



UNIVERSIDAD
DE ATACAMA

FACULTAD DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE TECNOLGIA DE LA ENERGÍA

**MEJORA DE TARGET PARA CAMBIO DE CABLES DE LEVANTE EN PALAS
P&H 4100 XPC-AC**

Trabajo de titulación presentado en conformidad a los requisitos para obtener el título de
ingeniero de ejecución en mantención industrial

Profesor guía: Osvaldo Durán Artiga

Mauricio Andrés Zapata Pallero

Copiapó, Chile 2023

INDICE DE CONTENIDO

	Página
RESUMEN.....	1
ABSTRACT.....	2
INTRODUCCION.....	3
CAPITULO I EXTRACCION DE MINERAL A CIELO ABIERTO.....	4
1.1 Proceso de extracción.....	4
1.1.1 Proceso de fragmentación.....	4
1.1.2 Proceso de carguío y traslado.....	5
1.2 Equipos de carguío.....	5
1.2.1 Cargadores.....	5
1.2.2 Palas.....	6
CAPITULO II PALA ELECTRICA P&H 4100 XPC-AC.....	8
2.1 Generalidades de palas eléctricas P&H.....	8
2.1.1 Infraestructura.....	9
2.1.2 Superestructura.....	9
2.1.3 Estructura de operación.....	9
2.1.4 Principales movimientos del equipo.....	9
2.2 Principales sistemas de la pala P&H.....	10
2.2.1 Sistema eléctrico.....	10
2.2.2 Sistema de levante.....	10
2.2.3 Sistema de empuje.....	11
2.2.4 Sistema de giro.....	12
2.2.5 Sistema de propulsión.....	13
2.2.6 Sistema de aire.....	14
2.2.7 Sistema de lubricación automática.....	15
2.2.8 Sistema de freno.....	16
2.3 Principales componentes exteriores de la pala P&H.....	17
2.3.1 Aro balde.....	17
2.3.2 Punta pluma.....	18
2.3.3 Polea punta pluma.....	18

2.3.4 Carrocería.....	19
2.3.5 Oruga.....	19
2.3.6 Cucharón o balde.....	20
2.3.7 Mango.....	20
2.4 Ventajas y desventajas de la pala de cable.....	21
2.4.1 Ventajas.....	21
2.4.2 Desventajas.....	21
CAPITULO III CABLES DE LEVANTE.....	22
3.1 Generalidades del cable acero.....	22
3.1.1 Partes del cable de acero.....	22
3.1.2 Clasificación de alambres.....	23
3.1.3 Arrollamientos.....	24
3.1.4 Clasificación de torones.....	25
3.1.5 Tipos de alambres utilizados en cables de acero.....	27
3.1.6 Cable minero.....	29
3.2 Fallas o condiciones más comunes en cables de acero.....	29
3.2.1 Desgaste por uso.....	29
3.2.2 Falla por fatiga.....	30
3.2.3 Desgaste en torones adyacentes.....	30
3.2.4 Daño en poleas.....	30
3.2.5 Fallas internas.....	31
3.2.6 Daño por rotación.....	31
3.2.7 Falla por golpes.....	32
3.2.7 Falla por torsión.....	32
3.3 Manejo del cable de acero.....	32
CAPITULO IV DESCRIPCION DEL PROBLEMA.....	34
4.1 Condición actual en terreno.....	34
4.2 Criterios para cambio de cables.....	34
4.3 Historial de cambios de cable.....	34
4.4 Indicadores de mantenimiento y confiabilidad (KPI).....	36
4.5 Efectos en la disponibilidad.....	37

4.6 Estadísticas.....	38
4.6.1 Historial cambios de cable de levante entre 2014 y 2015.	38
4.7 Calculo de indicadores de gestión.....	38
4.7.1 Calculo de probabilidad de falla acumulada.	38
4.7.2 Calculo de confiabilidad.	39
4.7.3 Ecuación de la recta.....	39
4.7.4 Tabla de cálculo de indicadores.	39
4.7.5 Calculo de constantes y MTBF.....	40
4.8 Calculo de costos.....	41
4.8.1 Costo preventivo.	41
4.8.2 Costo correctivo.	41
4.9 Calculo de indicadores a edad constante.	42
4.9.1 Calculo de confiabilidad.	42
4.9.2 Calculo de probabilidad acumulada de falla.....	42
4.9.3 Calculo de MTBF (t).	42
4.9.4 Calculo ecuación de costo.....	42
4.9.5 Tabla de edad constante.	43
5.2 Implementación.....	46
CONCLUSIÓN.....	49
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	49

INDICE DE FIGURAS

	Página
1.1 Cargador LeTourneau GENII.	6
1.2 Pala P&H 4100XPC-AC.....	7
1.3 Pala Komatsu PC 8000.	7
2.4 Secciones de la pala.	8
2.5 Transmisión de levante.	10
2.6 Sistema de empuje.....	11
2.7 Sistema de giro.	12
2.8 Sistema de propulsión.	13
2.9 Sistema de aire.	14
2.10 Sistema de lubricación automática.....	15
2.11 Sistema de freno.	16
2.12 Sistema aro balde.	17
2.13 Polea punta pluma.	18
2.14 Carrocería.	19
2.15 Conjunto de oruga.	19
2.16 Conjunto mango balde.	20
3.17 Composición básica cable de acero.	22
3.18 Tipos de arrollamientos o trenzados.	24
3.19 Torón de capa simple.	25
3.20 Torón Seale.	26
3.21 Torón Filler.	26
3.22 Torón Warrington.	27
3.23 Torón Warrington Seale.....	27
3.24 Cable de 8 torones compactados + plástico impregnado.	29
3.25 Desgaste normal en cables de acero.	29
3.26 Falla por fatiga.....	30
3.27 Desgaste adyacente.....	30
3.28 Desgaste por polea trancada.	31
3.29 Falla interna.....	31

3.30 Daño por rotación.....	31
3.31 Falla por golpe.....	32
3.32 Falla por torsión.	32
3.33 Manejo de cable de acero.....	33

INDICE DE GRAFICOS,

	Página
4.1 Distribución de atenciones en terreno.....	35
4.2 Grafica KPI año 2015.	36
4.3 Efectos en la disponibilidad mes de noviembre.	37
4.4 Ecuación de la recta.	40
4.5 Confiabilidad Vs Probabilidad acum. De falla.	45
4.5 Ecuación de costo vs Tonelaje.....	45

INDICE DE TABLAS.

	Página
4.1 Información técnica de cable de levante.....	34
4.2 Distribución de atención por cambio de cable.....	35
4.3 Cambio cables periodo entre 2014 y 2015.	38
4.4 Calculo de indicadores.	39
4.5 Constantes y MTBF.	40
4.6 Tablas de valores.....	41
4.7 Costos.....	42
4.8 Calculo edad constante.....	43
4.9 Propuesta de mantención.	45
4.10 Plan de acción.....	46

INDICE DE ECUACIONES

	Página
4.1 Probabilidad de falla acumulada	38
4.2 Calculo de Confiabilidad. $R(i)$	39
4.3 Ecuación de la recta.	39
4.4 MTBF.....	40
4.5 Costo preventivo.	41
4.6 Costo correctivo.	41
4.7 Confiabilidad $R(t)$	42
4.8 Probabilidad acumulada de falla (t).	42
4.9 Probabilidad acumulada de falla (t) (Alternativa).	42
4.10 MTBF (t).	42
4.11 Ecuación de costo.....	42

RESUMEN

En este documento, se presenta un análisis de cambio de cables en palas 4100 XPC-AC, utilizadas en la gran minería para extracción de minerales.

En este equipo hay dos componentes que se ven altamente afectados o desgastados durante la extracción de mineral, como son los elementos de desgastes instalados en el balde del equipo, los cuales están en contacto directo con el material extraído y en segunda parte se encuentran los cables de levante antes mencionados, que si bien no están en contacto directo con el material al estar encargados de levantar o hacer descender el balde en cada movimiento, estos presentan un desgaste diario apreciable a simple vista, que al igual que los elementos del balde, presentan un deterioro más rápido que los demás componentes del equipo.

Este estudio busca analizar los programas actuales de cambio de cables de levante, mejorar su target y generar un nuevo plan mejorado. Para lograr esto se ha recopilado la información de 2 años de trabajo durante los cuales estos equipos han utilizado cierta marca de cables.

Se ha trabajado en base a análisis de tasa de falla, disponibilidad, MTBF(tiempo medio entre cada falla), MTTR (tiempo medio para reparar), distribución Weibull, Confiabilidad y cálculo de costo de mantenimiento, para poder determinar cuál es el target más efectivo para efectuar el cambio de cable, siendo el nuevo target de 2.800.000 Tn. versus las 3.200.000 Tn. con el que se ejecutaba el cambio anteriormente, en base estos nuevos datos se ha ideado un plan con el fin de mejorar el criterio las inspecciones y el cuidado que se debe tener al operar o manipular el cable de levante.

ABSTRACT

In this document, an analysis of the change of cables in 4100 XPC-AC shovels, used in large-scale mining for mineral extraction, is presented.

In this equipment there are two components that are highly affected or worn during mineral extraction, such as the wear elements installed in the equipment bucket, which are in direct contact with the extracted material and in the second part are the cables. of lifting mentioned above, that although they are not in direct contact with the material as they are in charge of lifting or lowering the bucket in each movement, they present a noticeable daily wear at first glance, which, like the elements of the bucket, present deteriorate faster than the other components of the equipment.

This study seeks to analyze current hoist rope change programs, improve their targeting, and generate a new, improved plan. To achieve this, the information of 2 years of work during which these teams have used a certain brand of cables has been compiled.

Work has been done based on analysis of failure rate, availability, MTBF (mean time between each failure), MTTR (mean time to repair), Weibull distribution, Reliability and maintenance cost calculation, in order to determine which is the most suitable target. cash to make the change of cable, being the new target of 2,800,000 Tn. versus 3,200,000 tons. With which the change was made previously, based on these new data, a plan has been devised in order to improve the inspection criteria and the care that must be taken when operating or manipulating the lifting cable.

INTRODUCCION.

Los equipos de extracción son una de las herramientas fundamentales para lograr los objetivos económicos de una compañía minera, entre ellos encontramos equipos de desarrollo, perforación, carguío y traslado. Ninguno de estos, por si solos, pueden lograr cubrir el proceso minero completo, por lo que es fundamental que estén todos estos presentes y operativos con tal de completar el ciclo.

Un factor importante que se debe considerar es la disponibilidad de estos equipos dentro del proceso, ya que si uno o varios de ellos no está en condiciones de operar el ciclo se ve afectado, retrasado o en su defecto paralizado, es por ello la importancia de realizar un análisis con tal de evitar detenciones imprevistas que ocasionen la interrupción del proceso y por ende perdidas económicas a la compañía.

En base a esto se han generado a lo largo del tiempo distintos modelos de mantención para controlar las detenciones imprevistas, con intervenciones cíclicas programadas o reparaciones programadas, con tal de minimizar las atenciones con tiempo perdido. A pesar de este esfuerzo siguen apareciendo situaciones en las que obligadamente los equipos deben ser detenidos fuera de cualquier programación, ya sea por una mala mantención, mala operación, mala gestión, etc.

En esta ocasión se analizará uno de estos casos, donde en esta oportunidad es un equipo de carguío el que está siendo afectado por continuas detenciones imprevistas, las cuales podrían ser evitadas si se fueran más riguroso a la hora de ejecutar su plan de mantención programado.

