

Universidad Técnica Federico Santa María
Sede Viña del Mar – José Miguel Carrera

**Propuesta de Implementación de Análisis Vibratorios en turbo
compresor de camiones de extracción en Compañía Minera Cerro
Colorado**

Trabajo de Titulación para optar al
Título de Ingeniero de Ejecución en
Mantenimiento Industrial

Alumno:

Carlos Antonio Figueroa Delgado

Profesor Guía:

Ing. Andrés Aránguiz Garrido

2018

AGRADECIMIENTOS

Con especial afecto se agradece a mi compañía BHP Asset Pampa Norte Cerro Colorado, por darme la oportunidad de poder realizar mi Trabajo de Título. Se agradece toda la disponibilidad de ocupar dependencias, instrumentos de medición, dentro de mi jornada laboral para poder desarrollar de la mejor manera el tema.

Cordialmente se agradece la posibilidad proporcionada por el Jefe de Monitoreo de Condiciones Planta y Mina Ariel González Lillo, por creer en esta propuesta, en la confianza depositada en mis capacidades personales y así como también todos los conocimientos otorgados como complemento para cumplir con este desafío.

Afectuosamente también agradecer a mis compañeros de trabajo Rene Núñez y Consuelo Chávez por su gran aporte en conocimientos claves tanto en el inicio como el final de este proceso.

Especiales agradecimientos a mi familia, en especial a mi compañera de vida Carola y mi hijo Bastián por la paciencia, dedicación, comprensión y permanente apoyo para lograr los objetivos trazados en este largo periodo de estudio.

Resumen

Keywords: COMPAÑÍA MINERA – MANTENIMIENTO – ANÁLISIS DE VIBRACIONES
TURBOCOMPRESORES

El trabajo de título que se presenta a continuación, trata principalmente de una propuesta de implementación de análisis de vibraciones en turbocompresores de camiones de extracción, de cómo detectar sus fallas en estos, las cuales afectan de manera notoria los Kpis que son medidos tanto en producción como mantenimiento.

Capítulo 1: “Descripción de la Empresa” se presentó la empresa en la que se busca implementar esta mejora esta es Compañía Minera Cerro Colorado (CMCC) una mina a rajo abierto perteneciente a la Multinacional BHP, ubicada a 2600 metros sobre el nivel del mar en la ciudad de Iquique, localidad de Mamiña perteneciente a la comuna de Pozo Almonte, en la cual se extrae cobre, para producir cátodos de cobre de alta pureza, además de presentar la flota de camiones de extracción, los sistemas que se involucran en esta mejora y problemática existente.

Capítulo 2: “Análisis de Datos Obtenidos” se expuso las fallas típicas producidas en los turbocompresores, el desarme de estos para poder analizar de mejor manera los componentes internos y como los afectan las vibraciones, la determinación de los puntos de medición para obtener unas lecturas claras y fidedignas, de esta forma dar un diagnóstico acertado.

Capítulo 3: “Estudio Técnico Económico” se planteó la propuesta de mejora en la cual se exponen los beneficios económicos, bajando los tiempos de reparación, abaratamiento de costos, mejoramiento de la disponibilidad de equipos y lo más importante realizando una tarea más segura tanto para los mantenedores como para los operadores de los equipos de extracción.

Conclusión: Se entregaron los resultados obtenidos en este trabajo de título, cumplimientos de los objetivos trazados, conclusiones y recomendaciones.

INDICE

INTRODUCCIÓN	1
OBJETIVOS	2
OBJETIVOS GENERAL	2
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	2
CAPITULO 1: DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA	3
1.1 ANTECEDENTES GENERALES	4
1.1.2 Proceso Productivo	4
1.1.3 Mantenimiento en la Minería	9
1.1.4 Mantenimiento Predictivo	9
1.1.5 Análisis de Vibraciones	9
1.2 ANTECEDENTES ESPECIFICOS	10
1.2.1 Flota de Camiones CMCC	10
1.2.2 Motor	11
1.2.3 Sistema de Admisión y Escape	12
1.2.4 Turbo Compresor	14
1.3 PROBLEMÁTICA	14
CAPITULO 2: ANÁLISIS DE DATOS OBTENIDOS	16
2.1 Fallas típicas producidas en los turbocompresores	17
2.2 ANÁLISIS CAUSA RAÍZ	18
2.3 DETERMINACIÓN DEL METODO DE ANÁLISIS	18
2.4 ESTÁNDARES PARA EL MONITOREO OPERACIONAL	19
2.4.1 Zonas de Evaluación	20
2.4.2 Tabla de Evaluación de Zonas de Límite	20
2.5 AJUSTES DE ALARMAS	21
2.6 MEDICIÓN DE VIBRACIONES	22
CAPITULO 3: ESTUDIO TÉCNICO ECONÓMICO	31
3.1 Propuesta de mejora	32
3.2 Estudio económico	36
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	44
ANEXOS	45
Anexo A: Cotización Microlog GX CMXA75 de SKF	46
Anexo B: Cotización Windrok 6400	60
BIBLIOGRAFÍA	66

