



UNIVERSIDAD  
**DE ATACAMA**

**FACULTAD TECNOLÓGICA**  
**DEPARTAMENTO DE TECNOLOGÍAS DE LA ENERGÍA**

**IMPLEMENTACIÓN DE SENSOR MAGNÉTICO DE PROXIMIDAD EN TOLVA  
DE CAMIONES DE EXTRACCIÓN KOMATSU 930E4**

Proyecto de titulación presentado en conformidad a los requisitos para obtener el título de  
Ingeniero de Ejecución en Electricidad.

Profesor guía: Juan Carlos Madrigal Lobos

Gustavo Alejandro Pérez López

Javier Eduardo Pérez López

Copiapó, Chile 2022

## INDICE

CAPÍTULO I.....	1
INTRODUCCION .....	1
1.1 Objetivo General .....	2
1.2 Objetivos Específicos .....	3
1.3 Metodología del trabajo.....	3
1.4 Resumen de capítulos.....	4
CAPITULO II.....	6
MARCO TEORICO.....	6
2.1 Mantenimiento .....	7
2.2 Mantenimiento Correctivo.....	7
2.3 Mantenimiento Preventivo .....	8
2.4 Mantenimiento Predictivo .....	8
2.5 Sensor .....	8
2.6 Tipos de sensores magnéticos.....	9
2.6.1 Interruptor Reed .....	9
2.6.2 Sensores émbolo magnético.....	10
2.6.3 Sensores magneto resistivo de efecto hall .....	11
2.6.4 Sensores magneto resistivo de efecto pick-up .....	12
2.6 Algunas normas internacionales utilizadas en el Caex .....	12
CAPÍTULO III .....	14
DESCRIPCIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DEL .....	14
CAMIÓN DE EXTRACCIÓN KOMATSU 930E4.....	14
3.2 Propietarios .....	16
3.3 Organigrama .....	17
3.4 Valores Organizacionales .....	18
3.5 Proceso Productivo.....	18
3.6 Camiones Komatsu 930 E .....	19
3.6.1 Especificaciones técnicas.....	21
3.6.2 Alternador Principal .....	24
3.6.3 Rueda Motorizada con Tracción por Inducción AC.....	25
3.6.4 Suspensión .....	26
3.6.5 Cabina del operador.....	27
3.6.6 Servodirección.....	28

3.6.7 Retardo Dinámico.....	29
3.6.8 Sistema de Frenos.....	30
CAPÍTULO IV .....	32
DESCRIPCIÓN DE LAS FALLAS DEL CAMIÓN DE EXTRACCIÓN .....	32
4.1 Falla en el sistema de aire acondicionado .....	33
4.2 Falla en el panel AID.....	34
4.3 Falla en el sistema de 24 volts .....	35
4.6 Alto voltaje en banco de parrilla .....	36
CAPÍTULO V .....	37
IMPLEMENTACIÓN DEL SENSOR MAGNÉTICO .....	37
EN CAMIÓN DE EXTRACCIÓN KOMATSU 930E4.....	37
5.1 Plano de conexión .....	40
5.2 Estandarización de la implementación .....	41
CAPITULO VI .....	44
ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DE LA IMPLEMENTACIÓN .....	44
DE SENSOR MAGNÉTICO .....	44
5.1 Campaña de instalación de sensor magnético: .....	45
5.2 Costos asociados a la implementación del sensor en el camión: .....	46
6.3 Beneficios de la implementación del sensor de proximidad. ....	50
CAPITULO VII.....	52
CONCLUSIONES .....	52
GLOSARIO.....	53
BIBLIOGRAFÍA .....	55

## INDICE DE FIGURAS

Figura N° 2.1: Interruptor Reed.....	10
Figura N° 2.2: Sensor de embolo magnético.....	11
Figura N° 2.3: Sensor magneto resistivo de efecto hall .....	11
Figura N° 2.4: Sensor de imán .....	12
Figura N° 3.1: Ubicación de minera los pelambres .....	15
Figura N° 3.2 Propietario de minera Los Pelambres .....	16
Figura N° 3.3: Organigrama minera pelambres .....	17
Figura N° 3.4: Camión Komatsu 930E .....	21
Figura N° 3.5: Dimensiones del camión de extracción .....	21
Figura N° 3.6: Alternador principal .....	25
Figura N° 3.7: Motor de tracción .....	26
Figura N° 3.8: Suspensión .....	27
Figura N° 3.9: Cabina del operador .....	28
Figura N° 3.10: Acumulador de dirección .....	29
Figura N° 3.11: Retador dinámico .....	30
Figura N° 3.12: Sistema de frenos .....	31
Figura N° 4.1: Aire acondicionado .....	33
Figura N° 4.1: Panel AID .....	34
Figura N° 5.0: Imán AMC5 .....	38
Figura N° 5.1: Sensor de imán .....	39
Figura N° 5.2: Distancia de detección de sensor .....	40
Figura N° 5.3: Plano conexión sensor de proximidad .....	41
Figura N° 5.4: Montaje sensor de proximidad .....	43
Figura N° 5.5 Gráfico de fallas antes de la instalación de sensor año 2020 .....	45
Figura N° 5.6: Gráfico campaña de instalación sensor año 2021 .....	46
Figura N° 5.7: Gráfico pérdidas mensuales USD Pre-campaña 2020 .....	47
Figura N° 5.8: Gráfico campaña ejecución y post campaña en USD .....	48
Figura N° 5.9: Análisis de resultados. ....	49

## INDICE DE TABLAS

Tabla N° 3.1: Especificación Vertedera .....	<b>22</b>
Tabla N° 3.2: Peso .....	<b>22</b>
Tabla N° 3.3: Motor .....	<b>23</b>
Tabla N° 3.4: Capacidad de servicio .....	<b>23</b>
Tabla N° 3.5: Dimensiones .....	<b>23</b>
Tabla N° 5.1: Conectora DT04-4P (interruptor proximidad) .....	<b>41</b>

## **RESUMEN**

En la actualidad para poder transportar el mineral explotado se necesita maquinaria de gran dimensión y capacidad de transporte, para cumplir con los índices operacionales de forma mensual según las brechas establecidas por el departamento de planificación y confiabilidad. Por lo tanto, la maquinaria que realiza el transporte de mineral es el camión de extracción KOMATSU 930E-4, diseñado para transportar 320 toneladas de mineral denominados CAEX, cuando el operador levante tolva para descargar el material una luz de advertencia se encenderá en el panel AID indicando que la tolva está subiendo y cuando la tolva se encuentra abajo apoyada en el chasis del camión se debe apagar para volver a realizar el ciclo en el carguío. Los camiones KOMATSU 930E-4 poseen un switch de tolva arriba tipo mecánico instalado en la guía de tolva, cuando la tolva sube el contacto del switch se abre encendiéndose la luz que la tolva está subiendo, este sistema provoca fallas de manera consecutiva generando que el equipo pierda la propulsión en retroceso como sistema de seguridad para evitar accidentes además solo podrá tener propulsión hacia adelante y dejar el camión en el lugar más seguro. Debido a esta problemática se decidió realizar una mejora en el camión instalando un sensor magnético de proximidad mejorando la confiabilidad del equipo y rendimiento, evitando bastantes horas de reparación del switch mecánico. Esta mejora se realizará en la mantención programada de cada CAEX ya que se necesita instalar en toda flota el sensor magnético de proximidad y así mejorar los indicadores de producción, aumentando la disponibilidad física de los equipos.

CAEX - KOMATSU – AUTOMATIZACIÓN

## **ABSTRACT**

At present, to be able to transport the exploited mineral, large machinery and transport capacity is needed, to comply with the operational indexes on a monthly basis according to the gaps established by the planning and reliability department. Therefore, the machinery that performs the transport of ore is the KOMATSU 930E-4 extraction truck, designed to transport 320 tons of ore called CAEX, when the operator lifts hopper to unload the material a warning light will turn on the AID panel indicating that the hopper is rising and when the hopper is down supported on the chassis of the truck it must be turned off to recycle in the loading. The KOMATSU 930E-4 trucks have a hopper switch above mechanical type installed in the hopper guide, when the hopper rises the contact of the switch opens turning on the light that the hopper is rising, this system causes failures consecutively generating that the equipment loses the propulsion in reverse as a safety system to avoid accidents in addition it can only have forward propulsion and leave the truck in the safest place. Due to this problem it was decided to make an improvement in the truck by installing a magnetic proximity sensor improving the reliability of the equipment and performance, avoiding many hours of repair of the mechanical switch. This improvement will be made in the scheduled maintenance of each CAEX since it is necessary to install the magnetic proximity sensor in the entire fleet and thus improve production indicators, increasing the physical availability of the equipment.

CAEX - KOMATSU – AUTOMATION

# **CAPÍTULO I**

## **INTRODUCCION**

La industria minera ha debido adaptarse cada vez a las más exigentes prácticas de gestión empresarial en un mundo de mercados globalizados, marcado por una creciente competitividad, rápidos cambios tecnológicos, mayores exigencias por la calidad de los productos y servicios, y una preocupación constante por la satisfacción del cliente, por la seguridad y por el cuidado al medio ambiente.

La aceleración del desarrollo industrial en los últimos años ha permitido a la industria un incremento tecnológico, creando nuevas máquinas en sus distintas áreas de trabajo para disminuir riesgos de accidentes en los trabajadores y tiempos de producción, que van desde camiones de alto tonelaje hasta máquinas pequeñas que ayudan al funcionamiento correcto de los sistemas eléctricos.

El correcto funcionamiento de estos sistemas depende de su buen mantenimiento y su adecuado uso en la operación, transformándose en los elementos fundamentales para el proceso industrial.

El negocio de la minería se ha convertido en un negocio grande, rentable y complejo a nivel mundial.

El sector minero, es una industria que trabaja de forma continua, en la cual equipos de alto tonelaje deben seguir operando aún bajo las más rigurosas condiciones de trabajo, la carencia de una falta de mantención puede llevar a las máquinas a una parada no prevista, produciendo un alto costo.

Minera Los Pelambres (MLP) es una empresa dedicada a la explotación de un yacimiento de cobre. Pertenece a la compañía Antofagasta Mineral S.A. (AMSA).

Es una mina a cielo abierto ubicada a 200 Km de Santiago de Chile y a 45 km. al este de la ciudad de Salamanca en la provincia del Choapa, región de Coquimbo, en plena cordillera de Los Andes a 3600 m.s.n.m., produce cobre desde 1999 y está considerada como una de las cinco minas de cobre más ricas del mundo, con unas reservas de 221.000.000.000 toneladas de cobre por año.

El proceso productivo de Pelambres se inicia en la misma cordillera de Los Andes, hasta terminar en la costa de Los Vilos donde se carga el material a todo el mundo.

La extracción mina se divide en 4 grupos perforación, tronadura, carguío y transporte, siendo este último grupo en donde profundizar esta investigación.

La flota de transporte de Minera Los Pelambres es una de las más importantes, ya que son estos equipos los encargados de mover el material desde las áreas de tronadura al chancado. Es por este motivo que los equipos deben estar la mayor cantidad del tiempo posible moviendo material, es decir con una alta disponibilidad. Para lograr cumplir lo anteriormente mencionado, el mantenimiento juega un papel crucial, particularmente si este es de calidad.

La flota de transporte consta de 56 camiones de extracción de alto tonelaje, siendo los principales equipos los Komatsu 930 E4. Por lo que el presente trabajo se centrará en esta flota.

En este trabajo analizar la estrategia actual de un sensor de proximidad el cual aporte a la mejora continua del proceso operativo de flota de camiones de extracción.

## **1.1 Objetivo General**

Implementar un sensor magnético de tolva para disminuir las fallas por mal contacto de apertura o cierre de circuito del sensor, mejorando la disponibilidad del equipo.

## 1.2 Objetivos Específicos

- ✚ Describir funcionamiento del camión de extracción Komatsu 930 E4
- ✚ Identificar las fallas del camión de extracción Komatsu 930 E4
- ✚ Implementar el sensor magnético en camión de extracción Komatsu 930 E4
- ✚ Analizar resultados de la implementación del sensor magnético.

## 1.3 Metodología del trabajo

El mantenimiento preventivo, correctivo y predictivo es importante para los camiones de extracción de alto tonelaje, para preservar la vida útil del equipo. Estos mantenimientos deben ser realizados por personal calificado, capacitado y preparado técnicamente.

El mantenimiento es tan importante como lo es la operación del equipo el conocer el funcionamiento, el conocer cada componente, el saber la importancia del caex en la operación de la faena.

Implementar un sensor magnético de proximidad es una nueva mejora en el camión, ya que se busca minimizar las fallas en el panel AID, se busca acortar los tiempos de mantenimiento del sensor, mejorar el tiempo en las reparaciones o cambios del mismo y así a la vez mejorar la disponibilidad del equipo evitando tener detenido el equipo mucho más tiempo.

El mantenimiento será menor ya que lo se busca es optimizar tiempo, buscar mejorar el sistema del sensor, provocando mejorar lo tiempos de las detenciones.