El objetivo de este estudio es poder calcular o determinar una mejora respecto al tiempo o en este caso en el tonelaje con el que se está realizando el cambio de cables de levante en las palas eléctricas, considerando el uso la distribución Weibull para analizar el historial de intervenciones y cálculo de edad constante, para determinar una mejorar en el target de cambio, y en base a este resultado idear un plan de mejora para el cuidado del cable durante su vida útil, la manipulación de este y las competencias de los mantenedores a la hora de realizar una inspección o directamente un cambio de cable, con el fin de evitar detenciones imprevistas que conllevan una mayor cantidad de horas de detención y afectan directamente la disponibilidad del equipo.

CAPITULO 1

EXTRACCION DE MINERAL A CIELO ABIERTO.

1.1. Proceso de extracción de mineral.

El objetivo de este proceso es extraer la porción mineralizada y otros elementos desde el macizo rocoso de la mina y enviarla a la planta , en forma eficiente y segura, para ser sometida al proceso metalúrgico para obtener un producto final. Para ello debe fragmentarse la roca, de manera que pueda ser removida de su posición original, o in situ, y luego cargarla y transportarla para su proceso o depósito fuera de la mina como material suelto a una granulometría manejable.

1.1.1 Proceso de fragmentación.

El proceso de fragmentación del mineral se lleva a cabo mediante la perforación del macizo rocoso utilizando perforadoras, estas pueden ser diésel o eléctricas. Las perforaciones deben realizarse a distancias regulares entre sí, generalmente entre 8 y 12 m (malla de perforación), de manera que atraviesen toda la altura del banco para que, al introducirse los explosivos, la detonación permita fragmentar la roca.

En cada perforación se introducen explosivos, los cuales cuentan, generalmente, con un detonador de encendido eléctrico, el que se acciona mediante control remoto. Se establece una secuencia de detonación entre los distintos hoyos de una tronadura, de manera que la roca sea fragmentada en etapas partiendo de la cara expuesta del banco hacia adentro, con diferencias de tiempo de fracciones de segundo entre cada detonación.

El producto obtenido es la roca mineralizada fragmentada de un tamaño suficientemente pequeño (en general menor que 1 m de diámetro), para ser cargada y transportada por los equipos mineros y alimentar al chancador primario, en donde se inicia el proceso de reducción de tamaño en un sistema en línea hasta llegar a la planta de tratamiento.

1.1.2. Proceso de carguío y traslado.

El material tronado es cargado en camiones de gran tonelaje mediante gigantescas palas eléctricas, Hidráulicas o cargadores frontales. Estos equipos llenan los camiones en una operación continuada desde que queda disponible el banco después de la tronadura.

Las palas eléctricas tienen capacidad para cargar 70 o 100 toneladas de material de una vez, por lo que realizan tres movimientos o pases para cargar un camión. Los cargadores tienen menor capacidad y en minas de gran tamaño son utilizados sólo para trabajos especiales.

Una pala necesita un frente de carguío mínimo de 65 m de ancho y carga camiones que se van colocando alternativamente a cada lado de ella.

Para el transporte del material mineralizado y el material estéril, se utilizan camiones de gran tonelaje, por ejemplo 240 o 300 toneladas. Éstos transportan el material desde el frente de carguío a sus diferentes destinos: el mineral con ley al chancador primario, el material estéril a botaderos y el mineral de baja ley a botaderos especiales

1.2 Equipos de carguío.

Como ya hemos mencionado, el carguío dentro de la mina se realiza mediante el uso de palas y cargadores de gran envergadura, pasaremos a realizar una descripción breve de cada uno de estos.

1.2.1. Cargadores

Son Equipos de carga frontal, que se movilizan sobre ruedas los cuales poseen una articulación central que los hace más ágiles que las palas, aunque de menor capacidad de carga (72.574 Kg), estos equipos si bien cumplen con el proceso de cargar el mineral a los camiones, generalmente son equipos que se mantiene realizando otras labores de carguío dentro de la mina o directamente en reserva, pero al momento de fallar una pala, estos deben tomar rápidamente las funciones de esta, con el fin de mantener la continuidad operacional dentro de la mina, una vez que la pala está en condiciones de retomar sus funciones, el cargador vuelve a las suyas o pasa a reserva.

Figura N° 1.1 Cargador LeTourneau GENII con capacidad de carga de hasta 72.5 ton.



Fuente: Fotografía propia.

1.2.2 Palas.

A diferencia de los cargadores frontales, las palas son equipos que se trasladan sobre un sistema de orugas y sus movimientos son más lentos, principalmente el de traslado, estos equipos poseen una gran capacidad de carga, se las puede encontrar electro/hidráulicas o completamente eléctricas, al tener una mayor capacidad de carga, sus ciclos de carguío son más cortos que los de un cargador, para poder operar estos equipos se requiere de operadores altamente capacitados.

Figura N° 1.2 Pala P&H 4100XPC-AC, con capacidad de carga de hasta 120 Ton.



Fuente: Página oficial JoyGlobal.

Figura n° 1.3 Pala Komatsu PC 8000, con una capacidad de carga de hasta 67,2 ton.



Fuente: Página oficial Komatsu.

CAPITULO II

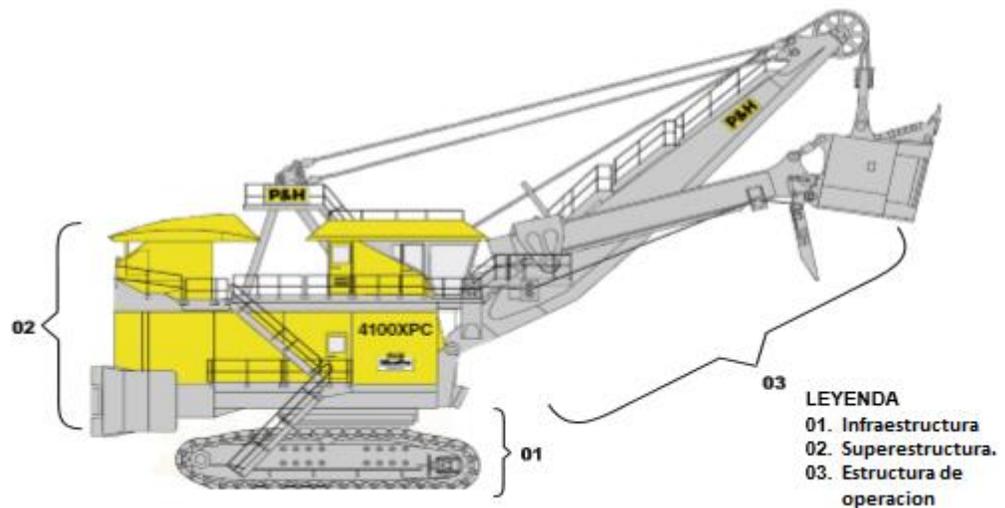
PALA ELECTRICA P&H 4100 XPC-AC

2.1. Generalidades pala eléctrica P&H.

La pala de cable es uno de los equipos más utilizados en faenas mineras a cielo abierto debido a la productividad que puede alcanzar en las operaciones de carga, respondiendo a la tendencia de las empresas mineras de mover una mayor cantidad de material. En general, las palas de cable son equipos de gran envergadura, que alcanzan elevadas producciones, con costos unitarios bajos y una alta disponibilidad mecánica.

Las palas de cable tienen tres secciones principales que son la Infraestructura que es todo el sistema de rodado del equipo, la superestructura donde va montado el sistema de giro y levante del equipo y la estructura de operación donde se encuentra el sistema de empuje y parte de levante del equipo.

Figura N° 2.4 Secciones de la pala.



Fuente: Manual de pala P&H 4100 XPC -AC

2.1.1 Infra estructura.

- Tren de polines de giro
- Corono principal
- Pin central
- Carrocería
- Bastidores laterales de oruga
- Mecanismo de propulsión.

2.1.2 Superestructura.

- Tornamesa
- Sala de maquinas
- Cabina del operador
- Mecanismos de la sala de máquina.

2.1.3 Estructura de operación.

- Tapa de balde
- Balde
- Pluma
- Mango

2.1.4 Principales movimientos del equipo.

- Levante
- Giro
- Empuje
- Propulsión

2.2 Principales sistemas de la pala P&H

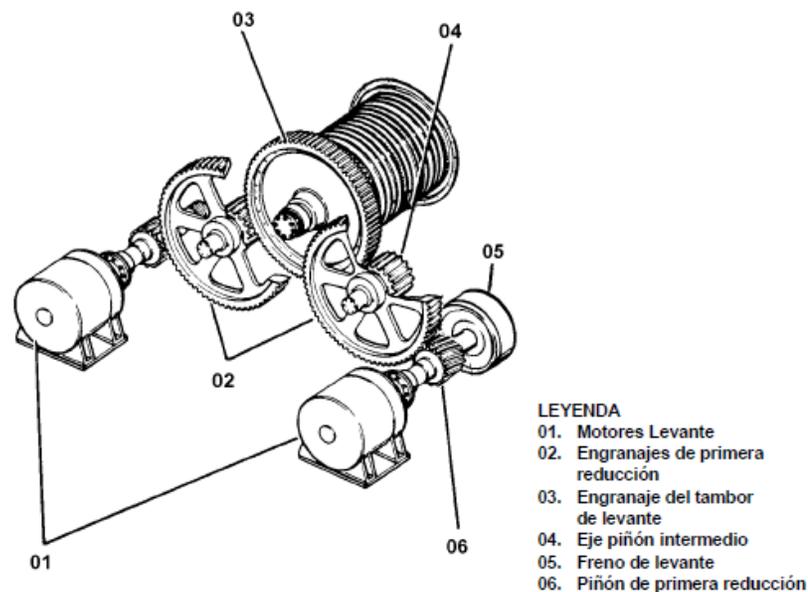
2.2.1 Sistema eléctrico.

El sistema de distribución de energía eléctrica de la mina suministra corriente a la pala a través del cable de cola, que se conecta en la parte trasera de la carrocería. La energía proveniente del cable de cola se transfiere al chasis superior a través de un sistema de colectores de alto voltaje ubicado en el chasis superior. El alto voltaje es transformado en niveles de trabajo y se utiliza para alimentar los sistemas eléctricos auxiliares y los sistemas eléctricos de control de la pala

2.2.2 Sistema de levante.

Dos motores de CA de respuesta rápida van montados en la parte frontal y trasera del lado izquierdo de la transmisión de levante. Cada motor se acopla a un eje de piñón de primera reducción de la transmisión de levante. El tambor de levante gira para enrollar o desenrollar los cables que van conectados al cucharón para proporcionar el movimiento de levante, este conjunto va montado en la superestructura del equipo.

Figura N° 2.5 Transmisión de levante



Fuente: Manual de pala P&H 4100 XPC –AC.

