05:19		6/1/2021	usuario no recibe clave ni contrasena	standby	jpadilla
6/11/2021 21:16	6/11/2021 21:23	Shift 1	22328	Electrical Maintenance	232601	Conveyor Control Power	0:07:05		6/12/2021	C19 Control Power Motor B	jpadilla	jpadilla
6/14/2021 1:49	6/14/2021 1:49	Shift 1	22356	Electrical Maintenance	236403	Indexer Overtravel	0:00:32		6/14/2021	brazo del ndexer no subio completo	jpadilla	jpadilla
6/15/2021 17:24	6/15/2021 17:26	Shift 2	61981	Electrical Maintenance	2349	Others-Electrical	0:01:49		6/15/2021	laxer del blaso	ajaraba	ajaraba
6/17/2021 0:36	6/17/2021 1:26	Shift 1	61984	Electrical Maintenance	2335	Energy Supply	0:49:59		6/17/2021		jpadilla	jpadilla
6/17/2021 3:14	6/17/2021 3:48	Shift 1	22389	Electrical Maintenance	2335	Energy Supply	0:33:30		6/17/2021		jpadilla	jpadilla
6/17/2021 8:03	6/17/2021 8:13	Shift 2	22391	Electrical Maintenance	232602	Conveyor Fail To Start	0:09:57		6/17/2021	conveyor 19	ajaraba	ajaraba
6/17/2021 18:16	6/17/2021 18:16	Shift 1	22396	Electrical Maintenance	236403	Indexer Overtravel	0:00:36		6/18/2021	el brazo no subio completo	jpadilla	jpadilla
6/18/2021 5:09	6/18/2021 5:18	Shift 1	22399	Electrical Maintenance	232603	Conveyor Chute Plug	0:09:10		6/18/2021		jpadilla	jpadilla
6/25/2021 9:09	6/25/2021 9:50	Shift 2	62001	Electrical Maintenance	2362	Entry and Exit Chocks-Electrical	0:41:22		6/25/2021	cambio de sensor frenos de entrada	jpadilla	jpadilla
6/26/2021 22:55	6/27/2021 0:28	Shift 1	22487	Electrical Maintenance	2335	Energy Supply	1:32:48		6/27/2021		ajaraba	ajaraba
7/2/2021 9:00	7/2/2021 9:00	Shift 2	62020	Electrical Maintenance	2349	Others-Electrical	0:00:07		7/2/2021		rirreno	rirreno
7/2/2021 9:00	7/2/2021 9:02	Shift 2	62020	Electrical Maintenance	2349	Others-Electrical	0:02:18		7/2/2021	ALINEAMIENTO COLA CO-16	rirreno	rirreno
7/8/2021 9:54	7/8/2021 9:56	Shift 2	22552	Electrical Maintenance	2349	Others-Electrical	0:02:08		7/8/2021		ajaraba	ajaraba
7/11/2021 8:19	7/11/2021 8:20	Shift 2	62041	Electrical Maintenance	2349	Others-Electrical	0:01:10		7/11/2021	xensor de bolanta del blaso	ajaraba	ajaraba
7/12/2021 8:11	7/12/2021 8:13	Shift 2	22594	Electrical Maintenance	2349	Others-Electrical	0:02:02		7/12/2021	ensor de bolanta del blaso	ajaraba	ajaraba
7/12/2021 10:06	7/12/2021 10:08	Shift 2	22595	Electrical Maintenance	2349	Others-Electrical	0:02:27		7/12/2021		ajaraba	ajaraba
7/13/2021 21:45	7/13/2021 22:04	Shift 1	22608	Electrical Maintenance	232601	Conveyor Control Power	0:19:30		7/14/2021	falla de energia staker 1	wcantillo	wcantillo
7/16/2021 2:10	7/16/2021 2:14	Shift 1	22632	Electrical Maintenance	236503	Dumper Overtravel	0:04:14		7/16/2021	dumper 3 no sentado	wcantillo	wcantillo
7/16/2021 2:19	7/16/2021 3:05	Shift 1	22632	Electrical Maintenance	236503	Dumper Overtravel	0:46:21		7/16/2021	dumper 3 no sentado	wcantillo	wcantillo
7/30/2021 7:17	7/30/2021 7:18	Shift 2	22730	Electrical Maintenance	236402	Indexer Laser Vs Encoder Fault	0:01:57		7/30/2021	bolanta del blaso	ajaraba	ajaraba
7/30/2021 9:12	7/30/2021 9:23	Shift 2	22731	Electrical Maintenance	232612	Conveyor Interlock	0:10:35		7/30/2021		ajaraba	
7/31/2021 10:17	7/31/2021 10:20	Shift 2	22742	Electrical Maintenance	2362	Entry and Exit Chocks-Electrical	0:02:36		7/31/2021		ajaraba	ajaraba