Con este nuevo sensor se busca lograr mejorar la disponibilidad de la flota, el personal de mantenimiento se le capacitará y se le potenciará por el personal del especialista senior para obtener conocimientos más profundos de la instalación y así realizar de una forma más expedita la instalación o su mantención.

## 1.4 Resumen de capítulos

**Capítulo II:** En este capítulo se desarrollará el marco teórico, se explicará de forma detallada y de una manera más general los puntos más relevantes que se abordarán, para ir desarrollando el proyecto. Se irán describiendo los distintos factores que componen la presente investigación.

Se describirán los puntos más importantes para ir entendiendo el presente proyecto, ya sea con los camiones de extracción de alto tonelaje, que es y para qué sirve un sensor, que en este caso será la implementación que se realizará, las principales normas que se utilizan en los camiones de extracción, el mantenimiento y cuál es el que utilizamos en el CAEX.

**Capítulo III:** Se describirá el funcionamiento del camión de extracción de alto tonelaje Komatsu 930 E4 que se utiliza en la minera los Pelambres, en primera instancia se describirá el sector en el cual se realizará el proyecto, su ubicación geográfica, el organigrama de la compañía y los valores que posee.

En mayor detalle se hablará de las partes que componen el camión de extracción de alto tonelaje y el funcionamiento de cada elemento que lo compone.

**Capítulo IV:** Se expondrán las principales fallas de los camiones de extracción Komatsu 930 E4, se analizarán las principales problemáticas que afectan la operación de la maquinaria en minera los pelambres.

Se analizarán punto a punto las fallas más recurrentes que se ocasionan en los CAEX, lo que producen estas fallas y el problema en la operación que se da al tener estas dificultades.

**Capítulo V:** El quinto capítulo del proyecto se basará en la implementación del sensor magnético en los CAEX 930 E4, es el capítulo en donde se describe el problema a resolver en la maquinaria debido a sus constantes detenciones no programadas.

El tipo de sensor a implementar, se explicará por qué se está tratando de mejorar esta falla del equipo, se plasmará de la mejor forma la estandarización de la instalación del sensor con un paso a paso detallado, además todo se explicará a través de planos y puntos de conexión del camión de extracción.

**Capítulo VI:** En el siguiente apartado se darán los resultados de la implementación del sensor magnético en los camiones de extracción, se explicará a través de un gráfico en donde se detalla mes a mes la implementación de la mejora, desde antes de realizar la campaña de ejecución del proyecto, hasta ya tener el 100 % de la mejora realizada.

Teniendo los datos, se puede verificar si la mejora tuvo un efecto positivo o negativo en el tiempo recurrido.

**Capítulo VII:** En las conclusiones se relatará que el proyecto en base a los antecedentes recaudados, ha cumplido con el objetivo de mantener con números favorables la operatividad de la flota de camiones de extracción.

## **CAPITULO II**

### **MARCO TEORICO**

Una de las características esenciales de Chile es su potencial minero, uno de los más grandes del planeta y por lo mismo se requiere una productividad de alto ritmo, donde no haya espacio para fallas tanto mecánicas como humanas.

Es ahí donde entran los camiones mineros de alto tonelaje, verdaderas moles destinadas exclusivamente a las faenas mineras y para las cuales, prácticamente no hay cargas que no puedan llevarse.

Estos vehículos pueden alcanzar fácilmente los 13 metros de largo, 8 de ancho y 8 de alto, tamaño que les permite cargar alrededor de 300 toneladas de carga.

Para tales fines, se cuenta con vehículos de seis ruedas cuyos tamaños se acercan a los 3,5 metros, además de tener un consumo de petróleo de 3.000 litros diarios, casi lo que un vehículo gasta en dos años.

Los Camiones están encargados en transportar el mineral desde la frente de carguío, al chancador o botadero cuando es estéril para seguir dando avance al diseño del rajo mina.

El hecho de imaginarse un gran camión en un rajo minero, no es suficiente para dar cuenta del impacto que tiene este tipo de maquinarias al interior de una compañía minera. El gran valor que tiene un camión es de US \$5 millones y su puesta en marcha en una compañía es entre 6 a 8 meses en poner en funcionamiento el equipo, ya que su traslado desde la fábrica al país, su armado en la faena y sus pruebas iniciales son la gran prueba de fuego y tiene una vida útil de unos 20 años aproximadamente, generando un buen mantenimiento para el cuidado del equipo, realizando los cambios de componentes en las horas correspondiente de vida útil de cada componente que posee el equipo, hoy en la minería chilena hay más de 1000 equipos de alto tonelaje repartidos en distintos puntos del país, desde la mediana minería a la gran minería.

Los camiones deben tener un constante mantenimiento para que mantengan una buena confiabilidad y disponibilidad física, además de mantener su vida útil, para esto existen distintos tipos de mantenimiento que reciben los equipos.

## **2.1 Mantenimiento**

El mantenimiento es el proceso por el cual se revisan a detalle todas las instalaciones, maquinaria, equipo y cualquier elemento de un proceso industrial para detectar fallas y mejoras con el fin de repararlos a tiempo. La importancia del mantenimiento industrial es primordial, ya que hay vidas que dependen del buen funcionamiento del equipo, sin mencionar los procesos y el costo que puede representar una falla en el mismo.

No es una actividad aislada, sino que interactúa con otras áreas de la organización, principalmente con la producción. Por lo tanto, se debe considerar el ciclo de mantenimiento como un ciclo donde influyen tantos factores ligados directamente a la gestión del mantenimiento como factores externos al área.

## **2.2 Mantenimiento Correctivo**

Consiste en la reparación de fallos funcionales a medida que van apareciendo, el personal que identifica los defectos es habitualmente el operador del equipo y avisa al personal de mantenimiento para que realice la reparación. En ciertas oportunidades, el propio operador repara algunas fallas menores.

Bajo un esquema de mantenimiento del tipo correctivo la planificación es escasa y se requieren muchos mantenedores. Las fallas tienden a volverse crónicas empujando a la incorporación de equipos en “stand-by” lo que provoca altos niveles de capital inmovilizado. Las averías tienen efectos desfavorables en la operación, generando detenciones junto a grandes pérdidas en cantidad y calidad.

### **2.3 Mantenimiento Preventivo**

El mantenimiento del tipo preventivo permite disminuir la frecuencia de las paradas no programadas, beneficiando así la producción y permitiendo además preparar herramientas, repuestos, insumos y el personal indicado para la ejecución de las tareas.

Se realiza de manera sistemática en base a tiempo de operación acumulado por el equipo o en base a espacios de tiempo calendario transcurrido. Normalmente se ejecuta con el equipo detenido y sustituyendo o reparando cíclicamente componentes previamente definidos según una pauta de mantenimiento.

### **2.4 Mantenimiento Predictivo**

Este tipo de mantenimiento se vale de herramientas tecnológicas para la identificación de síntomas prematuros de desperfectos o desajustes en los equipos que podrían significar una falla funcional.

A partir de la detección de la falla incipiente, es posible estimar el tiempo de operación hasta la falla y, en consecuencia, destinar el tiempo suficiente para programar la actividad a realizar sobre el equipo. Normalmente se realizan con el equipo en operación.

Algunas técnicas utilizadas por el mantenimiento predictivo son: análisis de vibraciones, termografía, análisis de partículas de desgaste, análisis de amperaje, ultrasonido, emisión acústica, verificación de metales y aleaciones, etc.

### **2.5 Sensor**

Un sensor es un dispositivo preparado para detectar acciones o estímulos externos y responder en consecuencia.

Estos aparatos pueden transformar distintas magnitudes físicas o químicas en magnitudes eléctricas.

Son utilizados en una cantidad inmensa de procesos industriales, ya sea en planta, minería o bien hoy en día hasta en nuestros hogares se pueden utilizar sensores.

## **2.6 Tipos de sensores magnéticos**

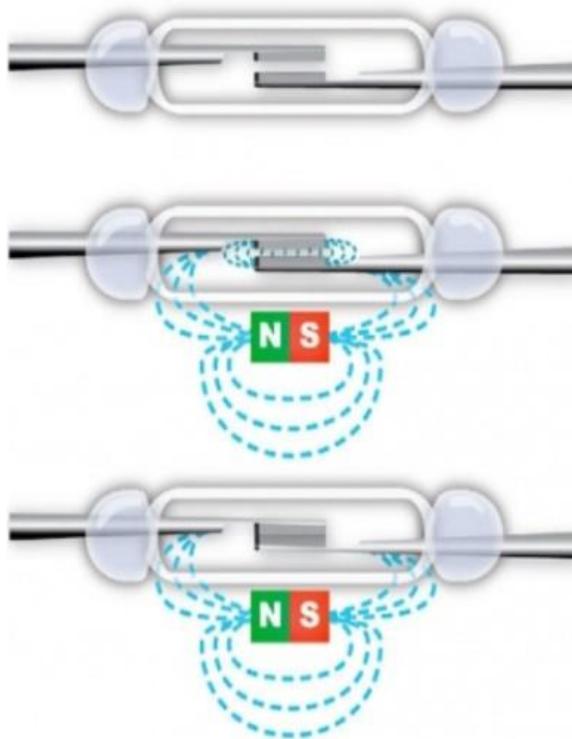
Existen distintos tipos de sensores magnéticos los cuales se accionan por atracción o repulsión de distintos materiales y distintas aplicaciones en el mundo de la industria o en el mundo domiciliario.

Se destaca que su utilización es bastante variada ya sea en altas o bajas temperaturas, áreas peligrosas, procesamiento de metales, etc. A continuación, destacamos y presentamos algunos tipos de sensores magnéticos en los cuales se pensó para realizar el proyecto según sus cualidades.

### **2.6.1 Interruptor Reed**

Consiste en un par de láminas metálicas de materiales ferromagnéticos dentro de una cápsula de vidrio. Las hojas se superponen internamente en la cápsula de vidrio dejando solo un pequeño espacio entre ellas, y se ponen en contacto ante la presencia de un campo magnético adecuado. (Ver la figura N° 2.1)

Poseen un amplio rango de detección en comparación a los otros sensores, su inconveniente es que el detector reacciona solo a un imán.



**Figura N° 2.1: Interruptor Reed**

Fuente: <https://www.shoptronica.com>

### **2.6.2 Sensores émbolo magnético**

Efectúan una conmutación electrónica mediante la presencia de un campo magnético externo, próximo o dentro del área sensible. Estos sensores pueden ser sensibles a los polos del imán o solamente a un solo polo. (Ver la figura N° 2.2)



**Figura N° 2.2: Sensor de embolo magnético.**

Fuente: <https://www.weg.net>

### **2.6.3 Sensores magneto resistivo de efecto hall**

Este tipo de sensor comúnmente es utilizado para el monitoreo de la velocidad y posición de engranajes, huesillos, cremalleras y otros elementos donde el material sea ferroso. (Ver la figura N° 2.3)



**Figura N° 2.3: Sensor magneto resistivo de efecto hall.**

Fuente: [www.weg.net](http://www.weg.net)

#### 2.6.4 Sensores magneto resistivo de efecto pick-up

Principalmente se basa en el principio de la generación de energía eléctrica, genera pulsos analógicos en su salida cuando detecta la presencia de un objeto ferroso, es común utilizarlos para monitoreo de velocidad en ruedas dentadas (engranajes). (Ver la figura N° 2.4)



**Figura N° 2.4: Sensor de imán.**

Fuente: <https://www.weg.net>

#### 2.6 Algunas normas internacionales utilizadas en el Caex

Existen normativas internacionales en los Camiones de alto tonelaje de Komatsu, ya que la fábrica es en Estados Unidos, es donde ponen a prueba su resistencia, potencia, fuerza, energía, pero sobre todo lo más importante el cuidado del medio ambiente, en reducir las emisiones del CO<sub>2</sub>, para así aumentar el uso de las energías renovables, conservar el agua y reducir los residuos. Estas son:

- ✚ **ISO 3471 -1** Criterios de rendimiento para estructuras de protección (ROPS) para máquinas de construcción, movimiento de tierra, forestal y minería. Norma referente a la cabina
  
- ✚ **ISO 3449** Criterios mínimos de rendimiento para la protección contra la caída de los objetos. Norma referente a la cabina

- ✚ **ISO 5006** Campo de visión del operador. Norma referente al operador.
  
- ✚ **ISO 5006** Código de prueba de potencia del motor: encendido por chispa y encendido por compresión potencia nominal bruta. Norma referente al motor
  
- ✚ **ISO 9249** Código de prueba de potencia del motor - encendido por chispa y encendido por compresión - clasificación de potencia neta. Norma referente al motor
  
- ✚ **ISO 5010** Dirección para maquinas fuera de carretera con llantas de goma. Norma referente a los neumáticos.
  
- ✚ **ISO 6393:1998** Medición del ruido exterior emitido por la tierra - maquinaria en movimiento. Referente al sonido del camión.
  
- ✚ **ISO 5010** Sistema dirección para máquinas todo terreno con neumáticos. Norma referente al sistema dirección.
  