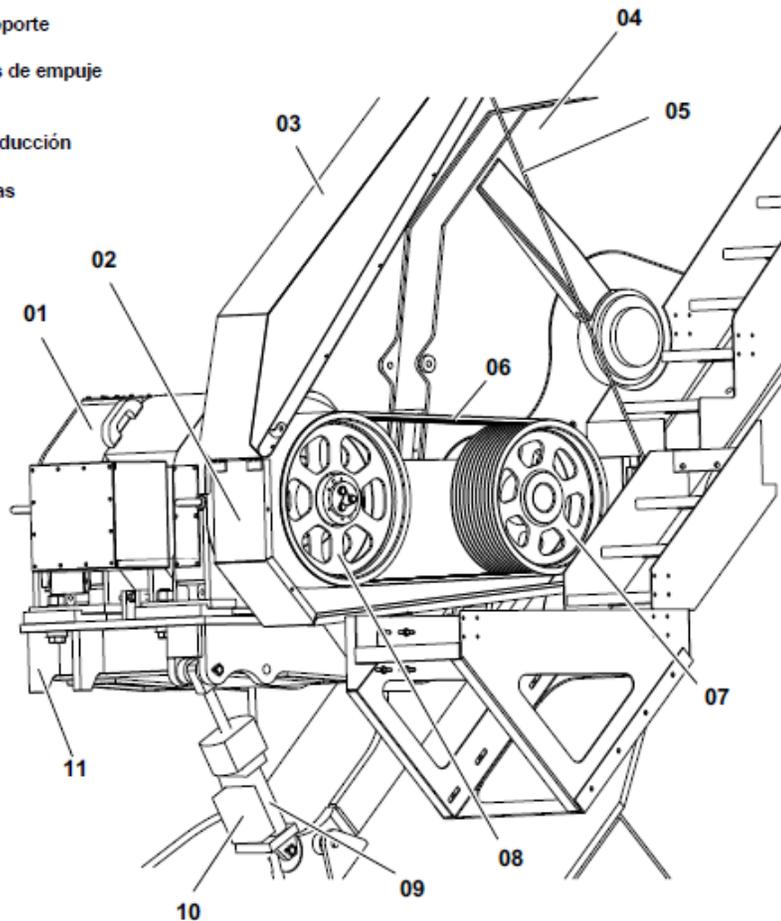
2.2.3 Sistema de empuje.

Un solo motor de CA va montado en la pluma con el mecanismo de empuje para accionar el sistema de empuje. El mecanismo de empuje se encuentra firmemente alojado sobre y dentro de la caja de engranajes de empuje que forma parte integral de la pluma. Un sistema de transmisión por correa proporciona protección contra choques y acopla el motor de empuje a la transmisión de empuje. La transmisión de empuje acciona el eje de transmisión. Cada extremo del eje de transmisión tiene un piñón que se engrana con la cremallera ubicada debajo del mango del cucharón para proporcionar el movimiento de empuje y retracción. Este conjunto va montado en la estructura de operación del equipo.

Figura N°2.6 Sistema de empuje

LEYENDA

- 01. Motor de empuje
- 02. Ubicación de la cadena de soporte
- 03. Tapa de la caja de correas
- 04. Tapa de la caja de engranajes de empuje
- 05. Barra de soporte
- 06. Power Band
- 07. Polea del eje de la primera reducción
- 08. Polea del motor
- 09. Cilindro de tensado de correas
- 10. Caja eléctrica
- 11. Base del motor

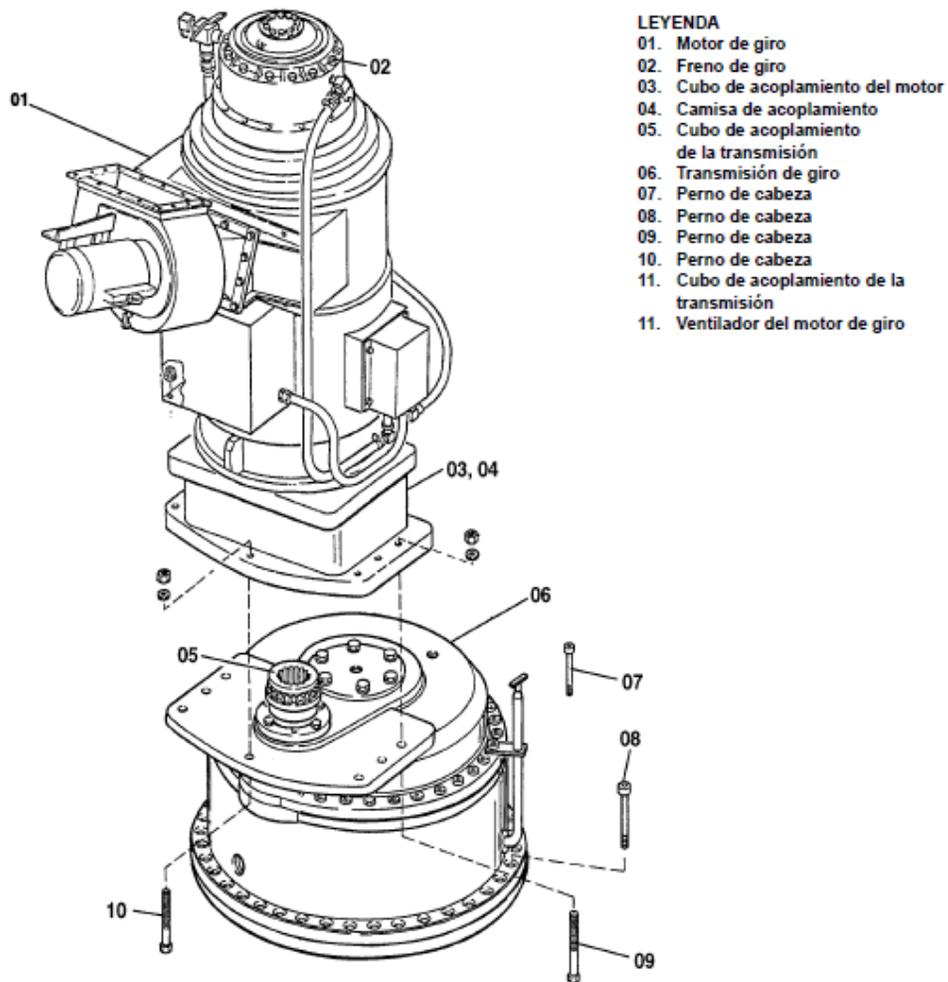


Fuente: Manual de pala P&H 4100 XPC -AC

2.2.4 Sistema de giro.

El sistema de giro utiliza tres transmisiones, dos al frente y una en la parte posterior de la tornamesa. Cada transmisión es accionada por un motor de CA de respuesta rápida montado verticalmente. Un eje de giro se extiende desde cada transmisión a través de la tornamesa. Un piñón, ubicado en el extremo inferior del eje de giro, se engrana con la corona de giro para proporcionar el movimiento de giro, este conjunto va montado en la superestructura del equipo.

Figura N°2.7 Sistema de giro

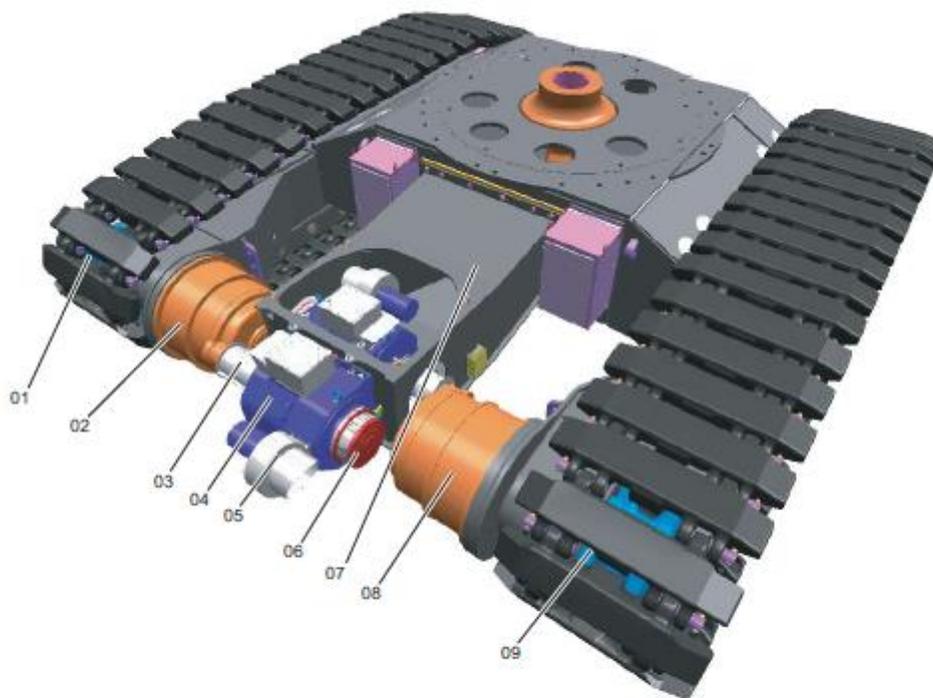


Fuente: Manual de pala P&H 4100 XPC –AC

2.2.5 Sistema de propulsión.

Dos mecanismos impulsores independientes proporcionan avance, retroceso y dirección diferencial suave. Cada mecanismo impulsor consta de un motor de CA, una transmisión planetaria, un conjunto de frenos, un eje de rueda propulsora, un bastidor lateral de oruga y un conjunto de oruga de rodamiento. Los motores van montados en una base acoplada a la carrocería de la pala. Las transmisiones van acopladas a los bastidores laterales de las orugas. Este conjunto va montado en la infraestructura del equipo.

Figura N°2.8 Sistema de propulsión.



LEYENDA

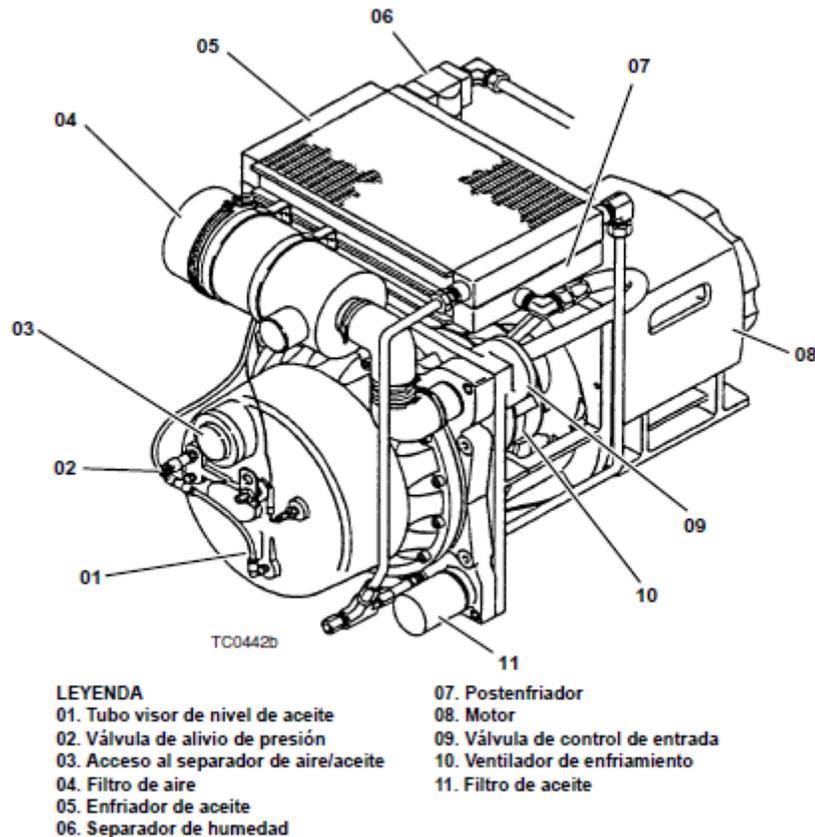
- | | |
|---|---|
| 01. Rueda propulsora izquierda | 05. Ventilador de motor de propulsión izquierdo |
| 02. Transmisión de propulsión izquierda | 06. Freno de propulsión izquierdo |
| 03. Acoplamiento de motor izquierdo | 07. Base de montaje del motor |
| 04. Motor de propulsión izquierdo | 08. Transmisión de propulsión derecha |
| | 09. Rueda propulsora derecha |

Fuente: Manual de pala P&H 4100 XPC –AC

2.2.6 Sistema de aire

Un compresor de aire accionado por un motor eléctrico proporciona aire comprimido para operar los frenos de movimiento, las bombas del sistema de lubricación automático, la bocina de aire, la escalera de acceso, el limpiaparabrisas y los ajustes para el asiento del operador. Este conjunto va montado en la superestructura del equipo.