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1	Proceso productivo	4
Figura 1-2	Chancador Fuller y Svedela	7
Figura 1-3	Chancador Secundario Allis	8
Figura 1-4	Chancador Secundario Norberg	8
Figura 1-5	Flota Camiones CMCC	10
Figura 1-6	Motor 3516B	12
Figura 1-7	Motor C175-16	12
Figura 1-8	Sistema de Admisión y Escape Caex 793D	13
Figura 1-9	Sistema de Admisión y Escape Caex 793F	13
Figura 1-10	Turbocompresor Motor 3516B	14
Figura 1-11	Turbocompresor Motor C175-16	14
Figura 2-1	Desarme de Turbocompresor	17
Figura 2-2	Puntos de medición	19
Figura 2-3	Microlog serie GX CMXA75	22
Figura 2-4	Posición de turbos según medición	23
Figura 2-5	Gráfico Cascada primera medición	23
Figura 2-6	Espectro de Turbo N°1 primera medición	24
Figura 2-7	Forma de Onda Turbo N°1 primera medición	24
Figura 2-8	Espectro de Turbo N°2 primera medición	25
Figura 2-9	Forma de Onda Turbo N°2 primera medición	25
Figura 2-10	Gráfico Cascada segunda medición	27
Figura 2-11	Espectro de Turbo N°2 segunda medición	27
Figura 2-12	Forma de Onda Turbo N°2 segunda medición	28
Figura 2-13	Espectro de Turbo N°3 segunda medición	28
Figura 2-14	Forma de Onda Turbo N°3 segunda medición	29
Figura 3-1	Windrock 6400	34
Figura 3-2	Microlog CMXA 80 F-K-SL	35
Figura 3-3	Insumos Sistema Contra Incendios	42
Figura 3-4	Pantallas DISPACH	42
Figura 3-5	Valores HH en Sistema 1SAP	42
Figura 3-6	Valores de Turbocompresores en Sistema 1SAP	43

INDICE DE TABLAS

Tabla 2-1	Tabla zona límite	20
Tabla 3-1	Extracto de cotización de Windrok 6400	34
Tabla 3-2	Extracto de cotización de Microlog serie GX CMXA75	35
Tabla 3-3	Pérdidas de Operaciones	36
Tabla 3-4	Pérdidas de Mantención	37
Tabla 3-5	Gastos Cambio Programado de Turbocompresor	38
Tabla 3-6	Comparativa de Posibles Reparaciones	39
Tabla 3-7	Obtención del VAN Y CAUE	41

SIGLAS Y SIMBOLOGIA

mm: Milímetros

t/h: Toneladas – horas

t: Toneladas

m: Metro

" : Pulgadas

lt/min/m²: Litro – minuto – metro cuadrado

mm/s: milímetros- segundos

%: Por ciento

ISO: Organización internacional de normalización (International organization for Standardization)

PSI: Libra de fuerza por pulgada cuadrada (Pounds – force per square inch)

RPM: Revoluciones por minuto

HH: Hombre hora

USD: Dólares

Hr: hora

min: minuto

rms: Valor eficaz

lt: Litro

BHP: Broken Hill Proprietary

VAN: Valor actual neto

CAUE: Costo anual uniforme equivalente

CAEX: Camiones de extracción

KPI: Indicador clave de rendimiento (Key performance indicator)

INTRODUCCIÓN

El mantenimiento dentro de la gran minería ha tomado un rol fundamental para obtener los logros de producción que necesita la empresa, dentro de las diferentes formas de realizar mantenimiento la Compañía Minera Cerro Colorado está tomando como opción el Mantenimiento Predictivo, debido a que este nos entrega unas técnicas con las cuales podemos obtener un mayor rendimiento al equipo o componentes, teniendo una detección oportuna de anomalías y fallas, al tener la información del estado de los equipos y sus componentes se puede realizar de mejor manera una planificación y de esta forma abaratar costos y tiempos de reparación.