- ✚ **ISO 4413** Potencia de fluido hidráulico: reglas generales y requisitos de seguridad para los sistemas y sus componentes. Norma referente del sistema hidráulico.
  
- ✚ **ISO 4413** Propulsión eléctrica. Norma referente al sistema de propulsión
  
- ✚ **ISO 4413** Cables primarios de baja tensión. Norma referente al sistema eléctrico
  
- ✚ **ISO 4413** Tensión nominal del sistema de 24 voltios AC de sistemas eléctricos de camiones. Norma referente al sistema eléctrico en 24 volts

### **CAPÍTULO III**

## **DESCRIPCIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DEL CAMIÓN DE EXTRACCIÓN KOMATSU 930E4**

### **3.1 Antecedentes de la empresa**

Los Pelambres tienen un yacimiento del tipo Porfirio de cobre y molibdeno en el cual se explotan principalmente sulfuros. Su yacimiento posee una ley promedio de 0,51 %.

Las operaciones de explotación se encuentran localizadas a 45 km al este de la ciudad de Salamanca, en la región de Coquimbo, y solo a 1000 metros de la frontera geográfica Chile-Argentina, a una altura de entre 3.100 y 3.600 m.s.n.m.

La extracción del mineral se realiza a través de una mina a rajo abierto, el que luego del proceso de tronadura y carguío es trasladado a través de camiones de alto tonelaje (350 ton.) hasta el sector de chancado primario. Hay el mineral es reducido y luego enviado hacia el área de procesamiento a través de una correa transportadora que recorre 13 kilómetros, acumulándose en un stock pile. Desde ahí el mineral es enviado al sector de chancado, el que contempla 3 molinos SAG y 4 molinos bola, instalaciones que trituran el mineral hasta alcanzar el tamaño adecuado para la liberación de las partículas de cobre.

Una vez alcanzado el tamaño necesario, el mineral entra al proceso de flotación, donde al mineral de cobre sulfurado se le agrega agua, reactivos y aire, y es agitado para hacerlo burbujear, consiguiendo el arrastre a la superficie del mineral que luego pasa al proceso de la concentradora para producir concentrado de cobre, producto que se envía a través de un ducto al puerto Punta Chungo, en Los Vilos. En este lugar el concentrado pasa por un proceso de secado a través del cual se logra la humedad requerida para ser embarcado en los buques que lo conducirán a su destino final, principalmente en Asia y Europa.

La producción del año 2019 de Minera Los Pelambres fue de 363.400 toneladas de cobre fino y 11.200 toneladas de molibdeno y 59.700 toneladas de oro. De esta manera,

mantiene el liderazgo entre las cuatro operaciones del Grupo Antofagasta Minerals en Chile.

El cobre refinado se utiliza preferentemente en aplicaciones eléctricas y térmicas, debido a que es un muy buen conductor de electricidad y calor. También se emplea en algunas aleaciones de metales, tales como el latón y el bronce.

El principal mercado final del cobre refinado es la construcción y los bienes de consumo, que representan aproximadamente el 58 % de la demanda global de cobre. Los productos eléctricos y electrónicos, el transporte y la maquinaria industrial corresponden al 42 % restante.

El proceso de producción del molibdeno también se realiza a través de la flotación.

- ✚ Empresa: Minera los Pelambres
- ✚ Ubicación: Provincia del Choapa, Región de Coquimbo
- ✚ Capacidad de almacenamiento: 210 mil toneladas diarias aproximadamente.



**Figura N° 3.1: Ubicación de minera los pelambres.**

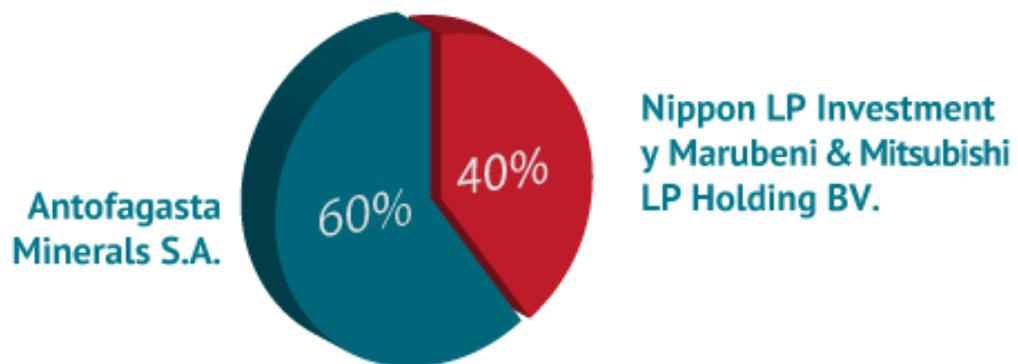
Fuente: <https://www.aminerals.cl/que-hacemos/nuestras-companias/chile/>

### 3.2 Propietarios

Minera Los Pelambres es una sociedad contractual minera que forma parte de Antofagasta Minerals S.A., división minera del grupo Antofagasta PLC, uno de los diez principales productores de cobre a nivel mundial y tercero en el país.

Los accionistas controladores de Minera Los Pelambres son Antofagasta PLC y un consorcio de empresas japonesas compuesto por Nippon Mining & Metals, Mitsubishi Materials, Marubeni y Mitsubishi Corp.

Antofagasta PLC, a través de su brazo minero Antofagasta Minerals, controla el 60 % de la propiedad y es a través de dicha sociedad que administra y controla la gestión de Minera Los Pelambres. (Ver la figura N° 3.2)

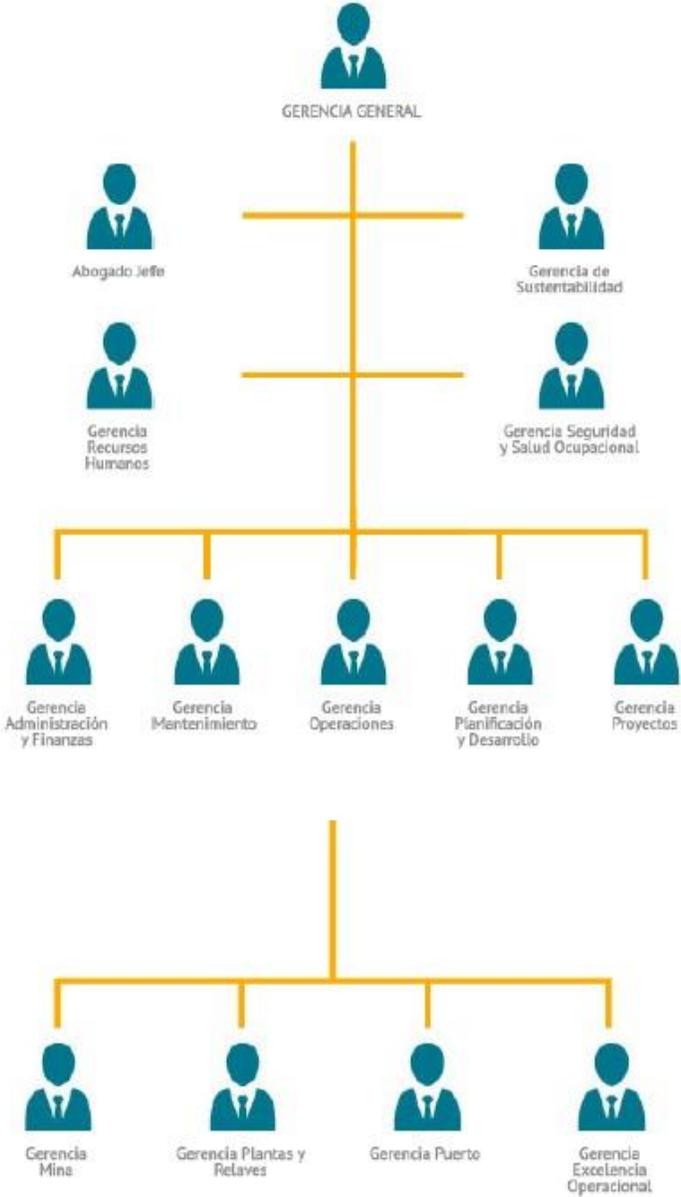


**Figura N° 3.2 Propietario de minera Los Pelambres.**

Fuente: <https://web.pelambres.cl/la-compania-propiedad.html>

### 3.3 Organigrama

A continuación, se muestra en la figura N° 3.3 el organigrama de cargos de Minera Los Pelambres.



**Figura N° 3.3: Organigrama minera pelambres.**

Fuente: <https://web.pelambres.cl/la-compania-propiedad.html>

### 3.4 Valores Organizacionales

El equipo de trabajo de Minera Los Pelambres de Antofagasta Minerals guía sus decisiones y acciones, basándose en sus valores corporativos:

- ✚ Respeto a los demás.
- ✚ Responsabilidad por la seguridad y la salud.
- ✚ Compromiso con la sustentabilidad.
- ✚ Excelencia en el desempeño diario.
- ✚ Innovación como práctica permanente.
- ✚ Ser visionarios.

### 3.5 Proceso Productivo

Desde los cerros se extrae el material que contiene los minerales, los cuales son obtenidos mediante los siguientes procesos:

- ✚ Planificación minera.
- ✚ Perforación y tronadura.
- ✚ Carguío y transporte.
- ✚ Chancado y correas.

La planta concentradora procesa un promedio de 210.000 toneladas diarias. Luego de que el material es procesado, el mineral chancado es transportado hasta los molinos, donde es triturado hasta alcanzar el tamaño de liberación de las partículas de cobre.

Durante el proceso de flotación, al mineral de cobre sulfurado se le agrega agua, reactivos, aire y es agitado para hacerlo burbujear, consiguiendo el arrastre a la superficie del mineral que se convertirá en concentrado de cobre a ser enviado por un ducto a Puerto los Vilos.

El proceso de producción del molibdeno también se realiza a través de la flotación. Finalmente se transporta a la ciudad de Los Vilos en el Puerto Punta Chungo donde tiene un promedio de carga de 6 barcos mensuales los cuales son destinados a Europa y Asia.

### **3.6 Camiones Komatsu 930 E**

Se llaman así a las maquinas en donde se produce la operación en el área mina. Existen diversos tipos según sus distintas aplicaciones y distinto nivel de tonelaje, el más importante y por describir es el camión Komatsu 930E-4. El cual es un camión de descarga trasera con el mando eléctrico trasero AC. El peso bruto es de 385,852 kg, su motor es un Komatsu SDA 18V 170, Provee una potencia neta al volante de 2495 [kW] 3346 [HP], con una excelente productividad y rendimiento en el consumo del combustible.

Mediante el uso de diseños computacionales, análisis de elementos y pruebas dinámicas y estáticas a gran escala, el diseño del chasis ha sido estructuralmente mejorado, permitiendo acarrear 290 toneladas o 320 toneladas cortas, entregando la más alta confiabilidad de la industria. La fuente de energía para operar el camión 930 E4 es un motor diésel al que se encuentra acoplado un alternador.

El alternador convierte la energía mecánica del motor diésel en energía eléctrica la que mediante sistemas de control y comandos hará posible los movimientos del equipo.

La energía eléctrica producida por el alternador, es controlada por un sistema de control para ser aplicada a los motores de tracción, los que accionarán las ruedas del equipo para realizar los movimientos del avance, retroceso y dirección del movimiento del equipo. Esto es una conversión de energía eléctrica a mecánica.

La energía que posee el equipo una vez que este se ha puesto en movimiento, se utiliza para producir el efecto de retardo dinámico, el que reduce la velocidad del camión según lo solicite el operador.

Esto se consigue transformando los motores de tracción en generadores, los que giran por la energía de movimiento de la rueda del camión, produciendo energía eléctrica controlada por el sistema de control.

Esta energía es conducida a grupos de resistencias eléctricas (banco de parrillas), en donde el paso de la corriente produce energía calórica. La energía calórica se disipa finalmente por el paso de un caudal de aire producido por un sistema de ventilación (motor Blower).

Los controles eléctricos dan una operación suave en respuesta a las señales recibidas por el operador, con esto el operador queda habilitado para:

- ✚ Acelerar desde la velocidad cero hasta la velocidad máxima presionando un pedal de aceleración.
  
- ✚ Tener el control pleno de la velocidad del camión, siempre que esta velocidad este dentro del valor máximo permitido según la relación carga, velocidad y pendiente, a través del retardo dinámico, presionando el pedal de retardo. Si la velocidad está fuera del rango máximo permitido, se deberá disminuir está aplicando el pedal de freno de servicio, hasta que se obtenga la velocidad de control permitida.
  
- ✚ Obtener o seleccionar la dirección del desplazamiento del camión, según requerimiento a través de un selector de marchas.

En la siguiente figura N° 3.4 vemos el camión Komatsu 930 E.