Figura N°2.9 Sistema de aire.



Fuente: Manual de pala P&H 4100 XPC –AC

2.2.7 Sistema de lubricación automático.

Un sistema de lubricación automático centralizado proporciona las cantidades necesarias de lubricante en los puntos de lubricación de acuerdo con intervalos predeterminados, sin que sea necesario detener la pala.

Figura N°2.10 Sistema de lubricación automática.

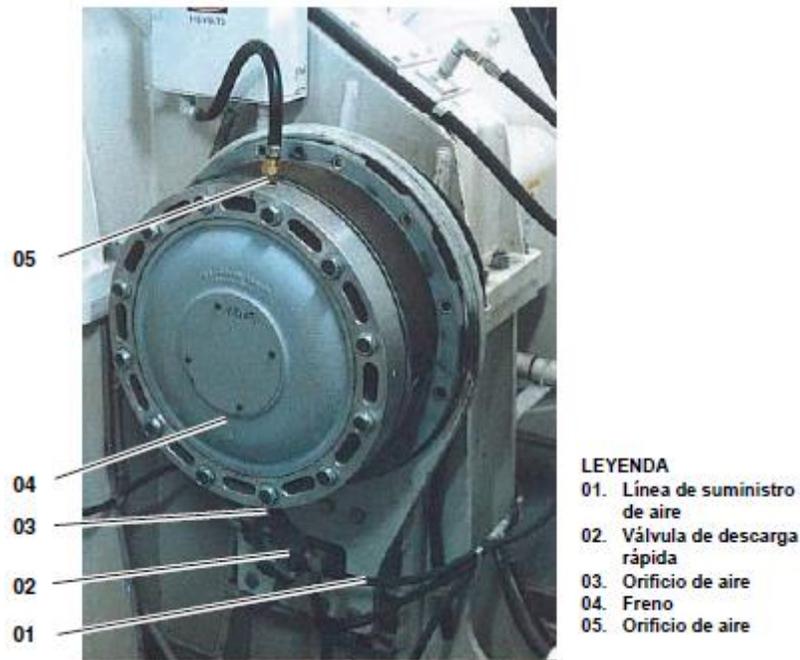


Fuente: Manual de pala P&H 4100 XPC –AC

2.2.8 Sistema de frenos.

Cada movimiento principal está equipado con frenos de discos de accionamiento por resorte y liberación neumática. El objetivo de estos sistemas de frenos es proporcionar una función de retención. Los frenos no se utilizan para una función de parada. Bajo una operación normal, el frenado dinámico es proporcionado por los controladores de joysticks, utilizando el sistema de control Centurion.

Figura N°2.11 Sistema de frenos.



Fuente: Manual de pala P&H 4100 XPC –AC

2.3 Principales componentes exteriores de la pala

2.3.1 Aro balde.

Es una horquilla o separador instalado con bisagras a ambos lados del cucharón por el cual se desliza también el cable de levante para hacer el trabajo de subir o bajar el balde.

Figura N°2.12 Sistema aro balde.



Fuente: Manual de pala P&H 4100 XPC –AC

2.3.2 Punta de la pluma

Extremo superior de la pluma en donde se sostiene la polea por donde transita el cable de levante.

Figura N°2.13 Polea punta pluma.



Fuente: Manual de pala P&H 4100 XPC –AC

2.3.3 Polea punta pluma

Bloque que guían y mantienen los cables de levante firmes en la punta de la pluma.

2.3.4 Carrocería

Base móvil donde va montado el chasis superior y los bastidores laterales

Figura N°2.14 Carrocería



Fuente: Manual de pala P&H 4100 XPC –AC

2.3.5 Orugas

Conjunto de bandas de rodamientos sobre las cuales la pala descansa y se desplaza.

Figura N°2.15 Conjunto de oruga.



Fuente: Manual de pala P&H 4100 XPC –AC

2.3.6 Cucharon o balde

Componente que va acoplado al mango y que es forzado dentro del material y luego levantado.

2.3.7 Mango

Está compuesto por dos ejes rectos que conectan el balde con la pluma. El mango se extiende o se retrae gracias a un mecanismo de cremallera y piñón, accionado por una transmisión modular que se encuentra apernada en el eje central de la pluma.

Figura N°2.16 Conjunto mango balde



Fuente: Manual de pala P&H 4100 XPC –AC

2.4 Ventajas y desventajas de la pala de cable

2.4.1 Ventajas.

- Pueden excavar a alturas sobre los 10 y 20 mts.
- Pueden descargar a alturas entre los 6 y 20 mts.
- Poseen un sistema de traslación sobre oruga y su accionamiento es eléctrico.
- Son máquinas pesadas y robustas, adecuadas para trabajar en cualquier tipo de material.
- Permiten el arranque directo del material compacto.
- Tienen alta fiabilidad, debido a un diseño ampliamente probado, con buena disponibilidad y utilización efectiva.
- Pueden remontar pendientes reducidas, pero no es recomendable que operen inclinadas debido a posibles problemas en su sistema de giro.
- Presentan buena estabilidad y suavidad en la operación.
- Presenta buen rendimiento, incluso en malas condiciones de piso, ya que opera sin desplazarse por él.
- Ofrece al operador una muy buena visibilidad durante la operación, además de condiciones de alta seguridad.
- Tiene una larga vida útil, estimada en más de 60.000 horas de operación.

2.4.2. Desventajas.

- No son adecuadas para cargas selectivas de material.
- Requiere de un equipo auxiliar que constantemente mejore la pila de material por cargar.
- Requiere operadores altamente capacitados.
- Pueden dificultar las labores de mantención debido a que estas se realizan en el mismo lugar donde opera el equipo.
- Por su alto precio, solo son consideradas en proyectos de gran escala y duración.

CAPITULO III

CABLES DE LEVANTE

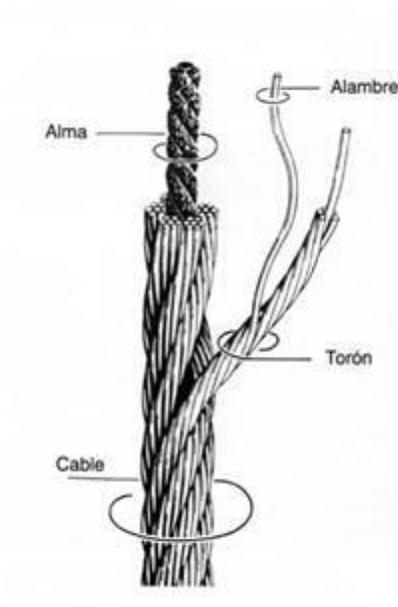
3.1 Generalidades del cable de levante

El Cable de levante estándar utilizado en las palas está hecho de acero, y está compuesto por un conjunto de alambres o hilos de acero los cuales transmiten fuerzas, movimientos y energía entre dos puntos, con el fin de soportar las cargas que se desplazan entre estos.

3.1.1. Partes del cable de acero.

El cable de acero está compuesto por tres partes, estas son: alambre, torón y alma.

Figura N°3.17 Composición básica cable de acero



Fuente: web Prodinsa

Alambre:

El Alambre de acero, es el componente básico del cable de acero. Este alambre se fabrica con acero de alto carbono teniendo distintos grados o calidades, los cuales dependen de los requerimientos finales del cable.

Torón:

Está formado por un número de alambres de acuerdo a su construcción, que son enrollados helicoidalmente alrededor de un centro, en una o varias capas.

Las principales construcciones de torones, se pueden clasificar en tres series:

Serie 7: Incluyen construcciones que tienen desde 3 a 14 alambres.

Serie 19: Incluyen construcciones que tienen desde 15 a 26 alambres.

Serie 37: Incluyen construcciones que tienen desde 27 a 49 alambres.

Alma:

Es el eje central del cable donde se enrollan los torones. Su función es servir como base del cable, conservando su redondez, soportando la presión de los torones y manteniendo las distancias o espacios correctos entre ellos.

3.1.2 Clasificación de alambre.

Los alambres para la producción de cables de acero se clasifican en: Tipos, Clases y Grados.

Tipos:

Según su recubrimiento y terminación serán de tres tipos:

- Tipo NB: Negro brillante.
- Tipo GT: Trefilados después de zincados.
- Tipo G : Zincados después de trefilados

Clases:

Según la cantidad de zinc por unidad de superficie serán de dos clases:

- Clase A: Zincado grueso, (pesado).
- Clase Z: Zincado liviano.

Grados:

- Según la calidad nominal del acero de sus alambres, se define por su resistencia nominal a la tracción, número de torsiones, doblados, adherencia del recubrimiento de zinc, uniformidad del recubrimiento de zinc y peso del recubrimiento de zinc se designarán por:

Tabla N°3.1 Grado alambre según tipo de acero.

	<i>NOMBRE COMÚN</i>	<i>RESISTENCIA NOMINAL A LA TRACCIÓN [Kg / mm²]</i>
<i>Grado 1</i>	Acero de tracción	120 - 140
<i>Grado 2</i>	Arado suave	140 - 160
<i>Grado 3</i>	Arado	160 - 180
<i>Grado 4</i>	Arado mejorado	180 - 210

Fuente: EMCOCABLES

3.1.3 Arrollamientos.

Teniendo en cuenta el sentido de los alambres en el cordón, y de los cordones en el cable, se pueden distinguir los siguientes tipos de cable:

- sZ Cruzado derecha: Los cordones se arrollan a derecha s y los alambres de cada cordón a izquierdas
- zZ Lang derecha: Los cordones se arrollan a derecha s y los alambres de cada cordón a derechas.
- zS Cruzado izquierda: Los cordones se arrollan a izquierdas y los alambres de cada cordón a derechas.
- sS Lang izquierda: Los cordones se arrollan a izquierda y los alambres de cada cordón a izquierdas.
- Existe además el arrollamiento alternado, con cordones alternativamente arrollados en el mismo sentido que los alambres y en sentido contrario.

Figura N°3.18 Tipos de arrollamientos o trenzados.





Fuente: web EMCOCABLES

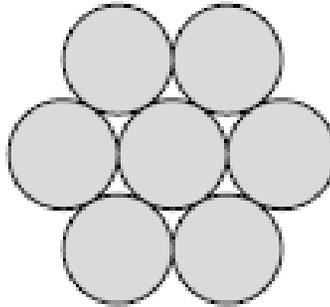
3.1.4. Clasificación de torones.

Los tipos de torones que componen un cable son:

- Torón común de capa simple.

El ejemplo más común de construcción de capa simple es el torón de siete alambres. Tiene un alambre central y seis alambres del mismo diámetro que lo rodean. La composición más común es $1+6=7$.

Figura N°3.19 Torón de capa simple.

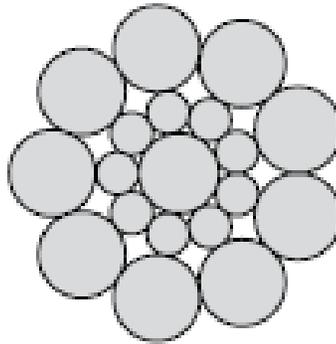


Fuente: web EMCOCABLES

- Torón Seale.

Construcción que en la última capa tiene los alambres de mayor diámetro que la capa interior, dándole al torón mayor resistencia a la abrasión. La composición más común es $1+9+9=19$.

Figura N°3.20 Torón Seale.