7/31/2021 10:20	7/31/2021 10:21	Shift 2	22742	Electrical Maintenance	2362	Entry and Exit Chocks-Electrical	0:00:50		7/31/2021		ajaraba	ajaraba
7/31/2021 11:02	7/31/2021 11:07	Shift 2	22743	Electrical Maintenance	236503	Dumper Overtravel	0:04:23		7/31/2021		ajaraba	ajaraba
8/2/2021 10:10	8/2/2021 10:17	Shift 2	22764	Electrical Maintenance	232603	Conveyor Chute Plug	0:07:10		8/2/2021	la 19 chupe plug	ajaraba	ajaraba
8/4/2021 10:52	8/4/2021 11:00	Shift 2	22782	Electrical Maintenance	236504	Dumper Fail To Dump Or Return	0:08:11		8/4/2021	Dumper # 1	bsierra	bsierra
8/9/2021 7:11	8/9/2021 7:13	Shift 2	22817	Electrical Maintenance	2356	Scales-Electrical	0:02:38		8/9/2021		jrincon	jrincon
8/10/2021 18:28	8/10/2021 18:30	Shift 1	22830	Electrical Maintenance	236402	Indexer Laser Vs Encoder Fault	0:02:37		8/11/2021	xensor de bolanta	ajaraba	ajaraba
8/15/2021 13:29	8/15/2021 13:40	Shift 2	62148	Electrical Maintenance	2349	Others-Electrical	0:11:39		8/15/2021	ocilacion	bsierra	bsierra
8/15/2021 13:40	8/15/2021 13:55	Shift 2	62148	Electrical Maintenance	2349	Others-Electrical	0:15:05		8/15/2021	oscilacion	bsierra	bsierra
8/18/2021 16:04	8/18/2021 16:22	Shift 2	22882	Electrical Maintenance	232601	Conveyor Control Power	0:18:50		8/18/2021		ajaraba	
8/20/2021 4:43	8/20/2021 4:43	Shift 1	22895	Electrical Maintenance	236512	Dumper Interlock	0:00:45		8/20/2021		jpadilla	jpadilla
8/20/2021 5:01	8/20/2021 5:01	Shift 1	22895	Electrical Maintenance	236512	Dumper Interlock	0:00:15		8/20/2021		jpadilla	jpadilla
8/24/2021 6:14	8/24/2021 6:15	Shift 2	22926	Electrical Maintenance	236403	Indexer Overtravel	0:01:18		8/24/2021	el brazo no esta libre para subir	jpadilla	jpadilla
8/27/2021 8:16	8/27/2021 9:47	Shift 2	22942	Electrical Maintenance	232603	Conveyor Chute Plug	1:30:51		8/27/2021		jpadilla	jpadilla
8/27/2021 9:48	8/27/2021 9:48	Shift 2	22942	Electrical Maintenance	232603	Conveyor Chute Plug	0:00:05		8/27/2021		jpadilla	jpadilla
8/27/2021 9:49	8/27/2021 9:49	Shift 2	22942	Electrical Maintenance	235203	Collecting / Feeder Chute Plug	0:00:28		8/27/2021		jpadilla	jpadilla
8/28/2021 1:38	8/28/2021 1:40	Shift 1	62177	Electrical Maintenance	2349	Others-Electrical	0:01:36		8/28/2021	xensor de bolanta del blaso	ajaraba	ajaraba
8/29/2021 3:01	8/29/2021 3:07	Shift 1	22957	Electrical Maintenance	2349	Others-Electrical	0:06:30		8/29/2021	STACKER 1 NO ISPONIBLE POR FRENO MOTR 2 SLEW	ajaraba	ajaraba
9/2/2021 10:05	9/2/2021 10:30	Shift 2	22974	Electrical Maintenance	236412	Indexer Interlock	0:25:07		9/2/2021	FALLA DEL LASER DEL INDEXER	ajaraba	ajaraba
9/7/2021 3:50	9/7/2021 4:01	Shift 1	23006	Electrical Maintenance	236403	Indexer Overtravel	0:10:48		9/7/2021	el brazo del indexer no subia en manual	jpadilla	jpadilla
9/15/2021 0:49	9/15/2021 0:51	Shift 1	62235	Electrical Maintenance	2349	Others-Electrical	0:01:52		9/15/2021	PRIMER AVANCE EL BRAZO NO SUBIO	jpadilla	jpadilla
9/15/2021 2:26	9/15/2021 2:27	Shift 1	62235	Electrical Maintenance	2349	Others-Electrical	0:01:25		9/15/2021	AVANCE 106 EL BRAZO NO SUBIO	jpadilla	jpadilla
9/20/2021 19:21	9/20/2021 19:25	Shift 1	23070	Electrical Maintenance	2335	Energy Supply	0:03:36		9/21/2021	oxilacion	ajaraba	ajaraba