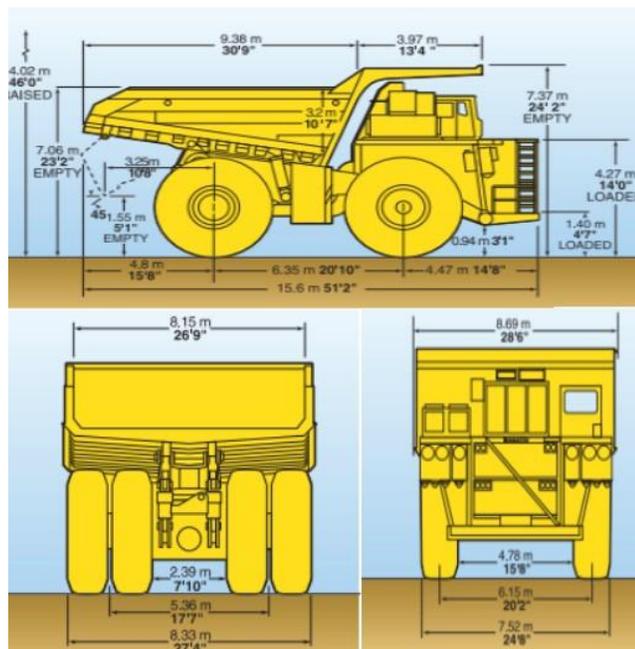


**Figura N° 3.4: Camión Komatsu 930E.**

Fuente: Shop Manual 930E-4 Serial Numbers A31056-A31162.

### 3.6.1 Especificaciones técnicas

En la siguiente figura 3.5 podemos ver las especificaciones técnicas del camión Komatsu 930E.



**Figura N° 3.5: Dimensiones del camión de extracción.**

Fuente: Shop Manual 930E-4 serial numbers A31056 – A31162.

A continuación, podemos observar las siguientes tablas con especificaciones del camión Komatsu 930E. La tabla 3.1 nos indica específicamente información de la carga del camión y de los tiempos de movimiento de la tolva.

**Tabla N° 3.1: Especificación Vertedera.**

Datos generales camión	Especificaciones
Carga útil nominal	291.659,9 kg.
Capacidad de carga al ras del borde	171 m <sup>3</sup>
Capacidad de carga colmado	211 m <sup>3</sup>
Ángulo de descarga	45 grados
Tiempo de elevación	21 seg.
Tiempo de bajada	23 seg.
Velocidad Máxima	64.5 km/h

Las siguientes especificaciones de tabla 3.2 son del camión 930E, indican el peso.

**Tabla N° 3.2: Peso.**

Carga del camión	Cantidad
Peso sin carga	30.362 kg
Distribución del peso frontal sin carga	48.5 %
Distribución del peso trasero sin carga	51.5 %
Distribución del peso frontal con carga	32.8 %
Distribución del peso trasero con carga	67.2 %

La siguiente tabla 3.3 nos especifica datos de motor y de su placa.

**Tabla N° 3.3: Motor.**

Información general	Datos de motor
Fabricante	Komatsu
Modelo	SSDA18V170
Potencia efectiva	2.558 kW
Potencia Total	2.611 kW
Número de cilindros	18

La siguiente tabla 3.4 del camión 930E nos especifica datos de capacidad de servicio.

**Tabla N° 3.4: Capacidad de servicio.**

Capacidad de servicio	Cantidad
Volumen de combustible	5.300 L
Volumen del fluido del sistema refrigerante	719 L
Volumen del fluido del sistema de dirección	947 L
Volumen del fluido del sistema hidráulico	1.325 L

La siguiente tabla 3.5 del camión 930E nos especifica las dimensiones de distintas áreas.

**Tabla N° 3.5: Dimensiones.**

Lugar de medición	Dimensiones
Eje de ruedas	6.350 mm
Altura de descarga	14.020 mm
Longitud Total	15.600 mm
Anchura Total	8.690 mm

### **3.6.2 Alternador Principal**

El motor diésel acciona un alternador en línea a velocidad del motor. El alternador produce corriente AC, que es rectificadora a DC dentro del gabinete de control principal. La corriente DC rectificadora se vuelve a convertir en AC por medio de grupos de dispositivos llamados inversores, ubicados en el gabinete de control principal.

Cada inversor consta de seis módulos de fase bajo el control de un convertidor de potencia accionador de compuerta (GDPC). Los dos GDPC controlan la operación de cada módulo de fase.

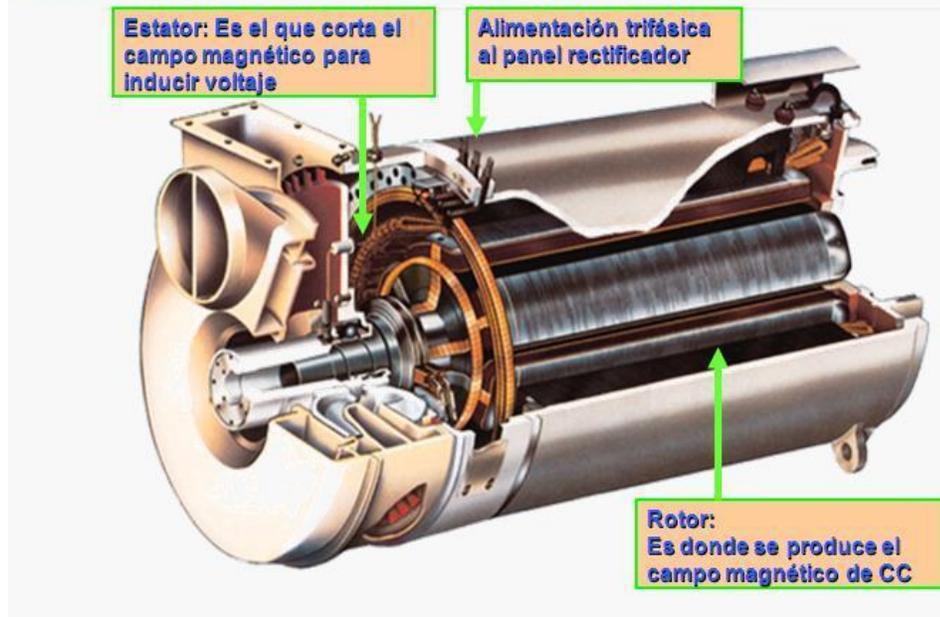
Cada módulo de fase contiene interruptores semiconductores apareados positivos y negativos conocidos como transistores bipolares de compuerta aislados (IGBT).

Los IGBT activan y desactivan un ciclo a diversas frecuencias para crear una señal de energía AC desde el suministro DC.

La señal de energía AC producida por cada inversor es una señal de voltaje variable (VWF). La frecuencia y el voltaje se cambian para ajustarse a las condiciones de operación.

El aire de enfriado para el grupo de control /potencia y motores de rueda, así como también el alternador mismo, es proporcionado por ventiladores duales ubicados en el eje del alternador. (Ver la figura N° 3.6)

## Alternador Principal GE GTA



**Figura N° 3.6: Alternador principal.**

Fuente: Shop manual serial numbers A31056-A31162

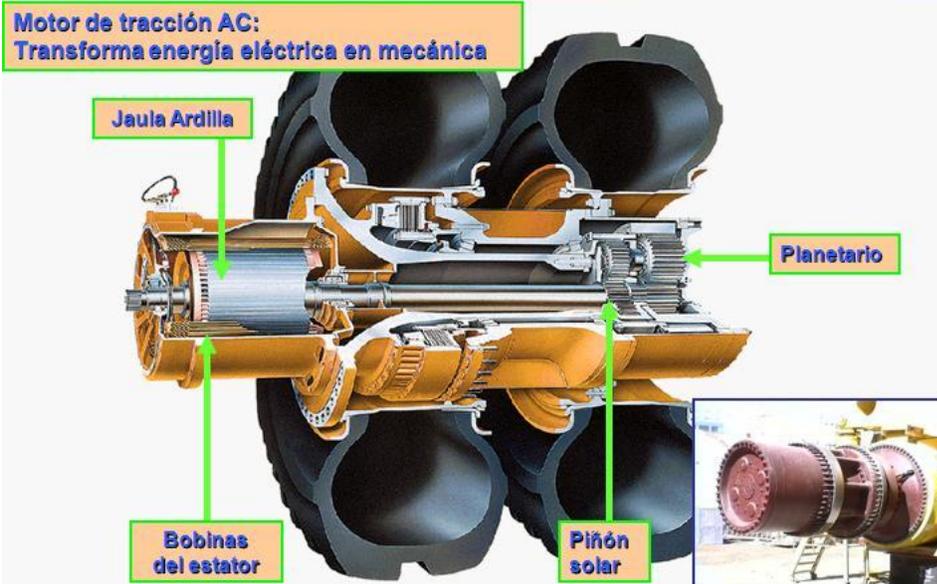
### 3.6.3 Rueda Motorizada con Tracción por Inducción AC.

La salida del alternador suministra energía eléctrica a los dos motores de rueda que van a la caja del eje trasero. Las ruedas motorizadas utilizan motores de inducción AC trifásicos con energía AC en onda total.

Los dos motores de rueda convierten la energía eléctrica de vuelta a energía mecánica a través de los trenes de engranajes incorporados dentro del conjunto del motor de la rueda.

La dirección de los motores de rueda es controlada por un interruptor selector manual de avance o retroceso ubicado en la consola central. (Ver la figura N° 3.7)

## Motor de Tracción



**Figura N° 3.7: Motor de tracción.**

Fuente: Shop manual serial numbers A31056-A31162

### 3.6.4 Suspensión

Los cilindros de suspensión ubicados en cada rueda proporcionan un funcionamiento suave y cómodo para el operador y amortiguan las cargas de impacto al chasis durante el carguío y operación.

Los cilindros de dirección es el elemento principal de accionamiento de la dirección, que transforma la energía hidráulica en movimiento mecánico de los componentes de la dirección.

Los cilindros de dirección están conectados a los extremos al chasis del camión y del otro extremo, a los brazos de la dirección, a la vez sus brazos están montados bajo las suspensiones frontales las que se encuentran conectadas entre sí por la barra de dirección. Estos mecanismos de fijación son por un pasador y rotulas. (Ver la figura Nª 3.8)



**Figura N° 3.8: Suspensión.**

Fuente: Operación y mantenimiento de manual Komatsu

### **3.6.5 Cabina del operador**

La cabina del operador ha sido diseñada para comodidad del operador y para permitir una operación segura y eficiente del camión.

La cabina proporciona gran visibilidad, con una estructura integral ROPS, de 4 pilares, y un avanzado ambiente análogo para el operador. Incluye parabrisas de seguridad polarizados y ventanas laterales con alza vidrios, asiento ajustable e inclinable con soporte lumbar, volante regulable y un panel de instrumentos análogo que entrega al operador todos los instrumentos y medidores necesarios para controlar y/o monitorear los sistemas de operación del camión. (Ver la figura N° 3.9)



**Figura N° 3.9: Cabina del operador.**

Fuente: Operación y mantenimiento de manual Komatsu

### **3.6.6 Servodirección**

El camión está equipado con un completo sistema de servodirección que proporciona control de dirección positivo con un mínimo de esfuerzo del operador. El sistema incluye acumuladores de dirección cargados con nitrógeno que proporcionan de manera automática potencia de emergencia, si la presión hidráulica de dirección cae por debajo del mínimo establecido 1400 psi.

La función de los acumuladores de dirección es acumular energía hidráulica en caso de fallar la bomba de dirección, además permite estabilizar la presión es un amortiguador. Cuenta con un sensor de presión el cual detecta la baja precarga de gas, el gas utilizado por el acumulador de dirección es nitrógeno seco y se encuentra precargado el sistema con 1400 psi. (Ver la figura N° 3.10)



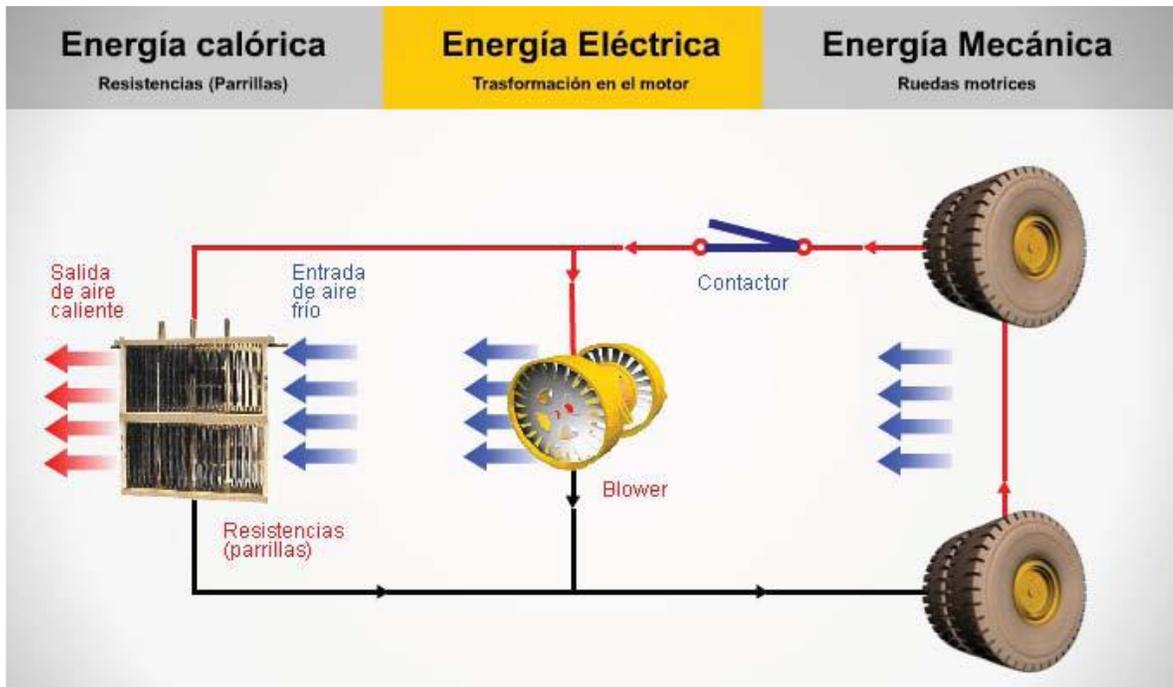
**Figura N° 3.10: Acumulador de dirección.**

Fuente: Operación y mantenimiento manual Komatsu.