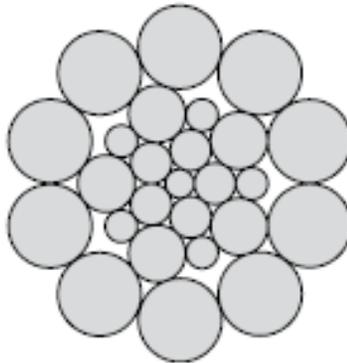


Fuente: web EMCOCABLES

- Torón Filler.

Se distingue por tener entre dos capas de alambres, otros hilos más finos que rellenan los espacios existentes entre las mismas. Este tipo de torón se utiliza cuando se requieren cables de mayor sección metálica y con buena resistencia al aplastamiento. La composición más común es: $1+6/6+12= 25$.

Figura N°3.21 Torón Filler.

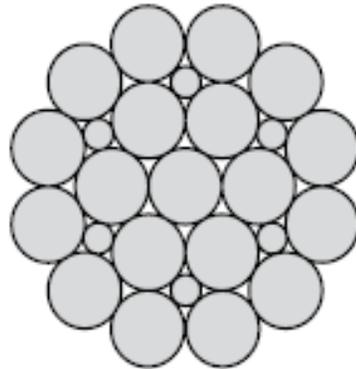


Fuente: web EMCOCABLES

- Torón Warrington.

Se caracteriza por tener una capa exterior formada por alambres de dos diámetros diferentes, alternando su posición dentro de la corona. El tipo de torón más usado es: $1+6+6/6= 19$.

Figura N°3.22 Torón Warrington.

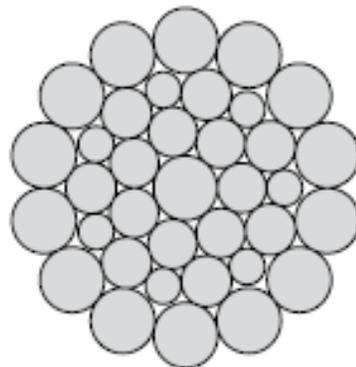


Fuente: web EMCOCABLES

- Torón Warrington Seale.

Es una combinación de las mencionadas anteriormente y conjuga las mejores características de ambas: la conjunción de alambres finos interiores aporta flexibilidad, mientras que la última capa de alambres relativamente gruesos, aportan resistencia a la abrasión. La construcción más usual es: $1+7+7/7+14 = 36$.

Figura N°3.23 Torón Warrington Seale.



Fuente: web EMCOCABLES

3.1.5 Tipos de alambres utilizados en cables de acero.

- Alambre brillante: La mayoría de los cables están hechos de alambres sin revestimiento (Brillantes), que se fabrican de acero de alto carbono. Los procesos químicos del acero utilizado y la práctica utilizada para trefilar el

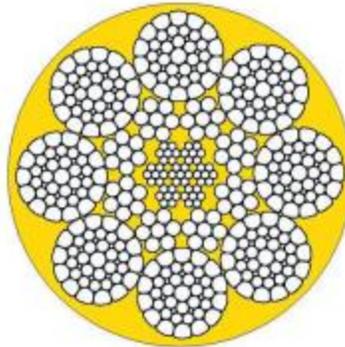
alambre son muy variados, para permitir en el cable terminado una combinación de resistencia a la tensión, a la fatiga y al desgaste.

- **Alambre galvanizado:** Utilizado con frecuencia para aumentar la resistencia a la corrosión de los cables de acero. Para el proceso de fabricación de este alambre, primero se trefila como alambre brillante a una medida predeterminada que es menor que la medida final requerida, luego este alambre es pasado por la línea de galvanizado y el revestimiento de zinc resultante aumenta el diámetro del alambre a la medida final. El alambre galvanizado a la medida final posee una resistencia menor en un 10% del alambre brillante a la misma medida y tipo. Por lo tanto los cables de este alambre poseen una resistencia nominal que es un 10% menor que el cable brillante del mismo grado y medida.
- **Alambre trefilado galvanizado:** Este alambre es galvanizado antes que se termine el trefilado a la medida final. Dado que el revestimiento de galvanización pasa por el proceso de trefilado, es mucho más fino que el revestimiento de alambre galvanizado a la medida final. Los alambres galvanizados trefilados a la medida final son iguales en resistencia a los de la misma medida y tipo de alambre brillante, y el cable de trefilado galvanizado es igual en resistencia al cable brillante de las mismas medidas y grado.
- **Alambre galvanizado de aviación:** Es un alambre galvanizado que posee más resistencia a la tensión y fatiga, se usa principalmente en los cables de control de los aviones.
- **Alambre de acero inoxidable:** Esta es una aleación especial que contiene aproximadamente 18% de Cromo y 8% de Niquel. Posee una elevada resistencia a muchas condiciones corrosivas y es extensamente utilizado en cables para yates y cables de control.

3.1.6 Cable minero (Cable de pala)

Estos cables para palas se fabrican con un proceso de recubrimiento mejorado que los hace más resistentes al desgaste externo del cable y ayuda a prolongar la vida útil de tambores y poleas, está fabricado por alambres de acero al carbono.

Figura N°3.24 Cable de 8 torones compactados + plástico impregnado



Fuente: web Prodinsa.

3.2 Fallas o condiciones más comunes en cables de acero.

3.2.1 Desgaste por uso:

En las siguientes imágenes se logra apreciar un cable arrollado Lang izquierdo (superior) y un cable arrollado regular derecho (inferior) que muestran un desgaste natural de la cima de sus alambres, notando que ambos no muestran rotura por fatiga.

Figura N°3.25 Desgaste normal en cables de acero

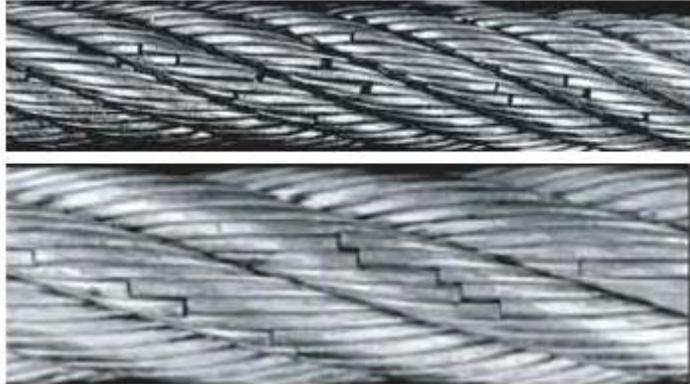


Fuente: web teoriadeconstruccion.

3.2.2 Falla por fatiga:

El desgaste por fatiga se manifiesta en cortes de alambres de los torones, podemos apreciar que en la primera foto se muestra desgaste y fatiga, mientras que la segunda solo muestra fatiga.

Figura N°3.26 Falla por fatiga



Fuente: web teoriadeconstruccion.

3.2.3 Desgaste en torones adyacentes:

Esto es un efecto visible cuando un cable está trabajando con una carga desigual, puede ser que el cable este siendo helado en uno de los torones o que presente una irregularidad en el alma.

Figura N°3.27 Desgaste adyacente.



Fuente: web teoriadeconstruccion.

3.2.4 Daño en poleas:

En esta ocasión podemos apreciar un cable antigiro que ha pasado por una polea trancada, manifestando que este ha rozado permanente mente por el borde de la polea.

Figura N°3.28 Desgaste por polea trancada



Fuente: web teoriadeconstruccion.

3.2.5 Fallas internas:

Esta falla se debe al trabajo continuo del cable y puede ser ocultada por la grasa o por las condiciones de operación del sistema de izamiento.

Figura N°3.29 Falla interna.



Fuente: web teoriadeconstruccion.

3.2.6 Daño por rotación:

Esta falla se debe a que el alma ha tenido movimiento en la parte interna del cable acumulando torsiones en el centro de este.

Figura N°3.30 Falla interna por rotación.

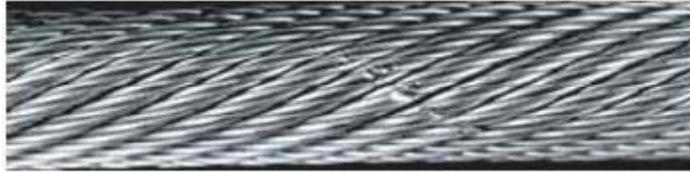


Fuente: web teoriadeconstruccion.

3.2.7 Falla por golpes:

Se logran apreciar torones dañados por haber sido golpeados con un borde afilado.

Figura N°3.31 Falla por golpe.



Fuente: web teoriadeconstruccion.

3.2.8 Falla por torsión:

Estas fallas son comunes por la descarga repentina del peso con el cual opera el cable.

Figura N°3.32 Falla por torsión.



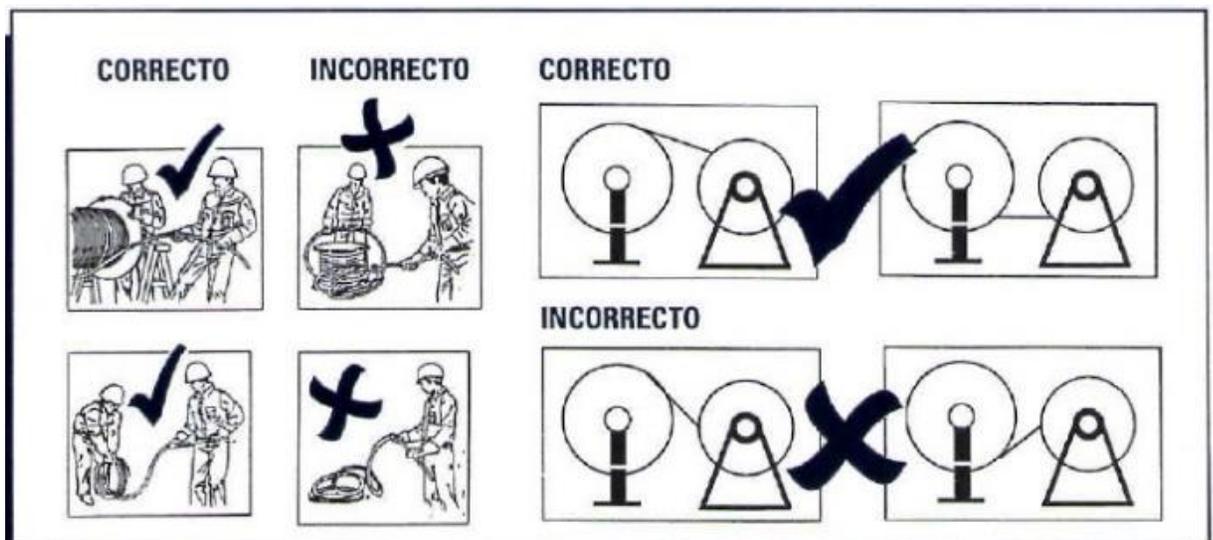
Fuente: web teoriadeconstruccion.

3.3 Manejo del cable de acero.

- Por lo general los cables deben suministrarse en carretes de madera, sin embargo los cables de pequeño diámetro, flexibles y de corta longitud pueden suministrarse en rollos. Es de suma importancia manejar el cable en forma correcta para evitar daños al mismo.
- Para extraer cable de un carrete es conveniente colocar una barra a través del centro de éste y levantarlo con gatos o bancos, de tal forma que gire libremente.
- Nunca debe permitirse que se formen “bucles” o “cocas” al enrollar o desenrollar un cable.