El análisis de vibraciones posee la factibilidad de que se pueda obtener los perfiles vibratorios para las máquinas que cuentan con elementos giratorios o móviles y así obtener una gran cantidad de problemas que puede presentar un equipo o algunos de sus componentes, es por esta razón que realizamos esta propuesta de análisis de vibraciones en los turbocompresores de los camiones de extracción, bajo la Norma ISO 10816-4 Mechanical Vibration- Evaluation of Machine Vibration by Measurements on non rotating parts- Part 4: Gas Turbine Sets with Fluid Film Bearings, ya que dentro de las fallas más recurrentes de los sistemas del equipo, están las de motor, el análisis de vibraciones lo incluiremos como una técnica de apoyo a las demás existentes dentro del proceso de mantención. Se efectuará a través de una recolección de datos fijados y se realizará una comparación de estos para obtener una base de espectros y señales con las cuales, poder evaluar la severidad de los daños y si el componente necesita ser cambiado o realizarle un seguimiento para que no vaya a fallar en terreno.

OBJETIVOS

OBJETIVOS GENERAL

- Generar una propuesta de monitoreo de condiciones de turbos compresores de camiones de extracción. Mediante el análisis espectral de señales vibratorias, a fin de una futura implementación.

OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Categorizar fallas típicas en los turbos compresores a través de una recopilación técnica, por medio de la determinación de modos de falla presente fijando los puntos críticos a medir.
- Estructurar mediciones de turbo compresores, mediante el análisis de señales vibratorias, visualizando componentes espectrales que estén exhibiendo señales de alguna avería en el equipo.
- Orientar los beneficios implantando este tipo de análisis en el mantenimiento predictivo, por medio de un estudio técnico económico así definiendo una posible implementación.

CAPITULO 1: DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA

La planta de procesos de Cerro Colorado es la primera en el mundo en ser diseñada desde su inicio para tratar minerales de óxidos y sulfuros por biolixiviación, una tecnología mucho más limpia que las tradicionales debido a que aprovecha la acción de una bacteria presente en forma natural en el mineral y permite consumir un volumen menor de agua y energía.

El proceso productivo en Compañía Minera Cerro Colorado contempla las etapas de extracción del mineral, chancado, aglomeración, lixiviación en pilas, extracción por solventes y electrobtención.

Debido a las expansiones realizadas, existen dos plantas donde se realizan en forma paralela los procesos de chancado, aglomeración y lixiviación, mientras que las fases de extracción por solventes y electrobtención se llevan a cabo en forma común.

Planta 1, el mineral de mina es descargado en la cámara de descarga del chancador primario por camiones, el chancador primario Fuller de 42" x 65" (Fig.1-2) reduce el mineral de 1m a un tamaño menor a 200mm, descargándolo en una tolva de compensación, debajo de la cual una correa alimentadora extrae el mineral a razón de 954 t/h.

El sobre tamaño de los harneros con tamaño mayores a 13mm constituye la carga circulante es transportado por la correa 01 para descargar a razón de 891 t/h en la tolva de alimentación a chancadores terciarios de 520 toneladas capacidad viva, tres correas alimentadoras se encargan de extraer el mineral y descargarlo a razón 891 t/h en la tolva de alimentación a chancadores terciarios de cabeza corta AMS hydrocono 3"-84" de marca Allis. El producto final de material fino es almacenado en dos silos a razón de 1287 t/h, para el proceso de explotación y lixiviación de planta 1.

Planta 2, el chancador primario es de marca Svedela de 54" x 75" (Fig.1.2) reduce el mineral de 1m a un tamaño menor a 200mm, descargándolo en una tolva de compensación, debajo de la cual una correa alimentadora extrae el mineral a razón promedio de 2338 t/h.

La tolva de alimentación de harneros terciarios tiene una capacidad viva de 500 t, desde donde es extraído el mineral por dos correas alimentadoras y lo descarga en dos harneros terciarios tipo banana de doble bandeja de 12" x 27" el sobre tamaño recircula a chancado terciario y el bajo tamaño con una granulometría menor a 13 mm a razón promedio de 812 t/h descarga en la correa juntándose con el bajo tamaño del harnero scalper. El producto final de mineral fino es almacenado en el domo de mineral fino a razón de 1421 t/h para el proceso de aglomeración y lixiviación de planta 2.