### **3.6.7 Retardo Dinámico**

El retardo dinámico se usa para reducir la velocidad del camión durante una operación normal o para controlar la velocidad al bajar por una pendiente.

La capacidad del retardo dinámico del sistema eléctrico es controlada por el operador presionando el pedal de retardo en la cabina y ajustando el control de velocidad del retardador RSC, El retardo dinámico se activa automáticamente si el camión excede el ajuste de sobre velocidad establecido. (Ver la figura N° 3.11)



**Figura N° 3.11: Retador dinámico.**

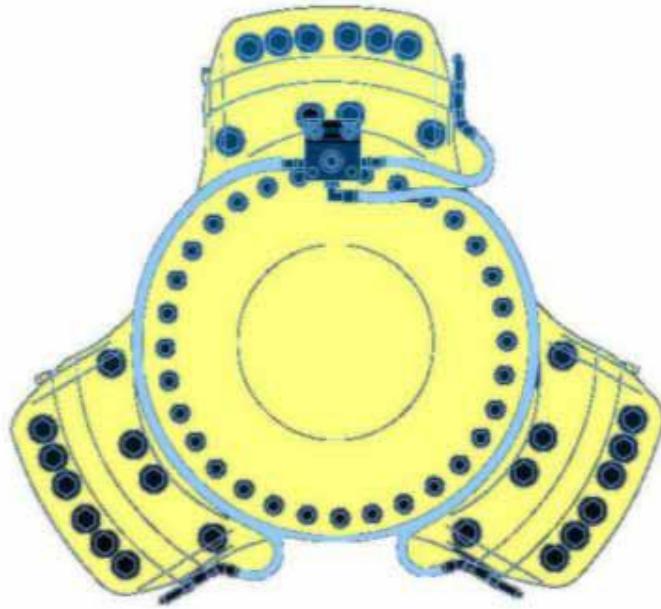
Fuente: Operación y mantenimiento manual Komatsu.

### 3.6.8 Sistema de Frenos

Los frenos de servicio en cada rueda son frenos de disco múltiple enfriados por aceite aplicados por un sistema de accionamiento completamente hidráulico.

Al presionar el pedal de freno se acciona tanto los frenos de disco delanteros como traseros después de aplicar el retardador por primera vez. Todos los frenos de rueda se aplicarán automáticamente si la presión del sistema cae por debajo del límite preestablecido.

El freno de estacionamiento es del tipo de disco seco, montado al interior de cada rueda de motor trasera y se aplica por resorte y se libera hidráulicamente con protección de aplicación de velocidad de la rueda (no se aplicará con el equipo en movimiento). (Ver la figura N° 3.12)



**Figura N° 3.12: Sistema de frenos.**

Fuente: Operación y mantenimiento de manual Komatsu

## **CAPÍTULO IV**

### **DESCRIPCIÓN DE LAS FALLAS DEL CAMIÓN DE EXTRACCIÓN**

Los camiones de alto tonelaje no están lejanos a las fallas, no obstante, antes de subir a cabina a operar el equipo se realiza un chequeo pre operacional, el cual busca anomalías en el camión, como por ejemplo fugas, pernos cortados, escaleras en mal estado, neumáticos rasgados.

Ya instalados en cabina y con el camión en ruta, lo ideal fuese que el equipo esté operando durante día y la noche, aunque se entiende que manejar un vehículo de tal magnitud no es cosa sencilla, se requiere un dominio absoluto de todos los conocimientos teóricos y prácticos para que las labores al mando de estos verdaderos monstruos sean efectivas, para lo cual un curso de capacitación es la mejor herramienta.

En cuanto a las fallas más recurrentes en el equipo podemos encontrar:

- ✚ Falla en el sistema de aire acondicionado.
- ✚ Falla en el panel AID.
- ✚ Falla en el sistema de 24 volts.
- ✚ Barandas sueltas.
- ✚ Espejos quebrados.
- ✚ Falla en el sensor de tolva arriba.
- ✚ Alto voltaje en banco parrillas.
- ✚ Falla en sistema de engrase.

Como ya se sabe nuestro tema principal es el sensor de tolva arriba, este sensor detecta una falla en el panel AID en cabina, cuando prende una luz de color amarillo o de color ámbar, significa que es una alarma de advertencia, dicho esto no es necesario detener el camión de forma inmediata pero si dar aviso a los técnicos mantenedores o técnico de terreno de la empresa correspondiente, en este caso Komatsu debe arreglar y reparar la falla para dar una mayor tranquilidad al operador y sienta que es un equipo confiable.

El técnico realizará un diagnóstico mediante la observación y lectura de plano si es necesario, ingresara al laptop y se descargaran datos del equipo para tener una lectura más precisa de las fallas del camión, se ingresa al panel DID (parte trasera de la cabina para ver parámetros o que códigos arroja), para finalmente saber y utilizar las herramientas que corresponden a la falla.

Luego se genera y gestiona una ficha de intervención del equipo, para así generar los planes de acción inmediata debido a la falla, se le informa al jefe de turno o al especialista senior para que tenga conocimiento y vea en sus registros si es una falla reiterativa o nueva.

#### 4.1 Falla en el sistema de aire acondicionado

El sistema de aire acondicionado es un sistema complejo, se necesita de su buena mantención y un buen trabajo en la verificación de las presiones, verificación en los grados Celsius, en la verificación del sellado de cabina para la no entrada de polvo, verificación en la temperatura del compresor, donde debe ser bajo los 30 grados Celsius, en el caex es importante un buen chequeo para evitar el desgaste del sistema y la pérdida del gas del sistema.

Por otra parte, este sistema no arroja ningún tipo de código solo el llamado del operador y un buen conocimiento del técnico para encontrar la falla de forma rápida. (Ver la figura N° 4.1)

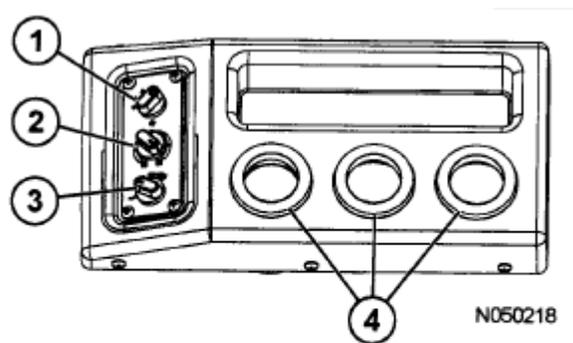


FIGURA 32-6. CONTROLES DEL CALEFACTOR / AIRE ACONDICIONADO



### **4.3 Falla en el sistema de 24 volts**

Las fallas en este sistema son muy amplias, por tanto, abarcan la mayor parte del camión, de modo que están incluidos el sistema de 24 volts, donde existen fallas en luces frontales, traseras, trochas o intermitentes traseros, luces de despeje, señal de viraje, luces de escalera, luces de motor, neblineros, bocina, alarma de retroceso, con lo que hemos indicado es un sistema amplio, pero con la ayuda de los planos, es de más fácil acceso a encontrar las fallas que nos indica este sistema.

### **4.4 Barandas sueltas**

Una de las fallas recurrentes en el caex son las barandas sueltas o quebradas que nos impiden la operación del equipo por protocolo del grupo AMSA, está prohibido operar el equipo en esa condición.

### **4.5 Falla en el sistema de engrase**

El sistema de engrase es el sistema de lubricación del camión de los que están ubicados en distintos lugares del caex, por lo que tiene 6 puntos de engrase delanteros para barras de dirección y en la parte trasera con 13 inyectores para distintos puntos como cilindro de levantes, suspensiones traseras, pasador central etc.

Este es un sistema controlado por un timer, que actúa como controlador y/o temporizador con un ciclo activo cada 24 minutos y con un depósito de grasa que hace 41 kilos, este sistema genera fallas por bajo nivel en el sistema o por no llegar la presión de 2000 psi al banco trasero de grasa, donde tiene una línea de suministro y deriva la grasa para uno de los 13 puntos indicados anteriormente, para buscar las fallas se debe de ir al plano, el circuito está compuesto por relé, fusible y líneas eléctricas .

#### **4.6 Alto voltaje en banco de parrilla**

Las fallas más recurrentes en el banco de parrilla son los altos voltajes o pick eléctricos, sobre temperatura por arcos eléctricos, cortocircuitos, suciedad en las mismas parrillas, la falta de torque, cintas resistoras sueltas. Por la falta de ventilación que hacen en conjunto a los Blower que son los que enfrían las parrillas.

#### **4.7 Bajo nivel de aceite hidráulico**

Las fallas por bajo nivel son los sensores ubicados en la parte trasera del estanque hidráulico donde el sensor falla por suciedad y no cumple su función, donde funciona con una línea eléctrica que se desconecta y genera alarma en el panel AID.

#### **4.8 Falla en marcador de combustible**

La falla de este sistema se asocia en conjunto al marcador de combustible del estanque y al marcador de cabina, donde trabajan en simultáneo mediante un flotador dentro del estanque. Por lo tanto, las fallas pueden ser el cableado de estanque, cables defectuosos, marcador en malas condiciones, el bajo nivel de combustible bajo  $\frac{1}{4}$ .

## **CAPÍTULO V**

### **IMPLEMENTACIÓN DEL SENSOR MAGNÉTICO EN CAMIÓN DE EXTRACCIÓN KOMATSU 930E4**

Ya que no se cuenta con un sistema de detección de buena calidad en los camiones de extracción Komatsu 930E4, además que no se cuenta con un procedimiento de cambio o de instalación del sensor, se procederá a implementar un nuevo sensor de proximidad que evitará las constantes fallas en el sistema de tolva del camión, además de estandarizar la implementación para tener materiales en stock y un paso a paso que ayude al técnico al instalarlo.

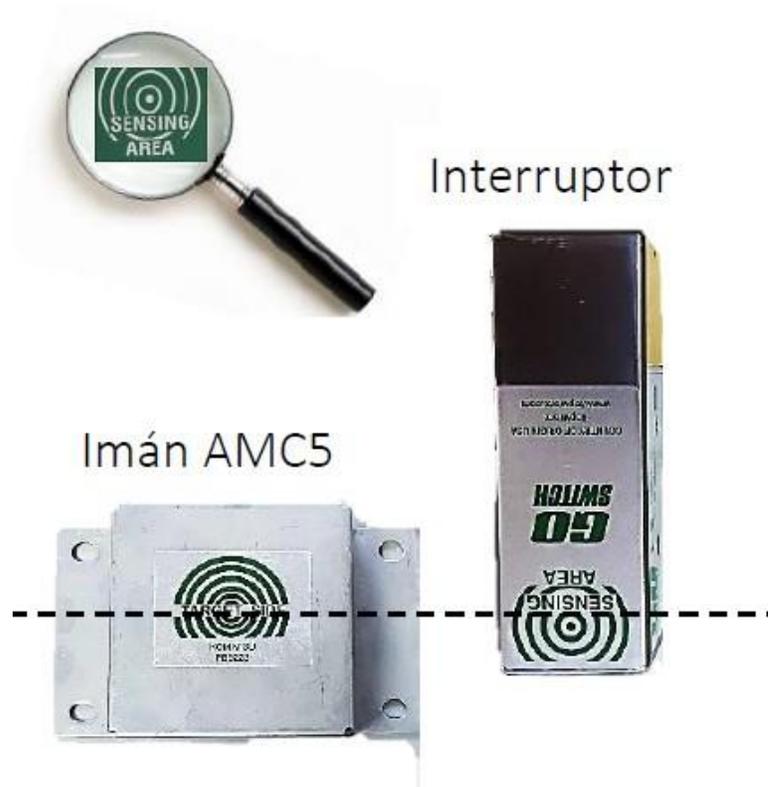
El sensor que poseen los camiones de extracción es un switch, que es de varilla, la tolva al hacer contacto y activar este switch, este da aviso al operador para que pueda continuar el tránsito en mina.

Esto ocurre constantemente, por lo que se busca la solución para este caso, ya que la varilla se quiebra al tener contacto con la tolva, se dobla y no hace buen contacto lo cual trae repercusiones en los operadores de los camiones que tienen que proceder a llevar el camión a mantenimiento y tener pérdidas operacionales.