- Si el cable se maneja en rollos; una persona debe sujetar el extremo del cable, mientras que otro rueda el rollo sobre el piso, permitiendo que el cable se desenrolle en forma natural, evitando la formación de espiras.
- Evitar la formación de “cocas”, pues aunque el cable en apariencia se pudiera enderezar, pierde rendimiento.
- El cable deberá guardarse bajo techo y evitar el contacto con humedad o gases.
- Cuando se pasa de un carrete a otro, el cable deberá sacarse por arriba del carrete yendo a la parte de arriba del carrete vacío (nunca cruzado).
- Cuando se instale cable nuevo, se debe trabajarlo sin carga en un par de ocasiones para permitir que se "acomode".
- Las poleas por donde pasa el cable de acero, deberán estar debidamente calibradas al diámetro del cable y la ranura en perfecto estado.
- El diámetro correcto de un cable de acero está dado por el diámetro de la circunferencia circunscrita al mismo.

• Figura N°3.33 Manejo de cable de acero.



Fuente: web servicables.

CAPITULO IV

DESCRIPCION DEL PROBLEMA.

4.1 Condición actual en terreno.

Actualmente en faena Caserones se encuentran operando dos palas P&H modelo 4100 XPC-AC (Descrita anteriormente), las cuales utilizan para su sistema de levante dos cables de acero de las siguientes características:

Tabla N° 4.1 Información técnica de cable de levante.

Especificaciones cable pala 4100 XPC	
Diametro	2" 3/8
Largo total	376'
Construccion	8x37
Carga de ruptura	371 Tonf

Fuente: Web Prodinsa.

4.2 Criterio para cambio de cable.

Según el fabricante y de acuerdo a las especificaciones del cable, este deberá ser reemplazado cuando se detecten 4 alambre rotos en un mismo torón u 8 alambres rotos en varios torones, considerando una longitud de un paso del cable, pero como factor de seguridad se considera 3 alambres cortados en un mismo torón o 6 alambres rotos en varios torones, considerando una longitud de un paso del cable. Otro criterio para el remplazo del cable es la cantidad de tonelaje removido, siendo esta 3.800.000 Ton. o lo que se cumpla primero.

4.3 Historial de cambio de cable.

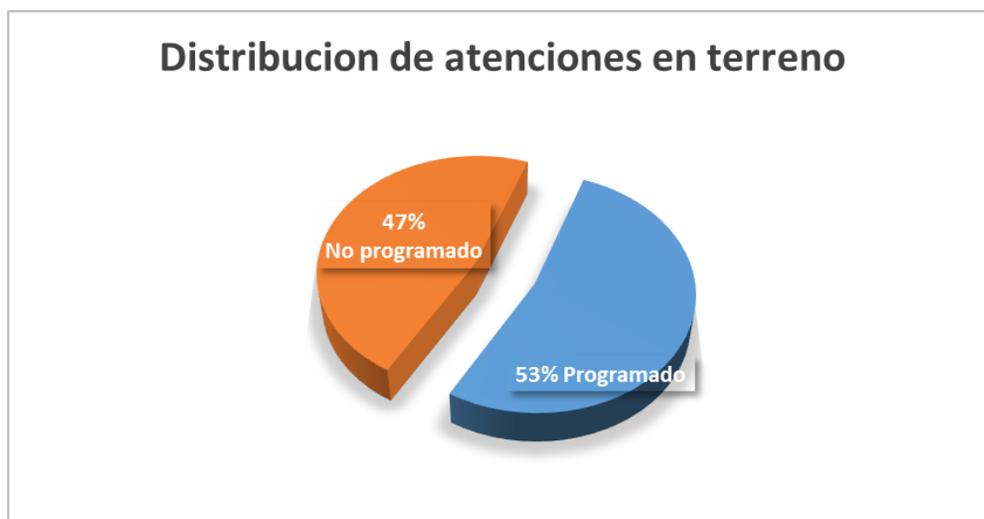
A continuación, se muestra la recopilación de cambios de cables realizados entre el periodo del 2014 y el 2015.

Tabla N° 4.2 Distribución de atención por cambio de cable.

Flota Palas 4100 XPC			
Cambio de cable			
Equipo	Tipo de intervenció	Fecha de intervencion	Tiempo de intervencion (Hrs)
P-201	Programado	20-11-2014	6
	No programado	12-01-2015	16,38
	Programado	13-03-2015	7,56
	Programado	23-04-2015	6,2
	No programado	08-06-2015	13,5
	No programado	31-07-2015	10
	No programado	09-09-2015	15,4
	Programado	07-11-2015	6
	No programado	09-11-2015	16
	Programado	25-12-2015	8
	No programado	15-02-2016	6,5
P-202	No programado	11-06-2015	13
	Programado	07-08-2015	6,5
	No programado	08-10-2015	10,47
	Programado	21-11-2015	9,53
	Programado	08-01-2016	6,53
	Programado	21-07-2016	7

Fuente: Elaboración propia basado en historial de cambis.

Grafico N° 4.1 Distribución de atenciones en terreno.

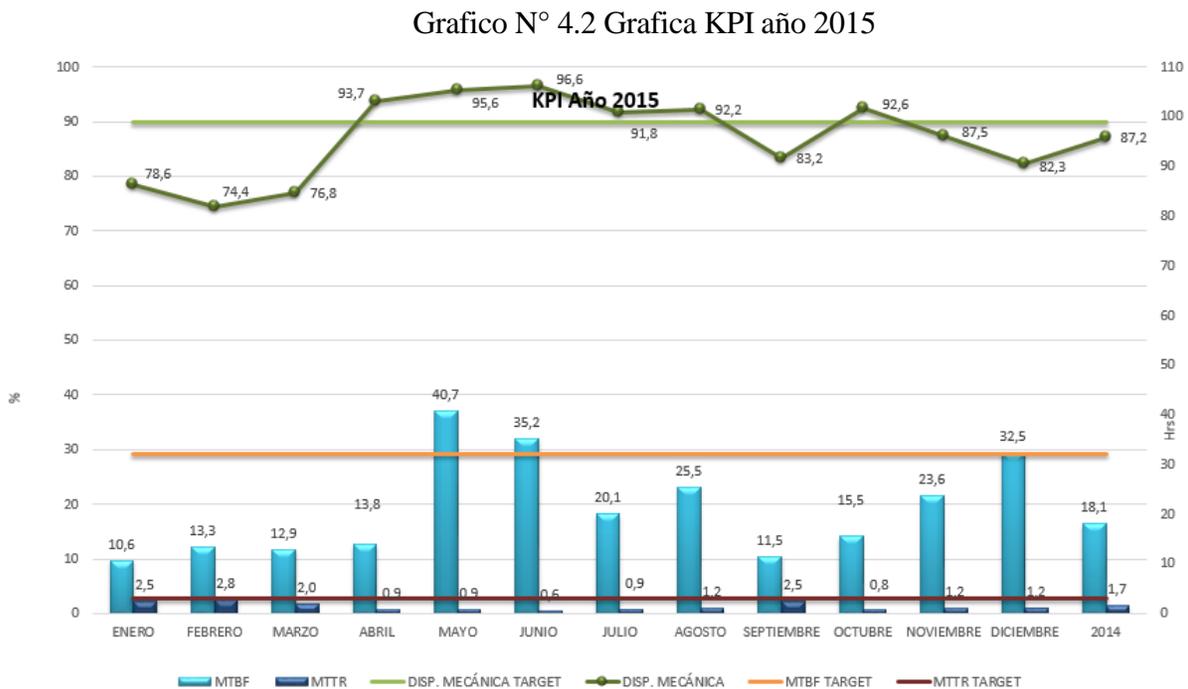


Fuente: Elaboración propia basado en la distribución de cambio.

Como podemos apreciar en el grafico 4.1, un 47 % se debe a intervenciones por cambio de cable no programado, si bien está por debajo del 53% que corresponden a las intervenciones programadas, sigue siendo un porcentaje considerable, que en su caso no debería superar el 20% de atenciones no programadas.

4.4 Indicadores de mantención y confiabilidad (KPI)

La grafica adjunta fue tomada durante el periodo del año 2015 de la pala 201, donde podemos apreciar que considerando todas las intervenciones en el equipo, ya sea de carácter eléctrico, mecánico, lubricación, etc. Solo en tres meses durante el año se logró superar el traget de MTBF, siendo este de 30 Hrs por mes, en lo que respecta a los meses en que no se logró este target se puede inferir que las detenciones no programadas fueron el mayor contribuidor a que la meta mensual no se alcanzara. Referente a lo mismo se puede apreciar que este equipo obtuvo al final del periodo 2015 un MTBF de 18,06 hrs muy por debajo del target que es 30 Hrs. Otro dato importante que nos entrega este grafico es el MTTR, para el cual el target de este es de 3 hrs. Para este periodo este quipo logro estar por debajo de este traget, pero aun así su disponibilidad anual estuvo por debajo de lo esperado 90 % para las primeras 12000 hrs de operación

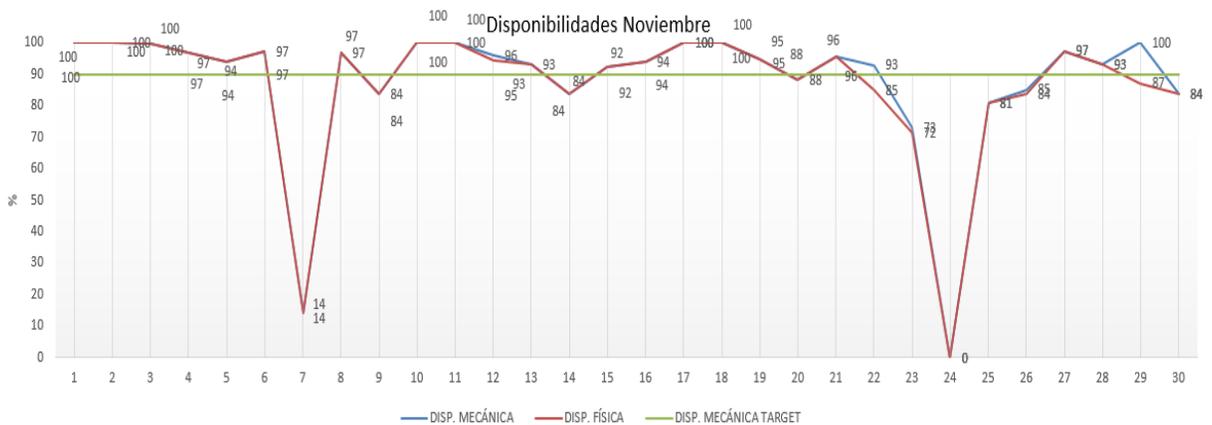


Fuente: Elaboración propia.

4.5 Efectos en la disponibilidad.

La siguiente grafica nos muestra la disponibilidad obtenida en el mes de noviembre del año 2015, donde la intervenciones más notoria fueron 2 cambios de cables de levante con diferencia solo de 1 día entre ellos, si bien la primera intervención fue programada el día 07-11, esta no fue correctamente ejecutada, debido a que los cables quedaron torcidos, lo que provoco un esfuerzo de torsión en estos, disminuyendo considerablemente su vida, siendo necesario ejecutar un segundo cambio que se realizó claramente de forma no programada el día 09-11, esto afectó de manera negativa al target mensual de disponibilidad 90%, solo logrando alcanzar un 84% de disponibilidad y claramente afecta también el MTBF de estos cables, logrando solo cumplir 24 hrs versus su target normal de 1080 hrs entre cada cambio (45 dias).

Grafico N° 4.3 Efectos en la disponibilidad mes de noviembre



Fuente: Elaboración propia.

En conclusión, respecto a los gráficos antes mencionados, podemos apreciar el efecto que produce en los KPI de disponibilidad y confiabilidad un cambio de cable no programado. Es por esta razón que se realizara un cálculo estadístico para lograr obtener un nuevo target de cambio con el fin de ser más certeros en la programación de este trabajo, evitando así las intervenciones no programadas y llevando la vida útil de los cables a un punto óptimo antes de su reemplazo.