9/20/2021 19:27	9/20/2021 19:28	Shift 1	23070	Electrical Maintenance	2335	Energy Supply	0:00:31			9/21/2021	oxilacion	ajaraba	ajaraba	
9/22/2021 17:30	9/22/2021 17:31	Shift 1	23088	Electrical Maintenance	2349	Others-Electrical	0:01:48			9/23/2021	BLOQUEO DE PANTALLA	rirreno	rirreno	
9/22/2021 17:32	9/22/2021 17:41	Shift 1	23088	Electrical Maintenance	2349	Others-Electrical	0:09:31			9/23/2021	BLOQUEO DE PANTALLA BOTON DE FEEDER	rirreno	rirreno	
10/1/2021 22:42	10/1/2021 23:14	Shift 1	62308	Electrical Maintenance	2335	Energy Supply	0:32:31			10/2/2021	OSCILACION DE ENERGIA CIRCUITO J	rirreno	rirreno	
11/1/2021 1:38	11/1/2021 1:57	Shift 1	62459	Electrical Maintenance	2349	Others-Electrical	0:19:08			11/1/2021	se ronpio conetor del blasoda a riba	ajaraba	ajaraba	
11/2/2021 10:25	11/2/2021 10:27	Shift 2	23332	Electrical Maintenance	2349	Others-Electrical	0:02:07			11/2/2021	PRUEBA CON EL INDEXER	rirreno	rirreno	
11/2/2021 11:17	11/2/2021 11:22	Shift 2	23332	Electrical Maintenance	2349	Others-Electrical	0:04:48			11/2/2021	PRUEBA CON EL INDEXER	rirreno	rirreno	
11/5/2021 22:56	11/5/2021 23:43	Shift 1	23350	Electrical Maintenance	2362	Entry and Exit Chocks-Electrical	0:47:49			11/6/2021	FALLA CENSOR SICK FRENOS DE SALIDA	jpadilla	jpadilla	
11/6/2021 17:57	11/6/2021 18:09	Shift 1	23356	Electrical Maintenance	232601	Conveyor Control Power	0:12:21			11/7/2021	FALLA VENTILADOR MOTOR CONVEYOR 29	rirreno	jpadilla	
11/7/2021 21:51	11/7/2021 21:58	Shift 1	62495	Electrical Maintenance	232601	Conveyor Control Power	0:07:07			11/8/2021	FALLA VENTILADOR MOTOR C 29	jpadilla	jpadilla	
11/9/2021 12:43	11/9/2021 12:43	Shift 2	62501	Electrical Maintenance	2349	Others-Electrical	0:00:22			11/9/2021	ALARMA PROTECCION DE VOLANTA	ajaraba	ajaraba	
11/13/2021 18:11	11/13/2021 18:19	Shift 1	23396	Electrical Maintenance	232612	Conveyor Interlock	0:07:52			11/14/2021	Disparo en sistema de lubricacion CO 29 motor B	rirreno	rirreno	
11/14/2021 1:06	11/14/2021 1:19	Shift 1	23399	Electrical Maintenance	232612	Conveyor Interlock	0:12:51			11/14/2021	Disparo en sistema de lubricacion CO 29 motor B	rirreno	rirreno	
11/16/2021 15:23	11/16/2021 15:30	Shift 2	24426	Electrical Maintenance	2349	Others-Electrical	0:07:16			11/16/2021	el brazo cayo arriba del enganche	jpadilla	jpadilla	
11/16/2021 17:00	11/16/2021 17:00	Shift 2	23427	Electrical Maintenance	2349	Others-Electrical	0:00:45			11/16/2021	el brazo cayo arriba del enganche	jpadilla	jpadilla	
11/17/2021 6:56	11/17/2021 7:19	Shift 2	23432	Electrical Maintenance	2362	Entry and Exit Chocks-Electrical	0:22:50			11/17/2021	PROBLEMA FRENOS DE SALDA LASER ESCANER	jpadilla	jpadilla	
11/22/2021 6:15	11/22/2021 6:19	Shift 2	23466	Electrical Maintenance	236403	Indexer Overtravel	0:03:44			11/22/2021	Tomando Referencia Indexer	ajaraba	wduran	
11/30/2021 7:46	11/30/2021 7:53	Shift 2	23515	Electrical Maintenance	2362	Entry and Exit Chocks-Electrical	0:07:31			11/30/2021		ajaraba	ajaraba	
11/30/2021 7:53	11/30/2021 7:56	Shift 2	23515	Electrical Maintenance	2362	Entry and Exit Chocks-Electrical	0:02:23			11/30/2021		ajaraba	ajaraba	
11/30/2021 7:59	11/30/2021 8:06	Shift 2	23515	Electrical Maintenance	2362	Entry and Exit Chocks-Electrical	0:07:14			11/30/2021		ajaraba	ajaraba	
11/30/2021 8:10	11/30/2021 8:30	Shift 2	23515	Electrical Maintenance	2362	Entry and Exit Chocks-Electrical	0:20:25			11/30/2021		ajaraba	ajaraba	
11/30/2021 8:34	11/30/2021 9:12	Shift 2	23515	Electrical Maintenance	2362	Entry and Exit Chocks-Electrical	0:37:58			11/30/2021		ajaraba	ajaraba	