La implementación del sensor magnético de proximidad de tolva arriba es el nuevo sistema que se implementará, donde está definido en disminuir las fallas en el panel de luces AID, donde enciende una luz de color ámbar o amarilla de advertencia al operador para avisar que tiene problemas, al ocurrir este evento el operador sabe que tiene problemas y debe llevar el camión a mantenedores, con este nuevo sistema esperamos evitar las constantes fallas durante la operación del Caex , arrojando mejor disponibilidad del equipo y mayor confiabilidad en sus labores.

El interruptor magnético de proximidad se instalará viene equipado con el imán AMC5, que es más versátil y de mayor durabilidad que el antiguo sensor de tolva arriba.

El imán AMC5 otorga una mayor distancia de trabajo de aproximadamente de 80 mm esto sumados a los 10 mm que ya posee el interruptor magnético logra una distancia segura de trabajo de hasta 90 mm, eso hace que el cierre o apertura del circuito sea asegurado de forma correcta sin la necesidad de tener un contacto físico entre las piezas, las cuales sufrirían desgaste y daños. (Ver la figura N° 5.0)



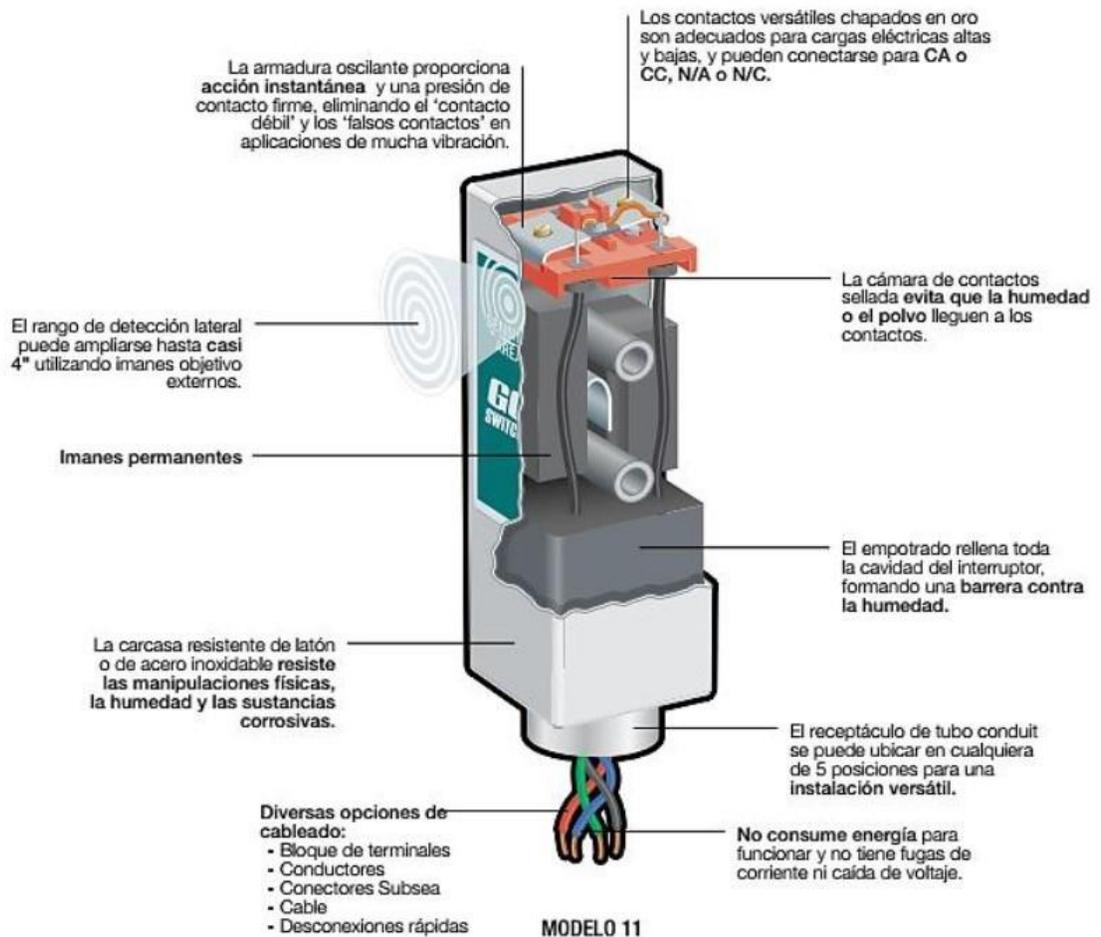
**Figura N° 5.0: Imán AMC5.**

Fuente: [www.topworx.com](http://www.topworx.com)

El sensor que se utilizó en la implementación es de buena calidad por sus componentes que lo conforman, ya que resiste los ambientes corrosivos y humedad, que es importante para utilizarlo en el camión de alto tonelaje por los ambientes hostiles que transita en el día a día. (Ver la figura N° 5.1)



## Interruptores GO™ Switch características y beneficios:

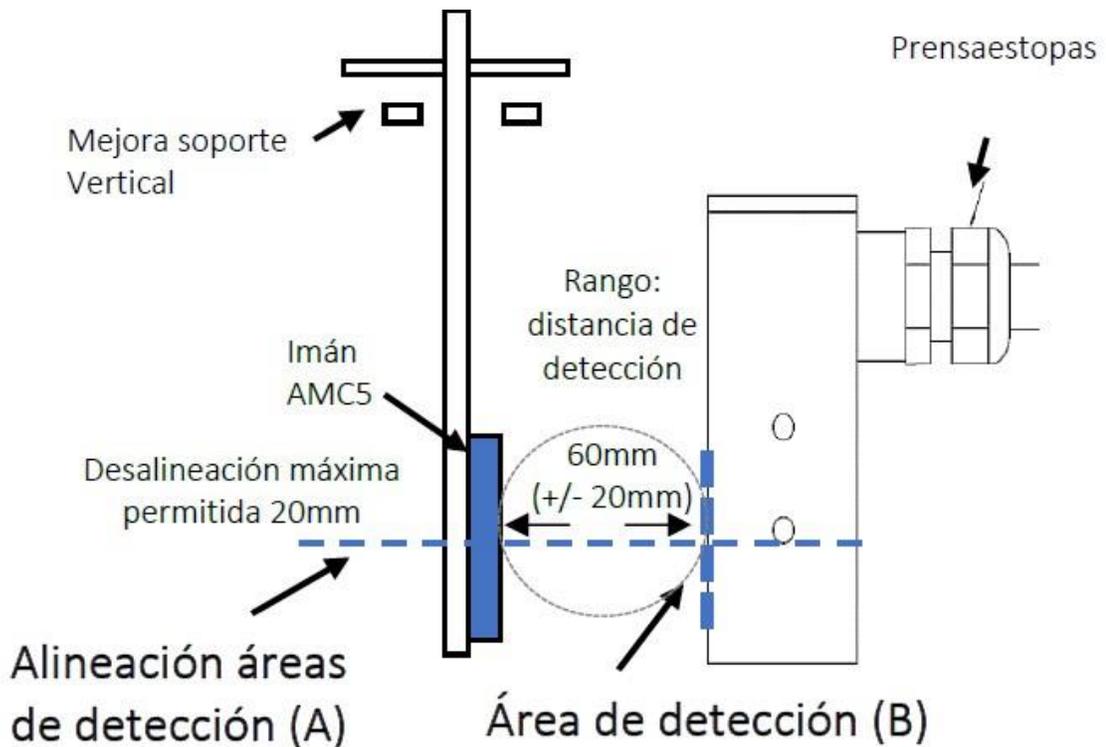


**Figura N° 5.1: Sensor de imán.**

Fuente: [www.topworx.com](http://www.topworx.com)

Es imprescindible que las áreas de detección tanto del interruptor de proximidad como el del imán AMC5 estén lo más alineado posible, con un límite máximo de 20 mm de desalineamiento. La distancia a la que debe quedar el interruptor con el imán debe ser del 60 mm +/- 20mm. (Ver la figura N° 5.2)

Ya con esta implementación se le da una estandarización a cada instalación del sensor en los CAEX, teniendo en cuenta las distancias de montaje para una buena detección y actuación.



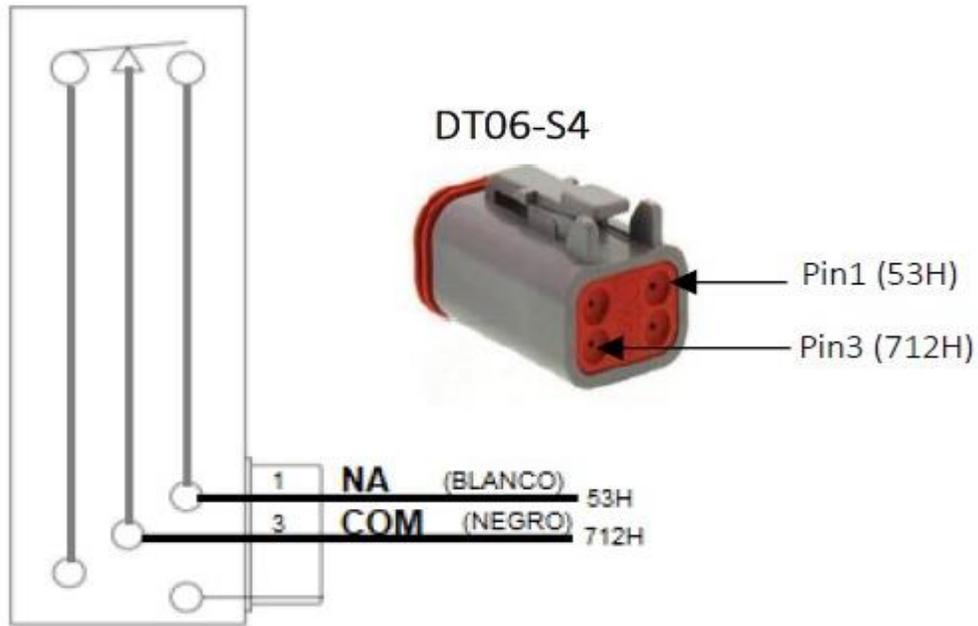
**Figura N° 5.2: Distancia de detección de sensor.**

Fuente: Departamento técnico KCH, MLP.

### 5.1 Plano de conexión

Teniendo los planos eléctricos de los caex, se buscaron ciertos puntos de conexión en la maquinas los cuales se estandarizarán para la utilización de la implementación.

Los puntos de conexión del sensor de proximidad están dados y estándar para toda la flota de camiones extracción Komatsu 930E. En donde se utilizará en el PIN 1 el circuito 53H y en el PIN 3 el circuito 712H donde el conector DT06-S4. Mientras que para el sensor de proximidad se utilizara un conector tipo DT04-4P y se utilizara el PIN 1 cable color blanco en circuito 53H y el PIN 3 cable color negro el circuito 712H. (Ver la figura N° 5.3)



**Figura N° 5.3: Plano conexión sensor de proximidad.**

Fuente: Departamento técnico KCH, MLP.

Estos son los puntos de conexión del interruptor de proximidad en el caex.

**Tabla N° 5.1: Conectora DT04-4P (interruptor proximidad).**

PIN	Color cable	Contacto	Circuito
1	Blanco	NA	53H
2	Rojo	NC	-
3	Negro	COM	712H
4	Verde/Amarillo	Tierra	-

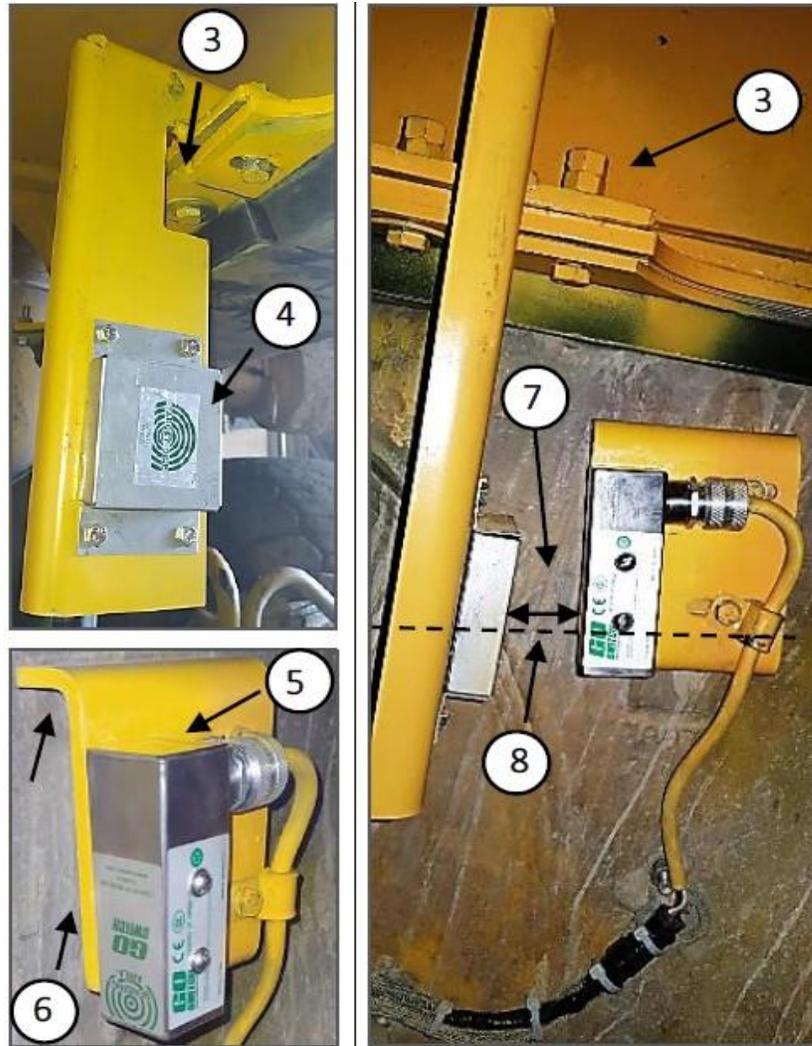
## 5.2 Estandarización de la implementación

La estandarización que se quiere proceder a implementar debe ser para los 56 camiones de extracción que se encuentran en mina los pelambres, se requiere de stock y de un plan de mantenimiento, donde se valla realizando paulatinamente hasta completar toda la flota.