4.6 Estadística

4.6.1 Historial cambio cables de levante entre 2014 y 2015

Hemos tomado el historial de cambio de cables de levante de una de las palas durante el periodo del 2015 y parte del 2014 para realizar un análisis de distribución weibull y así en función de la disponibilidad y la confiabilidad lograremos obtener un nuevo target para el cambio de cables.

Tabla N° 4.3 Cambio cables periodo entre 2014 y 2015

N° Intervenciones	Equipo	Tonelaje removido	Target	Tipo intervención
1	Pala 201	3.951.788	3.800.000	Programado
2	Pala 201	2.835.935	3.800.000	No programado
3	Pala 201	3.106.924	3.800.000	Programado
4	Pala 201	2.548.980	3.800.000	Programado
5	Pala 201	3.436.766	3.800.000	No programado
6	Pala 201	2.998.109	3.800.000	No programado
7	Pala 201	2.398.950	3.800.000	No programado
8	Pala 201	1.896.868	3.800.000	No programado
9	Pala 201	3.080.806	3.800.000	Programado
10	Pala 201	3.015.262	3.800.000	No programado

Fuente: Elaboración propia.

4.7 Cálculo de índices de gestión.

4.7.1 Cálculo de probabilidad de falla acumulada F(i)

$$F(i) = \sum_n^i f(i) \times \Delta t_i$$

$$F(i) = 1 - \frac{N_i}{N_o} \text{ (Ec. 4.1)}$$

4.7.2 Calculo de confiabilidad R (i)

$$R(i) = \frac{Ni}{No}$$

$$R(i) = 1 - f(i) \text{ (Ec. 4.2)}$$

4.7.3 Ecuación de la recta.

$$x = Ln(t) \text{ (Ec.4.3.)}$$

4.7.4Tabla de cálculo de indicadores.

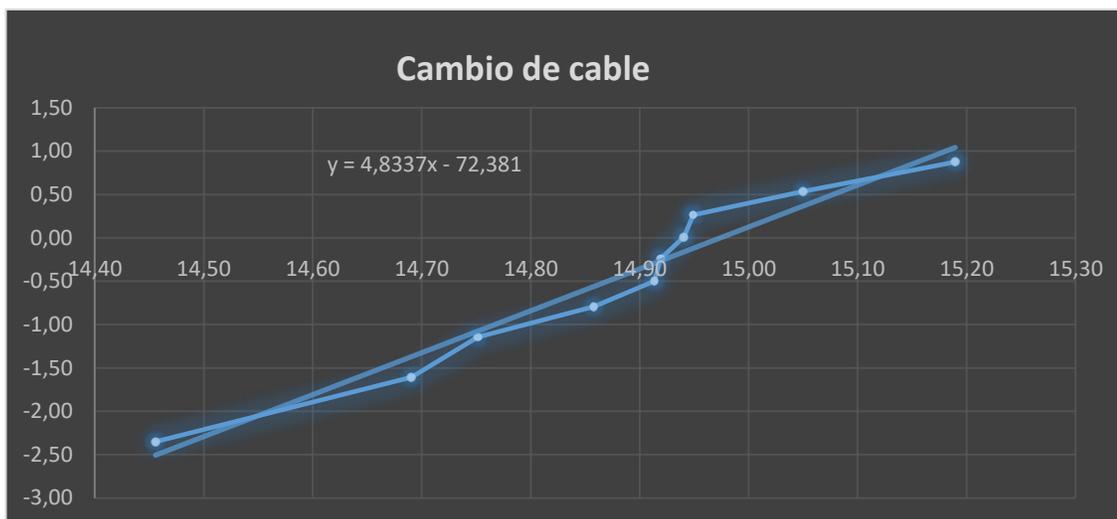
Tabla N° 4.4 Calculo de indicadores.

Rango	Ton removido	F (t)	R (t)	X	Y
1	1.896.868,3	9%	91%	14,46	-2,35
2	2.398.949,7	18%	82%	14,69	-1,61
3	2.548.979,7	27%	73%	14,75	-1,14
4	2.835.935,3	36%	64%	14,86	-0,79
5	2.998.109,0	45%	55%	14,91	-0,50
6	3.015.262,0	55%	45%	14,92	-0,24
7	3.080.806,0	64%	36%	14,94	0,01
8	3.106.924,0	73%	27%	14,95	0,26
9	3.436.766,3	82%	18%	15,05	0,53
10	3.951.788,0	91%	9%	15,19	0,87

Fuente: Elaboración propia.

Conociendo los estos datos se procederá a graficar la ecuación de la recta, para poder obtener de esta los valores de Beta y Eta.

Grafico N 4.4 Ecuación de la recta.



Fuente: Elaboración propia.

4.7.5 Calculo de constantes y MTBF.

$$MTBF = \eta \Gamma \left(1 + \frac{1}{\beta} \right) \text{ (Ec. 4.4)}$$

Donde:

Γ = Exponencial Gamma.

Tabla N° 4.5 Constantes y MTBF

Beta	4,8337
Eta	3.185.893,47
MTBF	2.919.463,2

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con el análisis Weibull, se puede apreciar que el MTBF es de 2.919.463,2 Ton. Este valor está por debajo del target propuesto por el fabricante, esto se puede deber a las condiciones particulares donde se encuentra trabajando el equipo, la capacidad del operador o la mantención de los sistemas por donde se desplaza el cable, la constante Beta, en este caso > 1 esto nos indica que las fallas son por desgaste, lo que está relacionado con el ciclo de vida del cable, mientras que la constante Eta nos indica que el rango de vida para el cable es de 3.185.893,47 Ton. Casi similar a la que propone el fabricante

(3.200.000 Ton.)

Una vez calculado el valor de Beta y Eta podemos proceder a realizar el cálculo de Costos, confiabilidad y la tasa acumulada de falla, para obtener finalmente nuestro nuevo target para el cambio óptimo de cables de levante.

4.8 Calculo de costos.

4.8.1 Tabla de valores

Tabla N° 4.6 Tablas de valores.

Recurso	Costo en USD\$	Tipo Detención	Duración en Hrs
Cable levante	34289	Programado	7,03
Tec. X hr	5,5	No programado	12,65
Det.Pala x hr	1889,8		

Fuente: Elaboración propia

4.8.2 Costo preventivo:

$$C_p = CMO + C.REP. \text{ (Ec. 4.5)}$$

Donde:

CP: Costo preventivo.

CMO: Costo mano de obra.

C.REP: Costo repuestos.

$$C_p: \left(\left(5,5 \frac{usd}{hrs} * 4 \right) * 7,03 \right) + 34289 \text{ usd} : \mathbf{34443,66 \text{ usd}}$$

4.8.2 Costo correctivo:

$$C_e = CMO + C.REP. + CI \text{ (Ec. 4.6)}$$

Donde:

CE: Costo correctivo.

CI: Costo de ineficiencia.

C.REP: Costo repuestos.

$$C_e: \left(5,5 \frac{usd}{hrs} * 4 \right) * 12,65 \text{ hrs} + 34289 \text{ usd} + \left(1889,8 \frac{usd}{hrs} * 12,65 \text{ hrs} \right) :$$
$$C_e: 278,3 \text{ usd} + 34289 \text{ usd} + 23905,97 : \mathbf{58473,27 \text{ usd}}$$

Tabla N° 4.7 Costos

Costos	USD\$
Cp.	34.443,66
Ce.	58.473,27

Fuente: Elaboración propia.

4.9 Calculo de indicadores a edad constante.

Ya teniendo los valores de costos, es posible calcular los indicadores de edad constante.

4.9.1 Calculo de confiabilidad R (t)

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta} \text{ (Ec.4.7)}$$

4.9.2 Calculo de probabilidad acumulada de falla.

$$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta} \text{ (Ec. 4.8)}$$

O también:

$$F(t) = 1 - R(t) \text{ (Ec. 4.9)}$$

4.9.3 Calculo de MTBF (t).

$$MTBF(t) = \int_0^t R(t)dt$$

$$MTBF(t) = \frac{\eta}{\beta} \Gamma \left[\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta, \frac{1}{\beta} \right] \Gamma \left(\frac{1}{\beta}\right) \text{ (Ec. 4.10)}$$

Γ = Exponencial gamma.

4.9.4 Calculo ecuación de costo.

$$EC = \frac{(Cp \times R(t)) + (Ce \times F(t))}{MTBM + MTTR} \text{ (Ec. 4.11)}$$

4.9.5 Tabla calculo edad constante.

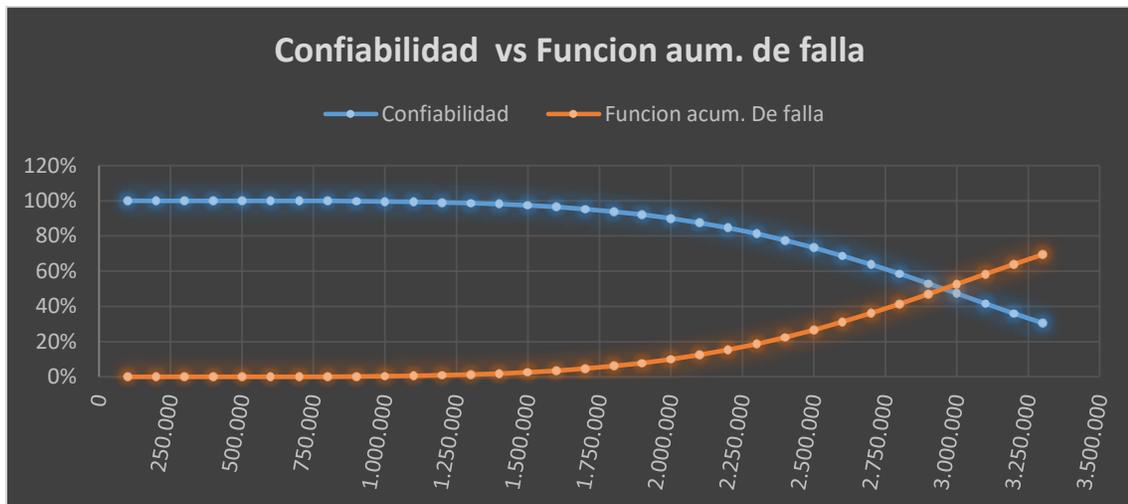
Tabla N° 4.8 Calculo edad constante

T	R (t)	F (t)	MTBF(t)	MTBM	MTTR	EC
100.000	100%	0%	100000	100000	7,306667	0,344184863
200.000	100%	0%	200000	200000	7,306673	0,172098876
300.000	100%	0%	299999	300000	7,306709	0,114734647
400.000	100%	0%	399997	400000	7,306836	0,086053261
500.000	100%	0%	499989	500000	7,307165	0,068846483
600.000	100%	0%	599968	600000	7,30787	0,057378676
700.000	100%	0%	699921	699999,9	7,309202	0,04919228
800.000	100%	0%	799828	799999,8	7,3115	0,043059115
900.000	100%	0%	899658	899999,2	7,315203	0,038297474
1.000.000	100%	0%	999367	999997,7	7,320862	0,034498946
1.100.000	99%	1%	1098898	1099994	7,329144	0,031404245
1.200.000	99%	1%	1198170	1199984	7,340845	0,028841118
1.300.000	99%	1%	1297084	1299962	7,356885	0,026690905
1.400.000	98%	2%	1395514	1399917	7,378316	0,024869417
1.500.000	97%	3%	1493305	1499827	7,406307	0,023315464
1.600.000	96%	4%	1590270	1599658	7,442137	0,021983667
1.700.000	95%	5%	1686187	1699352	7,487168	0,020839795
1.800.000	94%	6%	1780800	1798822	7,542813	0,019857651
1.900.000	92%	8%	1873814	1897933	7,610493	0,019016916
2.000.000	90%	10%	1964899	1996490	7,691576	0,01830164
2.100.000	88%	12%	2053690	2094218	7,787305	0,017699138
2.200.000	85%	15%	2139792	2190740	7,898713	0,017199182
2.300.000	81%	19%	2222789	2285562	8,02653	0,01679339
2.400.000	78%	22%	2302248	2378050	8,171076	0,01647475
2.500.000	73%	27%	2377736	2467430	8,332164	0,016237244
2.600.000	69%	31%	2448833	2552786	8,509003	0,016075541
2.700.000	64%	36%	2515147	2633087	8,700126	0,015984726
2.800.000	59%	41%	2576333	2707230	8,903348	0,01596005
2.900.000	53%	47%	2632113	2774107	9,115774	0,015996686
3.000.000	47%	53%	2682294	2832696	9,333852	0,01608948
3.100.000	42%	58%	2726780	2882167	9,553503	0,016232704
3.200.000	36%	64%	2765587	2921986	9,770308	0,016419812
3.300.000	31%	69%	2798848	2952009	9,979748	0,016643246

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo a los datos entregados por la tabla, podemos generar una gráfica para demostrar más claramente el resultado del análisis.