11/30/2021 22:43	11/30/2021 23:03	Shift 1	23522	Electrical Maintenance	232602	Conveyor Fail To Start	0:19:57			11/30/2021		jpadilla		
12/1/2021 3:11	12/1/2021 3:18	Shift 1	23523	Electrical Maintenance	2349	Others-Electrical	0:07:22			12/1/2021	el tren no llega a su recorrido completo	jpadilla	jpadilla	
12/1/2021 3:18	12/1/2021 3:20	Shift 1	23523	Electrical Maintenance	2349	Others-Electrical	0:01:42			12/1/2021	el tren no llega a su recorrido completo	jpadilla	jpadilla	
12/1/2021 3:24	12/1/2021 3:25	Shift 1	23523	Electrical Maintenance	2349	Others-Electrical	0:01:07			12/1/2021	el tren no llega a su recorrido completo	jpadilla	jpadilla	
12/1/2021 3:28	12/1/2021 3:51	Shift 1	23523	Electrical Maintenance	2349	Others-Electrical	0:22:23			12/1/2021	el tren no llega a su recorrido completo	jpadilla	jpadilla	
12/1/2021 4:13	12/1/2021 4:28	Shift 1	23523	Electrical Maintenance	2349	Others-Electrical	0:15:29			12/1/2021	el tren no llega a su recorrido completo	jpadilla	jpadilla	
12/1/2021 18:48	12/1/2021 19:07	Shift 1	62581	Electrical Maintenance	236504	Dumper Fail To Dump Or Return	0:19:22			12/2/2021	Dumper # 1 No Seated	wduran	wduran	
12/1/2021 22:18	12/1/2021 22:29	Shift 1	23531	Electrical Maintenance	2349	Others-Electrical	0:11:10			12/2/2021	Indexer no llego a su posicion, la rueda quedo arriba de	wduran	wduran	
12/11/2021 5:56	12/11/2021 6:12	Shift 2	23596	Electrical Maintenance	236403	Indexer Overtravel	0:15:39			12/11/2021	EL INDEXER NO LLEGO A SU RECORRIDO COMPLETO	jpadilla	jpadilla	
12/11/2021 10:23	12/11/2021 11:48	Shift 2	23597	Electrical Maintenance	2335	Energy Supply	1:24:46			12/11/2021		jpadilla	jpadilla	
12/11/2021 11:48	12/11/2021 12:13	Shift 2	23597	Electrical Maintenance	236503	Dumper Overtravel	0:24:52			12/11/2021	PROBLEMA DUMPER # 1	jpadilla	jpadilla	
12/11/2021 12:55	12/11/2021 13:01	Shift 2	23598	Electrical Maintenance	236412	Indexer Interlock	0:05:18			12/11/2021	BRAZO FUERA DE POSICION	jpadilla	jpadilla	
12/11/2021 21:02	12/11/2021 21:05	Shift 1	180006	Electrical Maintenance	2349	Others-Electrical	0:03:03			12/12/2021	REFERENCIA DE NUMRO DE MINA CNR COD 3	ycontreras	ycontreras	
12/12/2021 18:39	12/12/2021 18:44	Shift 1	23606	Electrical Maintenance	2349	Others-Electrical	0:05:03			12/13/2021	BRAZO MONTADO EN LA MONONERA SOLTO FRENOS	ycontreras	ycontreras	
12/16/2021 18:52	12/16/2021 18:52	Shift 1	62633	Electrical Maintenance	2349	Others-Electrical	0:00:05			12/17/2021	PROBLEMAS CON EL SERVIDOR T. 4	ycontreras	ycontreras	
12/16/2021 18:52	12/16/2021 18:54	Shift 1	62633	Electrical Maintenance	2349	Others-Electrical	0:01:38			12/17/2021		ycontreras	ycontreras	
12/16/2021 18:54	12/16/2021 19:12	Shift 1	62633	Electrical Maintenance	2349	Others-Electrical	0:18:22			12/17/2021		ycontreras		
12/16/2021 19:13	12/16/2021 19:15	Shift 1	62633	Electrical Maintenance	2349	Others-Electrical	0:01:41			12/17/2021	PROBLEMAS CON EL SERVIDOR T. 4	ycontreras	ycontreras	
12/16/2021 23:14	12/16/2021 23:24	Shift 1	23632	Electrical Maintenance	236410	Indexer Comm Fault	0:10:02			12/17/2021	CAMBIO DE SENSOR INDEX	ycontreras	ycontreras	
12/22/2021 6:44	12/22/2021 7:11	Shift 2	62655	Electrical Maintenance	232609	Conveyor Pulldcord	0:26:46			12/22/2021	CAMBIO C14	jrincon	ycontreras	
12/28/2021 17:44	12/28/2021 18:04	Shift 1	23729	Electrical Maintenance	2349	Others-Electrical	0:19:47			12/29/2021	FALLA DEL SERVISOR NO REGISTRO 30 MIN 17:14-A	jrincon	jrincon	