El mineral chancado es llevado por correas transportadoras al sector de mineral grueso a un stock con una capacidad viva de 10, 000 toneladas. Luego el material es transportado a las plantas 1 y 2 por correas transportadoras. Todo el material pasa por un harnero primario y, luego de una clasificación, por los chancadores secundarios, Allis Chalmers (Fig.1-3) y Norberg (Fig.1-4), llegando a cinco harneros terciarios, lo que permite una clasificación del material bajo una malla 100 Tyler.

La aglomeración se realiza en dos silos y un domo. Estos alimentan a cuatro tambores aglomeradores de 2.7 metros de diámetro y dos tambores de 2.9 metros de diámetro, donde el material se mezcla con agua y ácido sulfúrico.

El mineral aglomerado es transportado por correas transportadoras móviles a las pilas de lixiviación. El sistema utilizado por la CMCC es el sistema de pilas dinámicas, lo que significa que luego de ser lixiviada una pila, el área donde esta se encontraba, se vuelve a reutiliza. La capacidad de cada una de las pilas varía entre las 300,0 00 t/h y 1,200,000 t/h, y la altura de cada una de las pilas es de 10 metros. Cada una de las pilas es regada por goteo a razón de 0.10 a 0.15 lt/ min/ m² con una solución ácida durante 15 meses aproximadamente. Bajo cada una de las pilas se instala una membrana plástica impermeable de alta densidad y espesor de 2 milímetros.

El diseño de las pilas posee una inclinación de 2.5% de pendiente, lo que permite que la solución rica en cobre o PLS sea recolectada en canaletas y luego, tengan dirección a las piscinas desarenadoras.

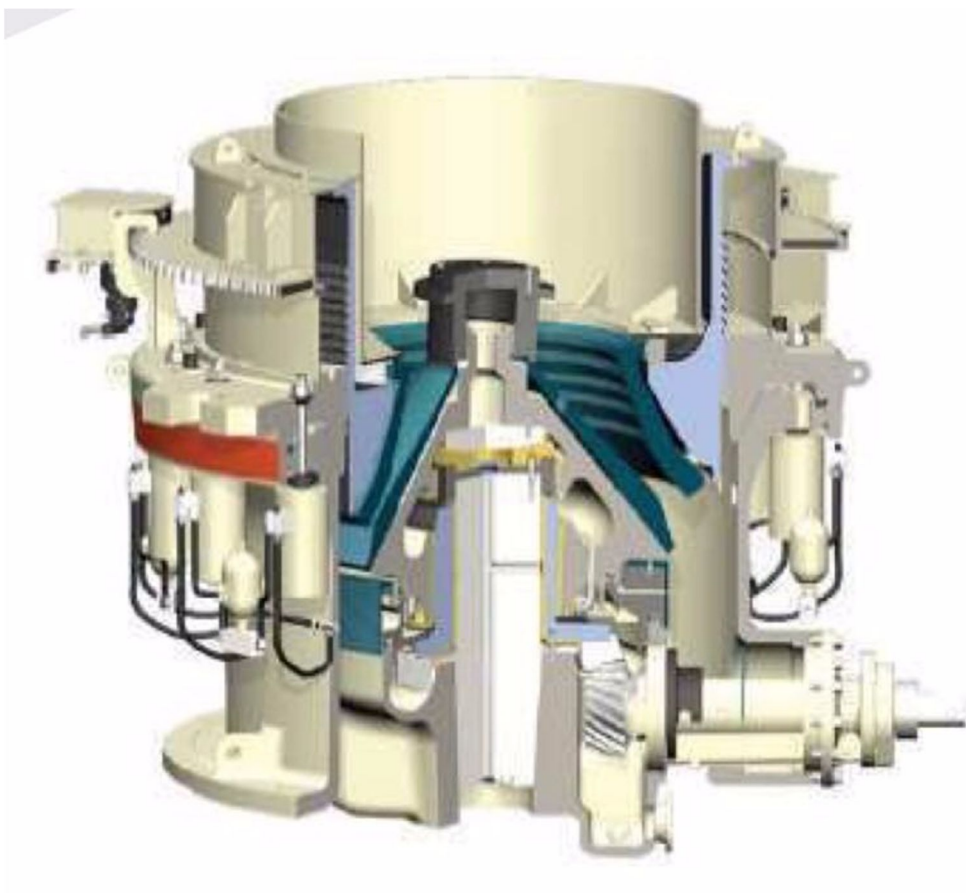
Esta solución es bombeada hacia los estanques de extracción por solventes donde se mezcla con parafina y resina orgánica. Esta resina capta los iones de cobre en forma selectiva provocando obtención de una solución resina – cobre y, por otro lado, una solución pobre en cobre denominada refino, la cual es enviada a las piscinas para su posterior re-utilización en el proceso.