De esta forma se trabajó en un plan paso a paso, para que los técnicos a ejecutar la tarea sigan los puntos sin grandes dudas de cómo implementar la mejora. Los pasos son:

1. En primer lugar, revisar y verificar si se cuenta con todos los repuestos, insumos y herramientas.
2. La tolva debe estar siempre soportada en el chasis (tolva abajo).
3. Se debe instalar soporte vertical (pletina) fijándolo entre la unión de las almohadillas 1 y 2 del lado derecho del chasis (Ver la figura N°5.4).
4. Instalar el imán AMC5 al soporte vertical con pernos, golillas y tuercas. (Ver la figura N°5.4).
5. Instalar el interruptor magnético GO SWITCH a la base de montaje por el lado puesto de la curvatura. (Ver la figura N°5.4).
6. Fije la base de montaje al bloque soldado del chasis, no realizar apriete hasta tener la regulación del rango de trabajo. (Ver la figura N°5.4)
7. Verifique que el rango de detección entre el interruptor de proximidad y el imán AMC5 este en un rango de 60mm +/- 20mm.
8. Verificar que el centro de las áreas de detección del interruptor de proximidad y al imán AMC5 estén lo más alineado posible (desalineamiento máximo permitido 20 mm).
9. Nota: Si en el punto anterior (N°8) no se cumple debido a la ubicación incorrecta se debe reubicar.
10. Se realiza la conexión eléctrica utilizando el kit de conector DT06-4S
11. Se realiza pruebas de funcionamiento.

A continuación, podemos ver la figura N° 5.4 especificando el paso a paso de la implementación.



**Figura N° 5.4: Montaje sensor de proximidad.**

Fuente: Fotos propias

## **CAPITULO VI**

### **ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DE LA IMPLEMENTACIÓN DE SENSOR MAGNÉTICO**

Teniendo la implementación en el 100 % de la flota de camiones de extracción Komatsu 930 E4, se puede comenzar a analizar el resultado y ver si la mejora propuesta tuvo éxito.

En primera instancia se analizará los datos recopilados de dos años del departamento técnico, en donde se puede apreciar el ingreso de camiones de extracción al taller de reparación por las fallas en el sensor de tolva.

Se puede ver dos gráficos, el primer esquema nos muestra las fallas que tenía el sensor de tolva de varilla (antiguo sensor instalado en camión), donde presentaba problemas constantemente en el sistema, siendo uno de los motivos por el cual se realizó la mejora, en este caso se puede evaluar la cantidad de veces que fue llevado a taller mensualmente por este motivo.

En el segundo grafico se puede ver que desde enero de 2021 a julio de 2021 se realizó la campaña en la flota completa de 56 Camiones de extracción, nos muestra que el sistema no era muy confiable y presentaba fallas de igual forma, esto debido a su mala instalación y por estar en proceso la campaña de instalación a todo el sistema, luego podemos notar que desde agosto del 2021 al mes de diciembre del 2021, la flota se pudo estabilizar y se encontró el equilibrio de la nueva mejora del sistema de levante de tolva, donde el sensor de imán ha cumplido a cabalidad, logrando una mejor disponibilidad, mejor confiabilidad en la flota y generando mejores estadísticas para la operación de los camiones de extracción.

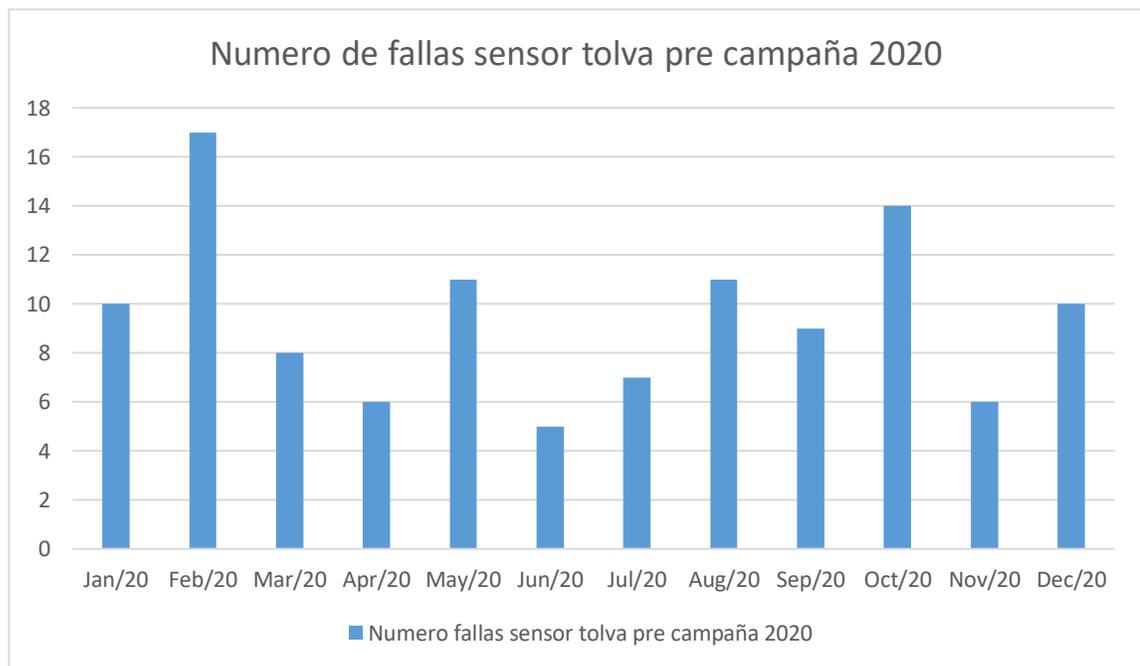
Se puede destacar que en el mes de septiembre de 2021 no ingresaron equipos a taller por esta condición logrando una cifra positiva en cuanto a la mejora.

Por lo tanto, el sensor de proximidad a cumplido su función para dar una mejor seguridad en la operación y para brindar el éxito en la flota con menos detenciones.

Hoy en día el sensor ha sido una mejora que se ha empezado a implementar a nivel nacional dando resultados positivos en muchos equipos que se ha realizado su instalación.

### 5.1 Campaña de instalación de sensor magnético:

La gráfica mostrada en la figura N° 5.1 se utilizaron datos del taller de mantención de Komatsu, en donde las solicitudes a reparaciones del sensor de tolva, el cual afectaba la producción teniendo mayores equipos en taller dentro del mes.

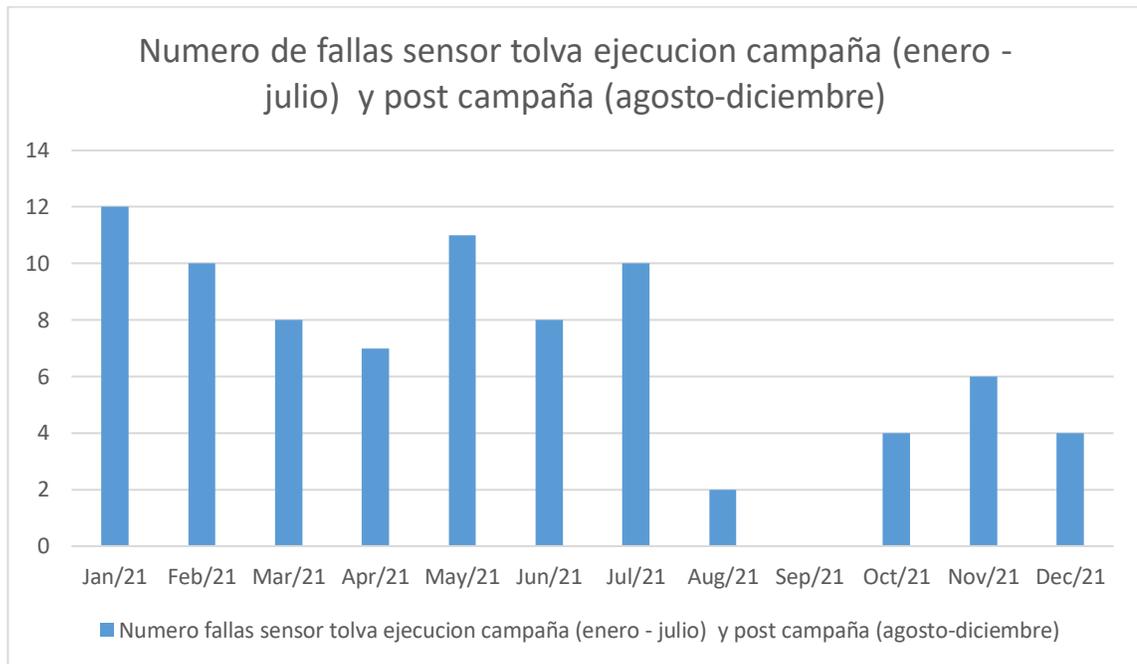


**Figura N° 5.1: Gráfico de fallas antes de la instalación de sensor año 2020.**

Fuente: Datos recabados de área mantenimiento Komatsu.

Podemos ver que dentro de los primeros seis meses los índices de fallas seguían altos, esto se debió a que la implementación iba en curso, a pesar de tener el plan paso a paso la estandarización necesitaba afinar detalles y teniendo en cuenta que había varios

camiones que aún no se les implementaba la mejora. (Ver la figura N° 5.2)



**Figura N° 5.2: Gráfico campaña de instalación sensor año 2021.**

Fuente: Datos recabados de área mantenimiento Komatsu.

Ya en el segundo semestre se ve un gran descenso de esta falla, teniendo en noviembre la disminución en seis caex, por lo que no superan en cantidad a los meses anteriores.

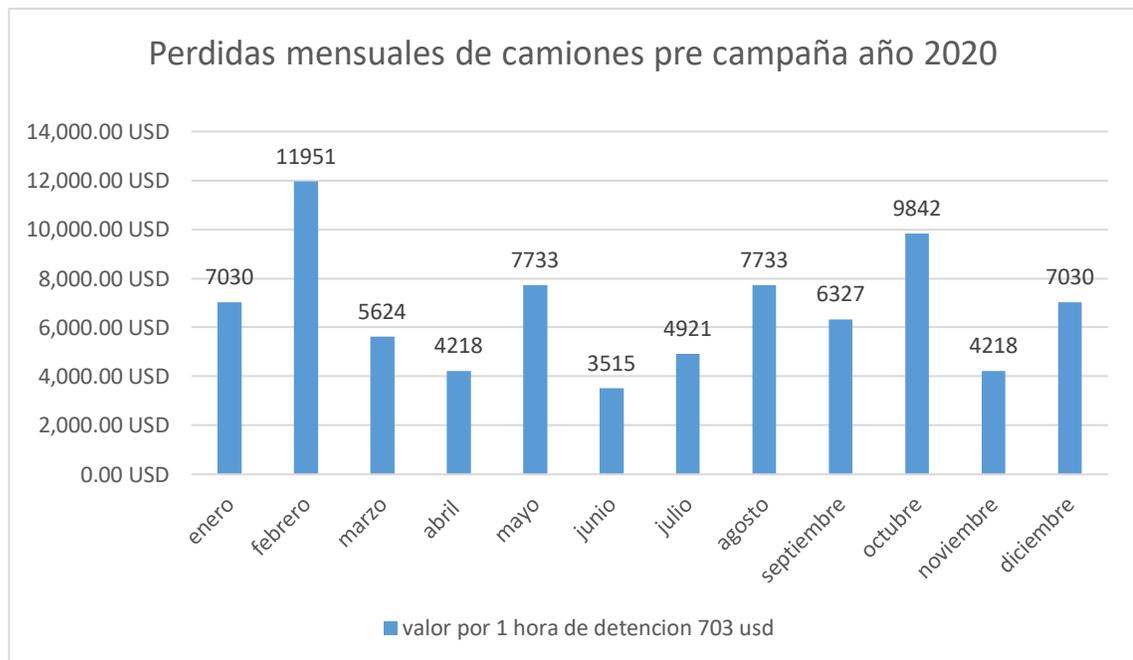
## 5.2 Costos asociados a la implementación del sensor en el camión:

Teniendo en cuenta el resultado positivo que nos ha dado la implementación del sensor en el caex, en cuanto a reducir la cantidad de detenciones a taller de los camiones, podemos fijarnos en los costos asociados a esta implementación.