ANEXO 2. DIAGRAMA UNIFILAR DEL INDEXER

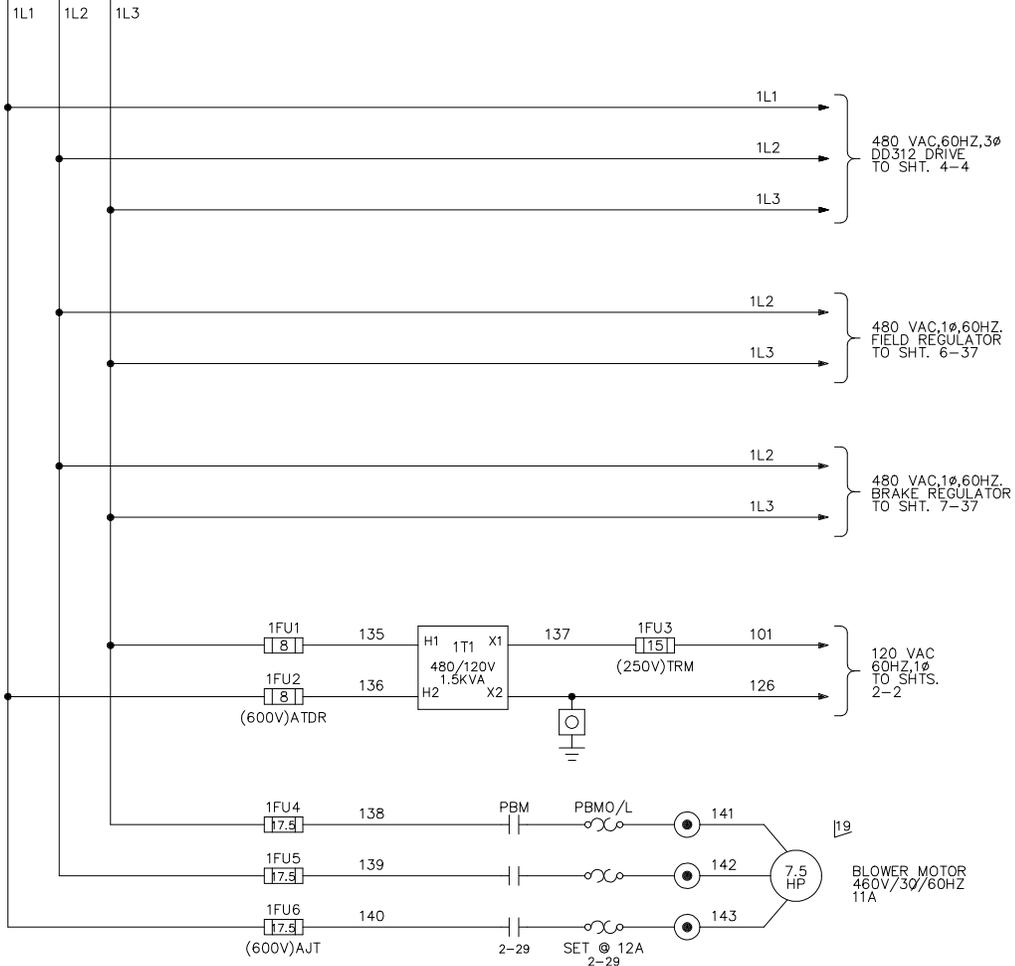
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56

CUSTOMER SUPPLY
480V, 60HZ, 3 ϕ
FROM ISOLATION XFMR.