La solución rica en cobre (resina-cobre) es enviada hacia un electrolito puro de alta concentración, el que provoca una mejora en la concentración de cobre en la solución.

Luego, la solución electrolítica rica en cobre es llevada a la nave de electroobtención donde el cobre es removido desde el electrolito por aplicación de corriente continua, hasta que se deposita en los cátodos de metal.

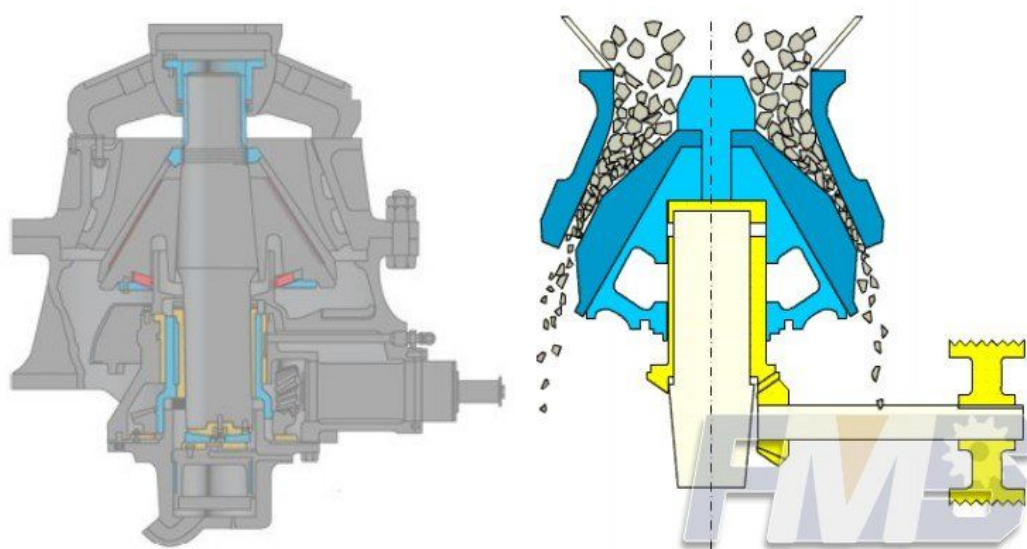
De todo el proceso resulta una lámina sólida de cobre de alta pureza que cumple con los más exigentes estándares de calidad del mercado internacional. Estos cátodos finalmente son exportados a través del puerto de Iquique principalmente a mercados de Europa y Japón.

La figura 1-1 representa el proceso productivo de Cerro Colorado.



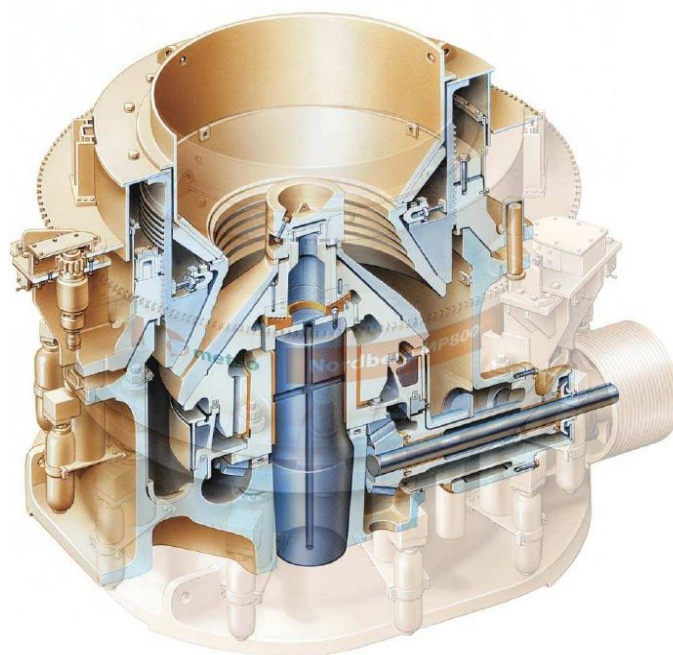
Fuente: www.crushersparts.cl/es/chancador-de-cono.php