Un día de trabajo de un caex en promedio es de 17.5 horas, si el camión realiza tramos cortos de viajes puede hacer hasta 20 ciclos, a 310 toneladas promedio por viaje, al final de cuentas se puede tener un aproximado de 3100 toneladas diarias de un caex.

El costo de una hora fuera de servicio en un caex es de 703 USD, por lo tanto, y teniendo en consideración los gráficos del punto anterior en cuanto a las detenciones que tenían los caex mes a mes hasta realizar la implementación se puede ver en la siguiente figura 5.3 y 5.4 explicando los costos de pérdidas desde antes de iniciar la campaña, hasta finalizada la campaña de la implementación del sensor.

Se debe tener en cuenta que el grafico está especificado a las detenciones de camiones que se tuvieron mes a mes, a una hora por camión detenido para mejorar la condición del sensor. (Ver la figura 5.3)

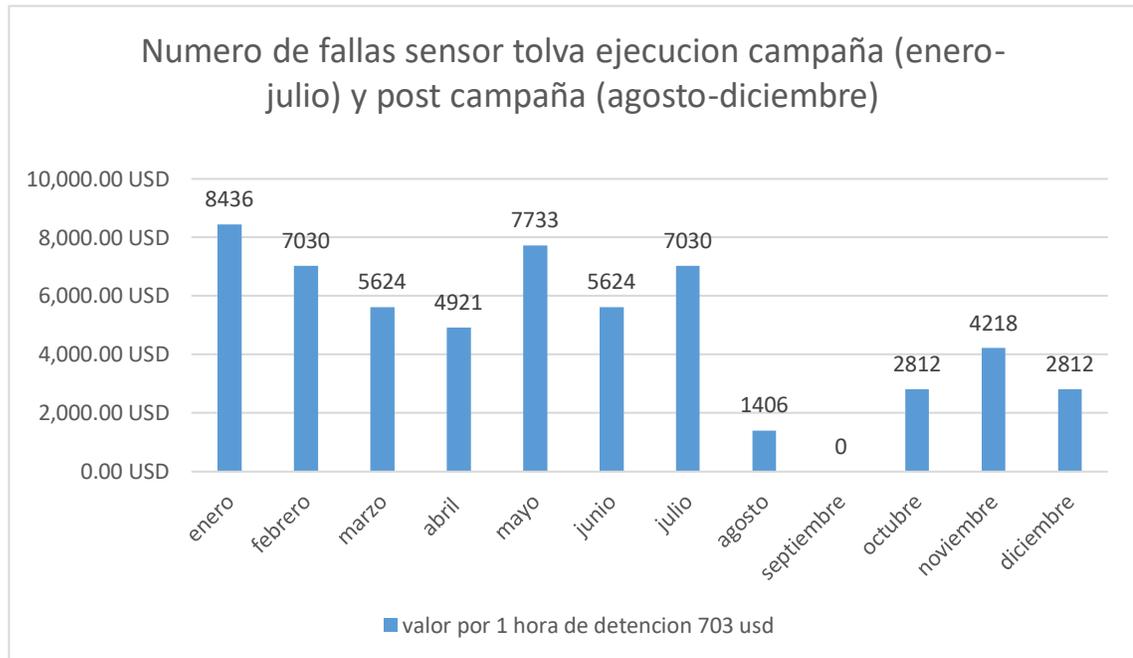


**Figura N° 5.3: Gráfico pérdidas mensuales USD pre-campaña 2020.**

Fuente: Datos recabados de área mantenimiento Komatsu.

Se puede ver en el grafico en la precampaña del año 2020 la cantidad de pérdidas desfavorable a la compañía, de las altas sumas de dinero USD por una hora de detención del camión.

En comparación a los meses de post campaña (agosto – diciembre 2021) se puede observar la disminución de las detenciones y con esto lleva a la disminución de los costos asociados a las paradas de los camiones, por los altos números de fallas producidas por el sensor. (Ver la figura 5.4)



**Figura N° 5.4: Gráfico campaña ejecución y post campaña en USD.**

Fuente: Datos recabados de área mantenimiento Komatsu.

Tomando en consideración las dos figuras 5.3 y 5.4 podemos ver una relevante disminución en la cantidad de USD de perdidas mientras se mantenía en funcionamiento el sensor anterior.

Al aplicar y realizar el cambio de sensor de tolva se pudo disminuir el número de detenciones de camiones que fueran llevados a taller por esta problemática, así con esto disminuir los costos y darle más operatividad a la flota de camiones que es lo que se busca en cualquier compañía.

NOMBRE DEL PLAN					
Cambio de switch tolva amba					
IMPACTO EN LOS INDICADORES					
MTBF	MTRR	indisponibilidad			
2 horas		0,12%			
FECHA DE LOS PLANES DE ACCIÓN	agosto 2021				
FRECUENCIA MENSUAL	12	12 módulos x mes			
FECHA DE TÉRMINO ESTIMADA	Enero 2022				
ALCANCE GENERAL	Cambio sensor magnético de proximidad				
ALCANCE POR EQUIPOS	Toda la flota 930E-3 ( 8 CAEX ) Toda la flota 930E-4 ( 48 CAEX )				
COSTO POR EQUIPO EN DOLARES	\$1.503				
COSTO TOTAL EN DOLARES MENSUAL	\$ 18.036				

**Figura N° 5.4: Análisis de resultados.**

Fuente: Departamento confiabilidad Komatsu

Para no impactar la disponibilidad en el plan estratégico mensual de operaciones, se determinó realizar 12 cambios de sensor magnético en el plan de mantenimiento programado.

Donde el MTBF es de 2 horas y el MTRR se debe mantener porque se programa el cambio de componente en el plan de mantenimiento como backlog.

Además, nos impactará como indisponibilidad de manera mensual un 0,12%, realizando el cambio a los 12 equipos modificados con un valor de \$ 18.036 USD.

El costo total para la flota de 56 camiones KOMATSU 930E-3 y 930E-4 es de \$ 84.168 USD.

Para el plan estratégico de operaciones nos solicitan una disponibilidad contractual de 86,2% y una disponibilidad física de utilización de 86%, si calculamos el MTBF del mes de julio 2021 10 CAEX presentaron detenciones nos da 61 horas y cada reparación se realizó en 2 horas considerando los tiempos de traslado y búsqueda de repuestos entregando un MTTR de 2 horas. Impactando un 3,2% en la disponibilidad física mensual porque las horas totales consideradas de operación de cada equipo son 630 horas y las horas de mantención por la reparación es de 20 horas para el mes de julio.

Con los cálculos realizados verificamos que la detención mensual de los switch tolva arriba es un porcentaje considerable ya que no está calculado el porcentaje de equipos que se encuentran en mantenimiento programado. Al realizar el cambio al sensor magnético estamos mitigando la pérdida de \$ 7030 USD y generando un incremento de un 3,2% a los KPI'S mensuales según los cálculos realizados por el departamento de planificación y confiabilidad.

### **6.3 Beneficios de la implementación del sensor de proximidad.**

Los beneficios son:

- ✚ Menos costo y tiempo en el mantenimiento ya que ingresan menos camiones a el taller de mantención, lo cual es un gran avance en cuanto a tiempos de producción de la flota.
- ✚ Se puede decir que al realizar la instalación estamos haciendo un trabajo seguro ya que siguiendo el paso a paso que planteamos, más teniendo los materiales en stock podemos conseguir una rápida y fácil instalación del sensor.
- ✚ Facilidad en su instalación donde van instalados con una platina y pernos con tuercas de fácil acceso en el camión de extracción.
- ✚ Mejora los tiempos de falla en el equipo.

- ✚ Mayor durabilidad, ya que no tiene contacto directo con la tolva donde se dañaba el antiguo sensor de varilla y provocaba la falla de forma inmediata en el panel AID.
- ✚ Disminuye las fallas en la operación, logrando una mayor confiabilidad y disponibilidad del equipo.
- ✚ El sensor anterior que provocaba un mayor número de fallas y que por su poca flexibilidad se dañaba y tenía que ser reemplazada en el 80 % de sus mantenciones.
- ✚ Se ha logrado conseguir un estándar de mejora, para mantener y mejorar los números de producción en la flota de extracción

Para finalizar considerando lo anterior se logra ver los resultados positivos de la nueva implementación del sensor de proximidad magnético dando una mejor confiabilidad al equipo y a la operación.

## **CAPITULO VII**

### **CONCLUSIONES**

Cuando los equipos generan fallas de manera reiterada se deben realizar estudios para buscar su causa raíz, por lo tanto, el primer filtro para buscar una solución son los técnicos predictivos, los especialistas y el departamento de ingeniería que tienen la responsabilidad de mitigar las incontables fallas que generan los equipos de alto tonelaje.

Una de las fallas reiterativas fue la activación de la luz tolva arriba que se generaba por el switch de accionamiento mecánico de tolva arriba y su mejora para dar confiabilidad a los equipos fue implementar el sensor magnético de proximidad para tolva arriba que aportó de manera significativa a los indicadores de producción reduciendo a cero detenciones por fallas de luz tolva arriba en el mes de septiembre dando a conocer que la mejora fue positiva aumentando la disponibilidad física de cada equipo.

La programación de instalación del sensor fue realizada en el mantenimiento programado del equipo no generando desviaciones en la operación y mantenimiento porque fue incorporado como backlog con sus respectivas horas de instalación en la pauta de mantención de cada equipo.

Los equipos mineros cuando tienen bastantes años en operación empiezan a sufrir desgaste y daños producto de impactos a los que están expuestos, por lo tanto es muy importante buscar mejoras en los diferentes sistemas analizando fallas y buscando soluciones antes de que puedan involucrar a otro sistema o estructura del equipo, como fue nuestra implementación del sensor magnético de proximidad que incorpora dedicación, tiempo en estudios de su funcionamiento y mejora en los indicadores de producción logrando reducir 10 años de fallas a cero después de su instalación.

## GLOSARIO

- ✚ **AC:** Corriente alterna
  
- ✚ **AMSA:** Compañía minera de Antofagasta Minerals
  
- ✚ **Blower:** Soplador del banco de retardo.
  
- ✚ **CAEX:** Camión de extracción
  
- ✚ **Confiabilidad:** Es la probabilidad de que un activo ejecute las funciones deseadas bajo condiciones dadas, sin fallas por un periodo determinado
  
- ✚ **DC:** Corriente continúa
- ✚ **Disponibilidad:** En relación a los equipos con respecto a las horas de operación y las horas totales de producción.
  
- ✚ **Falla:** Desviación no permitida
  
- ✚ **Fusible:** Es un dispositivo para proteger dispositivos eléctricos y electrónicos.
  
- ✚ **GDPC:** Convertidor de energía
  
- ✚ **KPI:** Indicador de gestión
  
- ✚ **Laptop:** Notebook
  
- ✚ **MLP:** Minera los pelambres
  
- ✚ **MTBF:** Tiempo medio entre fallas
  
- ✚ **MTTR:** Tiempo medio para reparación (Medium time til repair)

- ✚ **Over Ride:** Permite el tránsito del camión con tolva arriba
  
- ✚ **Panel AID:** Dispositivo indicador de alarma
  
- ✚ **Panel DID:** Panel de diagnóstico de informaciones
  
- ✚ **Relé:** Es un interruptor operado magnéticamente que estimulado por una corriente eléctrica abre o cierra un circuito.
  
- ✚ **ROPS:** Estructura de protección antivuelco
  
- ✚ **RSC:** Controlador automático de velocidad de retardo
  
- ✚ **Sistema ERP:** Planificación de los recursos empresariales
  
- ✚ **Shop manual:** Manual de taller
  
- ✚ **Switch:** Es un dispositivo que sirve para abrir y cerrar circuitos eléctricos en condiciones normales de carga
  
- ✚ **Timer:** Controlador del sistema de grasa.
  
- ✚ **USD:** Dólar (Estados Unidenses)
  
- ✚ **%:** Porcentaje
  
- ✚ **°C:** Grados Celsius

## BIBLIOGRAFÍA

-  <https://www.komatsulatioamerica.com/chile/productos/930e-4se/>
  
-  <https://www.aminerals.cl/>
  
-  Estructura y función eléctrico Komatsu
  
-  Shop Manual Komatsu NUMEROS DE SERIE A30462 y superiores
  
-  [www.mch.cl](http://www.mch.cl)
  
-  <https://www.emerson.com/documents/automation/brochure-go-switch-product-spanish-topworx-es-82892.pdf>
  
-  Operación y mantenimiento equipos Komatsu