1CB1
DOOR INTL'K
1200A
I.C.=65KA @ 480VAC

SPARE
KEEP OFF ALL TIME



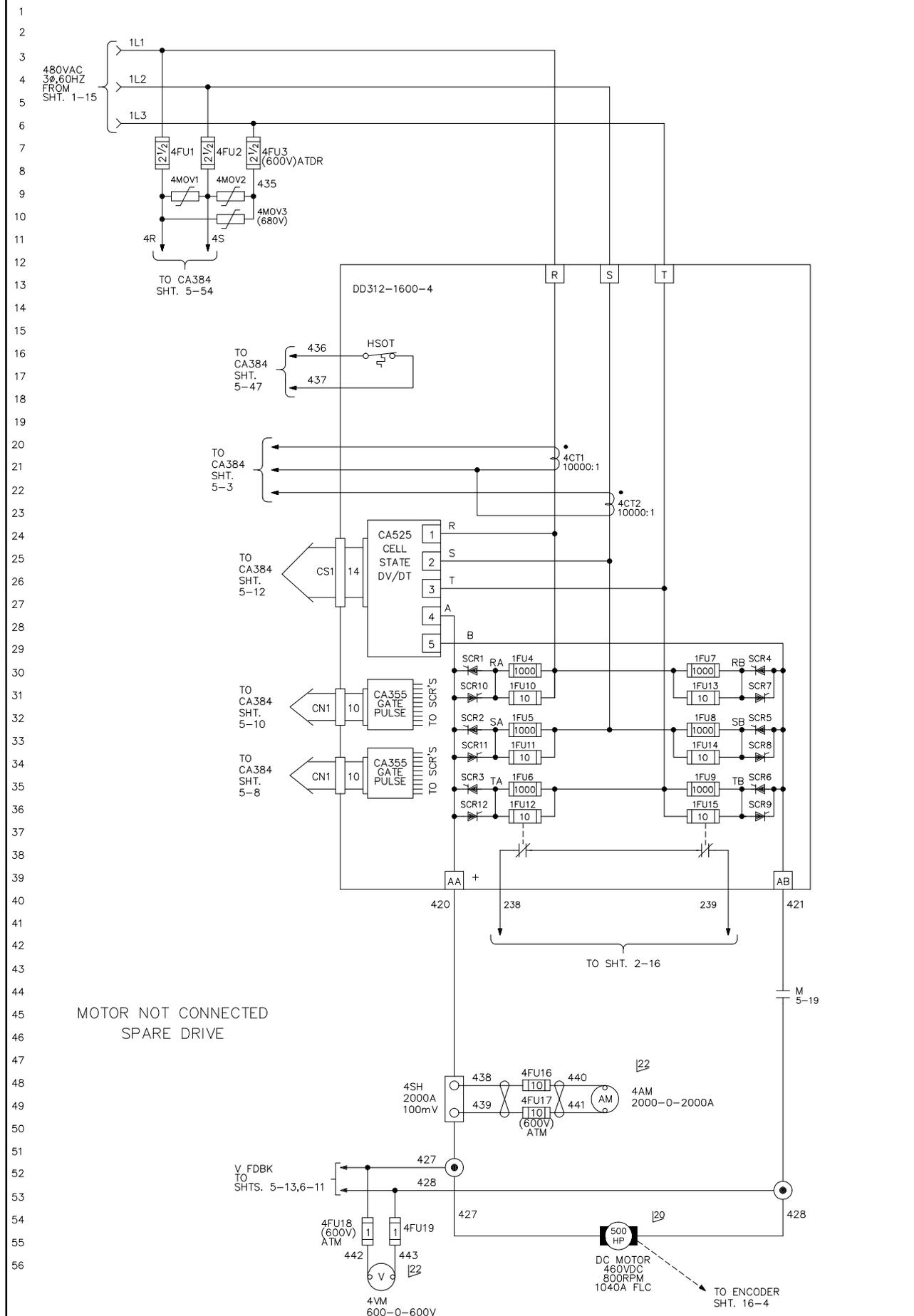
1	REVISED ON SITE	SEPT. 05/14	JU
REV	DESCRIPTION	DATE	BY
TITLE POSITIONER POWER DISTRIBUTION		ENG BY: D.K.	
		DRAWN BY: D.K.	
		DATE: MAR. 09/13	