Figura N°1-2



Fuente: trituradoras-de-roca.com/wiki/Trituradora-Secundaria-AllisChalmers.htm

Figura 1-3



Fuente: www.academia.edu/22029009/Chancadores_de_cono_Nordberg

Figura 1-4

1.1.3 MANTENIMIENTO EN LA MINERIA

Para poder incrementar los índices de productividad, la mantención de equipos tanto planta y mina es parte fundamental para disminuir los tiempos de detención, esta forma parte importante de la estructura de costos de la empresa, con lo que teniendo una buena gestión puede influir de manera sustancial en una mayor productividad y reducción de gastos imprevistos.

Dentro de los aspectos la planificación del mantenimiento cumple un rol fundamental para establecer una mayor disponibilidad y confiabilidad, así reducir los tiempos por detenciones programadas, pero mayormente las no programada.

1.1.4 MANTENIMIENTO PREDICTIVO

Dentro de industria minera el mantenimiento predictivo ha tomado un rol importante, debido que a través de las diferentes técnicas predictivas podemos obtener un mayor rendimiento al equipo o componentes de este, teniendo una detección oportuna de anomalías y fallas que pueden desencadenar en un daño mayor. Al tener un carácter de sintomático, es una ventaja detectar la falla en las etapas iniciales, por lo cual se cuenta con bastante tiempo para la planificación de una reparación o cambio del equipo, se puede realizar sin tener que detener el equipo por un tiempo prolongado.

1.1.5 ANÁLISIS DE VIBRACIONES

La factibilidad de que se pueda obtener los perfiles vibratorios para todas las máquinas que cuentan con elementos giratorios o móviles posibilita emplear métodos comparativos basados en la vibración para efectuar un mantenimiento predictivo. El análisis de vibraciones es un método, dentro de varios, que utiliza el mantenimiento predictivo para monitorear y analizar el comportamiento de máquina, equipos y sistemas críticos, sin embargo, la utilización del análisis vibratorio para monitorear máquinas rotativas detectando la falla en sus inicios y así evitar fallas catastróficas, es la técnica dominante de mantenimiento predictivo utilizada con los programas de administración de mantenimiento. Las principales técnicas en cuanto al monitoreo de condiciones son el análisis de vibraciones, que permite detectar un 80% de los problemas [2], y de aceite.

1.2 ANTECEDENTES ESPECIFICOS

A continuación se describen antecedentes específicos de CMCC, como son la cantidad de camiones, la descripción de los motores, su sistema de admisión, turbocompresores que estos utilizan, además de la problemática que está afectando la producción.

1.2.1 FLOTA DE CAMIONES DE CMCC

La flota de camiones de Cerro Colorado se compone en su mayoría de camiones Caterpillar 789C, 793D y 793F (Figura 1-5).

El uso principal de los camiones de extracción es transportar el material tronado desde el rajo de la mina hasta los chancadores, donde será procesado, además del movimiento de material del desarme del lugar de apilamiento de aglomerado y el traslado del material no procesable, desde el fondo del rajo hacia los botaderos.

La distribución de modelos de los 45 camiones de carguío, es la siguiente:

- 9 camiones Cat 789C.
- 2 camiones Cat 793C.
- 17 camiones Cat 793D.
- 17 camiones Cat 793F.



Fuente: <https://sis.cat.com>
Figura 1-5

Los camiones de extracción se dividen en los siguientes sistemas:

- Sistema de Motor.
- Sistema de Freno.
- Sistema de Dirección.
- Sistema de Transmisión
- Sistema Cabina de Operador.

- Sistema Eléctrico.
- Sistema Hidráulico.
- Sistema de Tolva y Chasis.

En el área de mantenimiento mina, el camión de extracción, es una pieza fundamental para obtención de los logros como área, para ello se han generado planes de mantenimiento basados en la confiabilidad, adoptando el procesos de monitoreo de condiciones como una de sus bases, en los cuales se lleva un registro de la condición y utilización de los aceites, los cuales dan indicaciones de los desgastes que se van produciendo en los distintos componentes del equipo, además de la elaboración de acciones inmediatas para corregir ciertas anomalías en estos, toma de decisiones en el programa de cambio de componentes ya sea por condición o cumplimiento de horas de utilización.