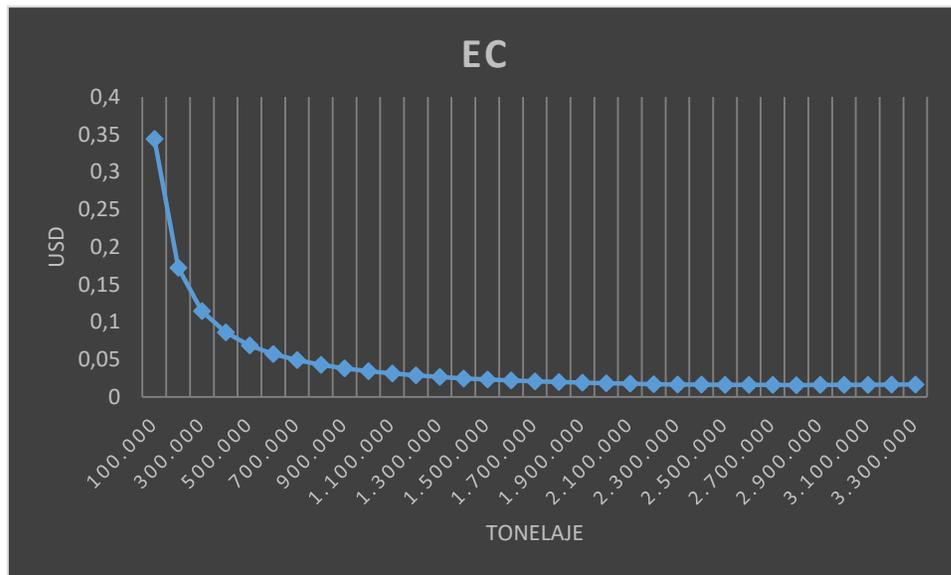
Grafico N° 4.5 Confiabilidad Vs Probabilidad acum. De falla.



Fuente: Elaboración propia.

En función de la gráfica (4.5) y los datos entregados por la tabla (4.8) podemos apreciar que, la confiabilidad pasa a ser menor a la tasa acumulada de falla luego de alcanzar los 2.800.000 Ton. En ese punto el cable deja de ser confiable de acuerdo a los datos obtenidos de terreno, por lo que se recomienda realizar su cambio cuando este alcance dicho tonelaje para aprovechar al máximo la confiabilidad de este y la disponibilidad del equipo.

Grafico N° 4.6 Ecuación de costo vs Tonelaje



Fuente: Elaboración propia.

Como podemos apreciar en el grafico N° 4.6, el costo va disminuyendo a medida que aumenta el tonelaje, pero se genera un quiebre a los 2.800.000 Ton (Ver tabla N° 4.8), donde el costo comienza a aumentar al igual que el tonelaje, por lo que podemos confirmar que a las 2.800.000 Ton se genera el menor costo, por lo cual se recomienda realizar la mantención preventiva, en este caso el reemplazo del cable cuando este llegue a dicho tonelaje

Tabla N° 4.9 Propuesta de mantención.

Tarea	Condición actual	Propuesta
Tonelaje para remover.	3.200.000 ton.	2.800.000 ton.
Horas duración	1000 hrs	875 hrs
Condición de Alambres	3 Alambres por torón.	3 Alambres por torón.
Horas cambio programado	7,03 hrs	6 hrs
Horas detención por Año	71,8 hrs	60,06 hrs
N° de intervenciones en el año	9	10
Probabilidad de falla.	64%	41%
Costo por cambio de cable (USD\$)	34.443,66 USD	34.421 USD

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 4.9 podemos ver los valores para la condición actual en terreno y los nuevos valores propuestos en función del análisis realizado, donde podemos apreciar que si bien el número de intervenciones por año serán mayores, la cantidad de horas de estas intervenciones en el año serán menores y de igual manera la probabilidad de falla (F(t)), siendo la nueva propuesta 41% versus un 64% actual, es en este último punto donde debemos centrar nuestra atención, ya que la probabilidad de falla baja en un 23% respecto a la actual, lo que implica menor probabilidad de detener el equipo de forma imprevista, ya que el costo de una intervención imprevista siempre es mayor que el costo de una programada pasando de ser 34.443,66 USD a 58.473,27 USD, debido a que existen siempre otras variables que pueden agravar la condición , como por ejemplo, que el balde quede cargado y metido en el frente de carguío, que el balde quede sobre la tolva de algún camión, que el cable se enrede en el tambor de la sala de máquina, etc. Todas estas variables implican mayor costo de intervención, es por ello que debemos apuntar a disminuir la probabilidad de que unos de estos eventos ocurran, dando mayor confiabilidad al equipo.

4.9.6 Implementación.

Para poder llevar a cabo esta propuesta, se requiere el compromiso de la línea de mando y de controles que garanticen el correcto funcionamiento del nuevo plan y mantenga a ralla las desviaciones que puedan afectar la correcta implementación de este, para esto enlistaremos las medidas de control que garanticen la eficiencia del plan.

Tabla N° 4.10 Plan de acción

Plan de acción				
Ítem N°	Tarea	Descripción	Área responsable	Compromiso
1	Manipulación de los carretes de cable.	Que la manipulación los carretes de cable sea de forma correcta, con el fin de evitar posibles daños en estos antes de ser instalados, ya sea durante el traslado dentro de la bodega como desde esta hacia el sector donde se realizara el cambio.	Bodega/Operaciones mantención.	Siempre

Plan de acción				
Ítem N°	Tarea	Descripción	Área responsable	Compromiso.
2	Capacitación personal técnico.	Capacitar de forma efectiva a todo el personal técnico que se ve involucrado en la tarea de cambio de cable, con el fin de que cada uno de los participantes de dicha tarea tenga claridad absoluta de su rol dentro de esta, y de los pasos generales que se deben seguir para completarla de forma correcta, sin dar lugar a especulaciones o supuestos.	Operaciones Mantención.	Capacitación al menos 2 veces en el año, o cuando ingrese personal nuevo.
3	Inspecciones periódicas exhaustivas.	Realizar inspecciones periódicas al cable instalado, ya sea a la cantidad de alambres cortados como al estado general de desgaste en los puntos críticos de este (Salida de sala de máquina y aro balde) cuando este alcance el 1.800.000 Ton. Removidas, ya que este fue el tonelaje mínimo con el cual se realizó un cambio de cable, de esta forma controlar el estado de este en caso que ya se encuentre deteriorado, para impedir una detención imprevista del equipo con pérdidas de producción mayores.	Operaciones Mantención.	Al 1.800.000 Ton.

Plan de acción				
ítem N°	Tarea	Descripción	Área responsable	Compromiso.
4	Capacitar a los operadores de Pala	Se debe capacitar e informar a los operadores la correcta manipulación del equipo, para evitar tirones o cabeceos de este que puedan dañar prematuramente el cable, evitar también el abuso de límites del equipo.	Operaciones Mina.	Capacitación al menos 2 veces en el año, o cuando ingrese personal nuevo.
5	Comprometer operaciones Mina.	Ejecutar metódicamente la planificación respecto al cambio de cables a, evitando así las improvisaciones de dejar más tiempo el cable instalado de lo que se recomienda (2.800.000 Ton.)	Operaciones mina /Planificación	Siempre.

Fuente: Elaboración propia.

CONCLUSIO.

En base al análisis realizado respecto a los datos históricos obtenidos por cambio de cables entre el periodo del 2015 y 2016, se logró determinar que es posible mejorar la condición actual de cambios de cables de levantes, bajando su frecuencia de cambio desde 3.200.000 ton a 2.800.000 ton, con esto se logra mejorar la confiabilidad de ellos, disminuyendo así la probabilidad de intervenir el equipo de manera imprevista o innecesaria.

Se debe trabajar en implementar el nuevo plan de mejora que ayudara a ser más efectiva la atención por inspección o en su defecto el cambio de los cables de levante, inculcando al personal la importancia que implica llevar un control permanente en el estado de los cables, para evitar detenciones imprevistas. Mientras que en el caso de los operadores se debe entrenar para que eviten realizar maniobras que si bien pueden ser parte cotidiana de la operación, provocan daños importantes en los cables de levante.

Finalmente el éxito de la implementación de este plan de mantención implica el compromiso de cada integrante del sistema, y cumplir a cabalidad con los acuerdos adquiridos, evitando la improvisación, que es la que principalmente provoca que dicho plan no sea efectivo, poniendo en tela de juicio las capacidades de los mantenedores, siendo que realmente en algunos casos es la jefatura la que distorsiona los procedimientos y toma decisiones sobre la marcha de qué es lo que se debe hacer dejándose de regir por el plan de mantención.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

Procesos de extracción de mineral (11 de noviembre del 2015 0:05 hrs) Obtenido de https://www.codelcoeduca.cl/procesos_productivos/escolares_extraccion_equipos_asociadoscarguioacieloabierto.asp

Equipo de carguío y generalidades de palas eléctricas P&H 4100XPC-AC (16 de septiembre del 2016 21:40 hrs) obtenido de <http://www.komatsu.co.za/PDF/PC8000-6.pdf>

Sistemas de palas eléctricas P&H 4100 XPC-AC obtenido de *Manual de operador pala P&H 4100XPC-AC*

Generalidades del cable de levante (29 de septiembre del 2016 14:14) obtenido de http://www.prodinsa.cl/index.php?option=com_content&task=view&id=49&Itemid=50

Clasificación de alambre en cables de acero (29 de septiembre 23:02) obtenido de hse.com.co/devphp/infhse/.../CABLES%20DE%20ACERO.ppt

Fallas más comunes de los cables de acero (03 de Octubre 2016 15:01) Obtenido de http://www.unionrope.com/resource_/pageresource/union/wire-rope-user-guide-spanish.pdf

Fallas más comunes de los cables de acero (03 de Octubre 2016 16:53) obtenido de <http://teoriadeconstruccion.net/blog/fallas-comunes-en-los-cables-de-acero/>

Características de cable de acero (13 de octubre 2016 18:01) obtenido de <http://www.servicables.com.mx/?sec=caracteristicas-cable-de-acero>

Clasificación de torones (2017) Obtenido de <https://www.emcocables.co/>