MASTER 1
CUSTOMER: HEYL & PATTERSON INC.
DRUMMOND LTD. COLUMBIA S.A.
JOB NUMBER: E0029

SHEET	1
NEXT SHEET	2

ANEXO 3. PLANO VARIADOR DE VELOCIDAD DD312-1600-4



MOTOR NOT CONNECTED
SPARE DRIVE

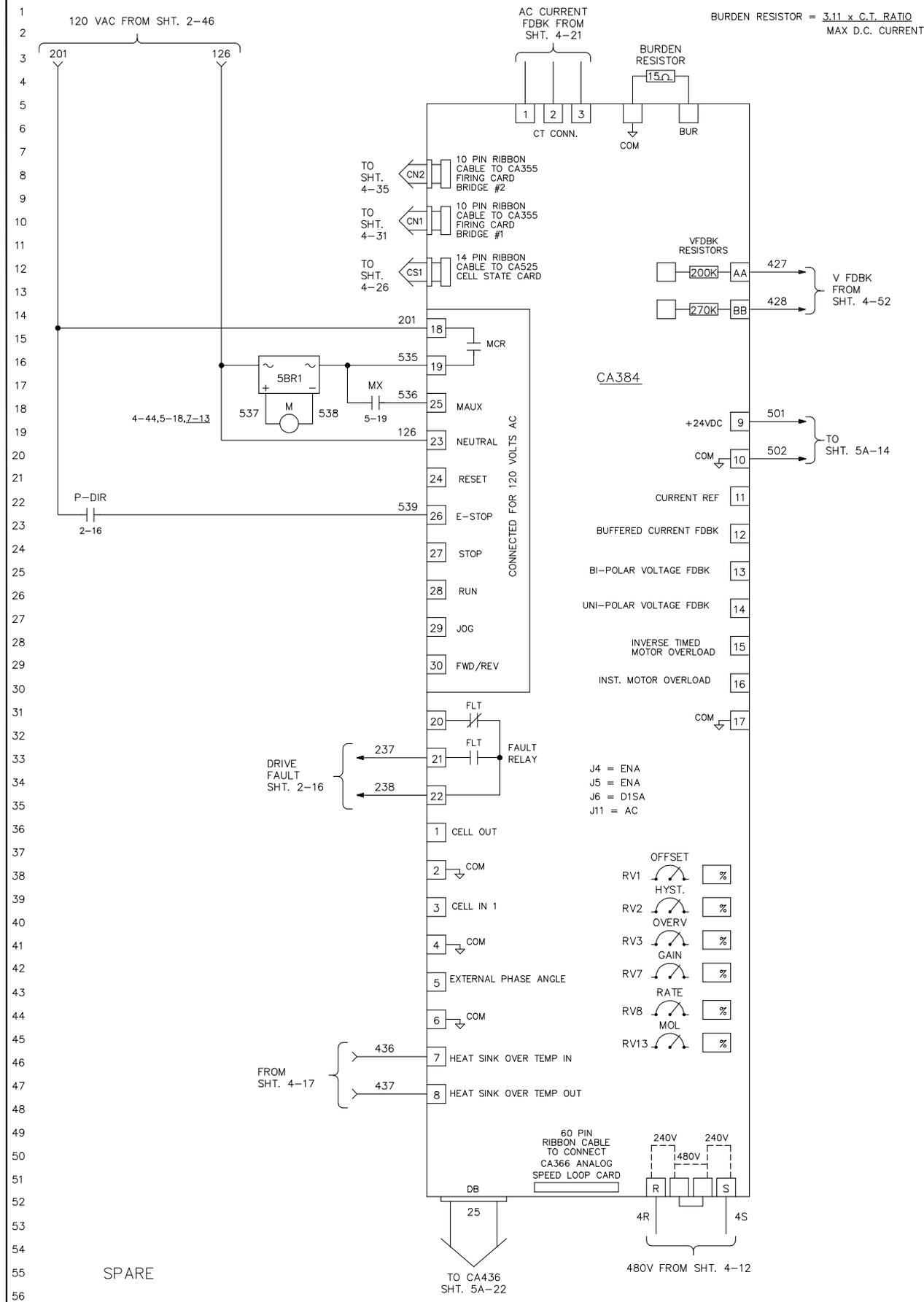
LAST WIRE NO. USED 443

1	REVISED ON SITE	SEPT. 05/14	JU
REV	DESCRIPTION	DATE	BY
TITLE	POSITIONER DD312-1600-4 DRIVE		
ENG BY:	D.K.		
DRAWN BY:	D.K.		
DATE:	MAR. 09/13		