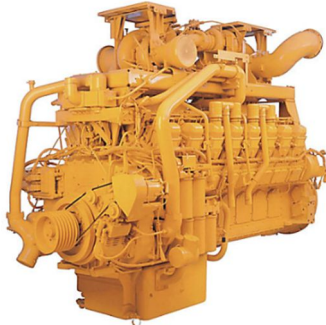
1.2.2 MOTOR

Para este estudio se utilizarán dos modelos de motores los cuales son de marca Caterpillar de modelos 3516B y C175-16.

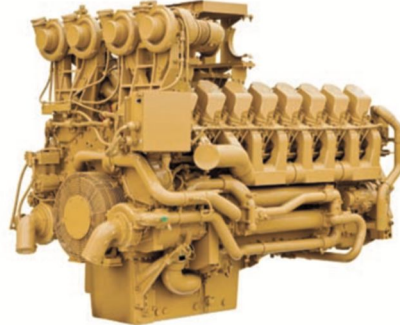
Dentro de las características de la serie 3516B (Fig.1-6), es un motor diésel de alta cilindrada con un banco de cuatro turbocompresores y post-enfriador, el motor Cat 3516B EUI produce 5% más de potencia con una capacidad de administración de potencia mejorada para un máximo rendimiento de transporte en la mayoría de las aplicaciones más exigentes de minería. Tiene un diseño de cuatro tiempos y 16 cilindros que usa carreras de potencias largas y eficaces para lograr una combustión más completa y una eficiencia óptima. Posee un post-enfriador con circuito separado que permite que, el circuito del post-enfriador funcione a temperaturas más bajas que la del agua de las camisas para lograr una carga de aire más densa y una mayor eficiencia de combustión.

El motor Cat C175-16 (Fig.1-7) con tecnología ACERT (Tecnología avanzada en la reducción de emisiones de la combustión), es de características métricas. Algunos componentes tienen un mayor peso, como la culata, que es aproximadamente un 50% más pesada que el motor 3516B, posee un sistema de combustible de alta presión que alcanza las 26100 psi. La limpieza del sistema es crítica ya que es muy sensible a los contaminantes comparados con el 3516B, además posee un post-enfriador aire aire (ATAAC), tiene una mayor potencia, un

cigüeñal único de dos piezas e inyectores electrónicos (EUI). Al igual que el 3516B tienen un diseño de cuatro tiempos y 16 cilindros.



<https://sis.cat.com>
Figura 1-6



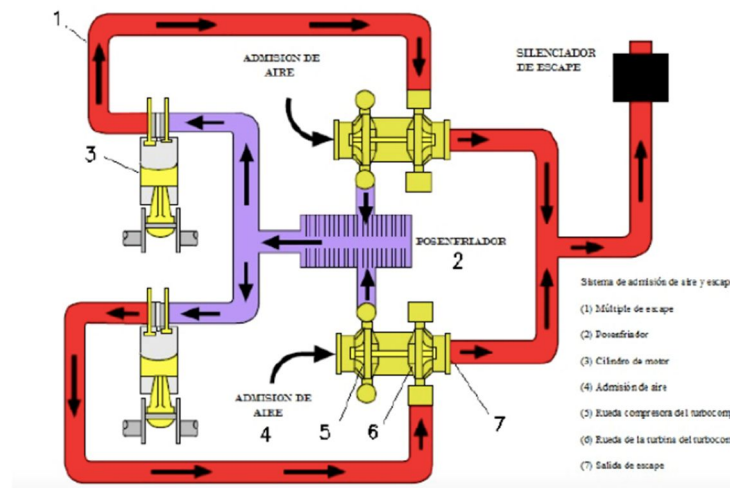
<https://sis.cat.com>
Figura 1-7

1.2.3 SISTEMA DE ADMISIÓN Y ESCAPE

Los camiones de la Serie "D" están equipados con un post-enfriador de Circuito Separado (SCAC) (Fig.1-8), este se encuentra en el centro de la V. El post-enfriador tiene un conjunto del núcleo que se carga con refrigerante. El refrigerante fluye desde la bomba de agua a través de un tubo y llega al pos enfriador. El refrigerante fluye a través del núcleo. El refrigerante regresa al pos enfriador a través de un tubo diferente. El aire de admisión del lado del compresor de los turbocompresores pasa por el pos enfriador a través de tubos. El aire atraviesa entonces las aletas del conjunto del núcleo con el que se reduce la temperatura. El aire más frío sale por la parte inferior del post enfriador y llega al múltiple de admisión. El aire fluye hacia arriba a través de los codos hasta los conductos de admisión en las culatas de los cilindros. Se utiliza un filtro de aire y un anti filtro separados para filtrar el aire por cada grupo de turbocompresores. A medida que el aire entra por la parte superior de las tuberías, el aire debe pasar por los álabes.