MASTER 1	CUSTOMER:	HEYL & PATTERSON INC. DRUMMOND LTD. COLUMBIA S.A.
	JOB NUMBER:	E0029
	SHEET	4
	NEXT SHEET	5

ANEXO 4. PLANO REGULADOR DE CORRIENTE



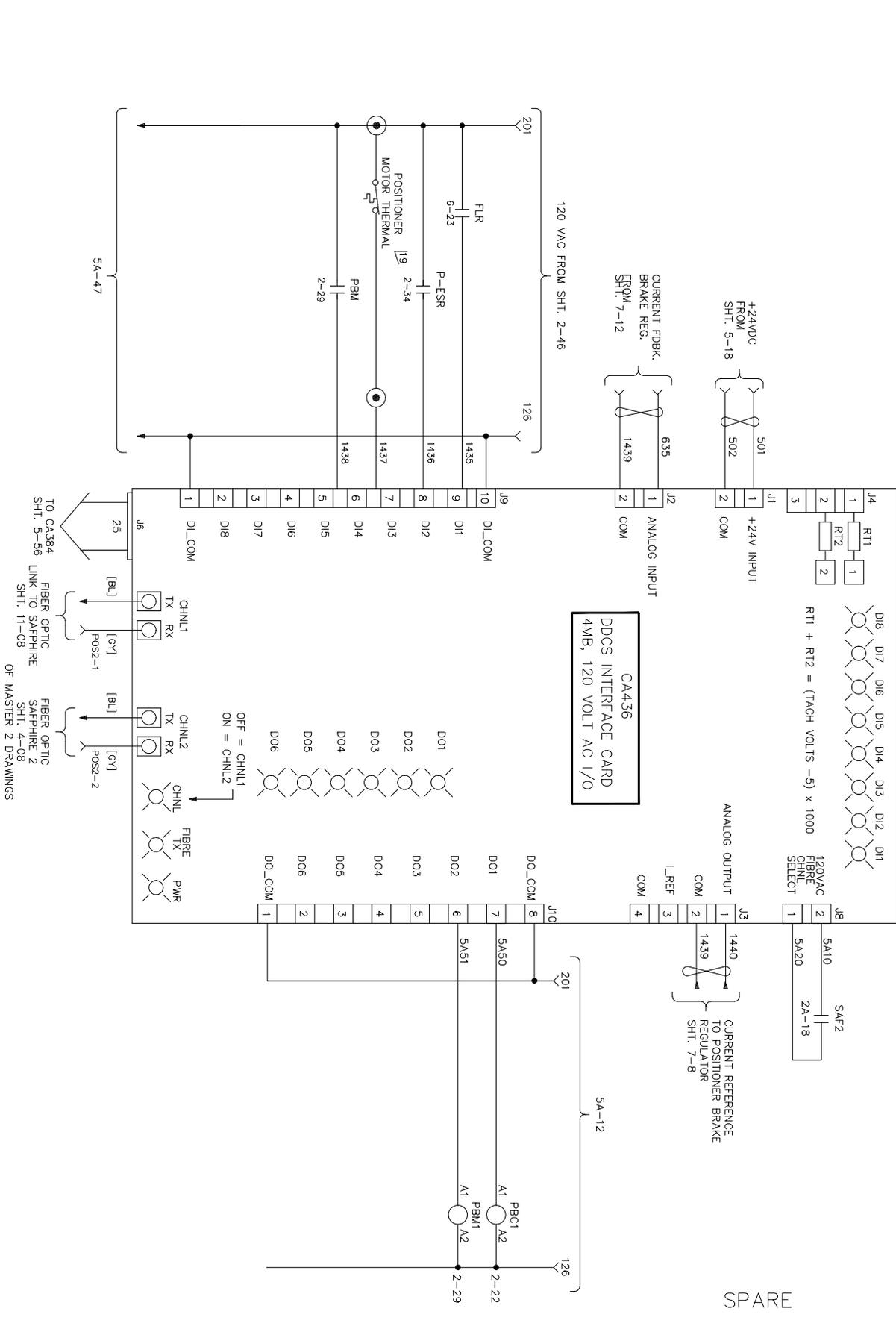
LAST WIRE NO. USED 539

1	REVISED ON SITE	SEPT. 05/14	JU
REV	DESCRIPTION	DATE	BY
TITLE		ENG BY: D.K.	
POSITIONER DRIVE CURRENT REGULATOR		DRAWN BY: D.K.	
		DATE: MAR. 09/13	



MASTER 1		CUSTOMER:	SHEET
		HEYL & PATTERSON INC.	5
		DRUMMOND LTD. COLUMBIA S.A.	NEXT SHEET
		JOB NUMBER: E0029	5A

1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56



SPARE

1	REVISED ON SITE	SEPT. 05/14	JU		
REV	DESCRIPTION	DATE	BY		
TITLE DDCC INTERFACE		ENG BY: D.B.		MASTER 1	
		DRAWN BY: D.B.		CUSTOMER: HEYL & PATTERSON INC. DRUMMOND LTD. COLUMBIA S.A.	
		DATE: MAR. 19/13		JOB NUMBER:	
				SHEET 5A	
				NEXT SHEET 6	



ANEXO 5. PLANO PORPUESTO VARIADOR SINAMICS

INDEXER QUAD SINAMICS DRIVE 6RA