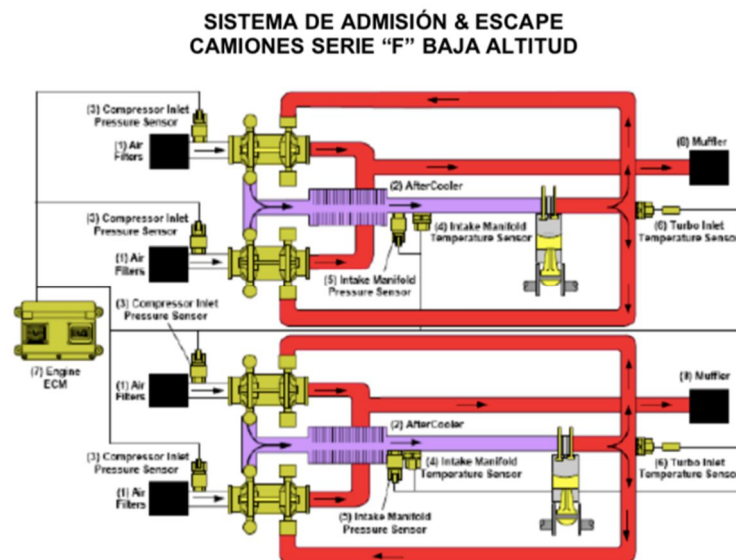
Los camiones de la Serie "F" están equipados con un pos enfriador Aire al Aire (ATAAC) (Fig.1-9), que reemplaza al pos-enfriador de Circuito Separado (SCAC). Desde el ATAAC, el aire frío se dirige por dos tuberías de salida hacia el interior de los múltiples de admisión derecho e izquierdo. El aire es succionado dentro del sistema a través de cuatro filtros de aire y cuatro ductos de admisión. El aire limpio fluye por los filtros de aire e ingresa a los turbos por el lado del compresor. El aire comprimido en el compresor de los turbos se dirige hacia el

ATAAC y luego hacia los múltiples de admisión izquierdo y derecho, hasta los cilindros, donde se combina con el combustible para la combustión. Los turbos son impulsados por los gases de escape de los cilindros, que entran por el lado de la turbina. Los gases de escape fluyen a través de los turbos, hacia los ductos de escape hasta salir por los silenciadores.



Fuente: Manual del Alumno 793D Finning

Figura 1-8



Fuente: Manual del Alumno 793F Finning

Figura 1-9

1.2.4 TURBOCOMPRESOR

El lado de la turbina del turbocompresor está montado en el múltiple de escape en motor 3516B y en la parte superior delantera en línea en motor C175-16.

Los gases de escape entran en la admisión al escape de la caja de la turbina. Los gases impulsan los álabes de la turbina. La rueda de la turbina y la rueda del compresor giran a velocidades de hasta 90.000 rpm. El aire limpio procedente desde los filtros de aire es ingresado a través de la admisión de aire mediante la rotación de la rueda del compresor. La acción de las hojas de la rueda del compresor comprime el aire de admisión. El aire comprimido permite que el motor queme una cantidad adicional de combustible de mayor eficiencia. El turbo del motor 3516B posee dos cojinetes en cambio el del motor C175-16 posee uno solo, estos utilizan el aceite de motor bajo presión para la lubricación. El aceite pasa a través de los conductos en la sección central para lubricar los cojinetes. El refrigerante del agua de las camisas enfría también la caja del cojinete en el turbocompresor.



Fuente: <https://sis.cat.com>
Figura 1-10



Fuente: <https://sis.cat.com>
Figura 1-12

1.3. PROBLEMÁTICA

Como anteriormente se mencionó en el proceso productivo, el camión de extracción traslada el material desde el fondo de mina hacia el chancado, cuando falla un turbocompresor la mayoría de las veces sucede cuando va en ese traslado, lo cual produce primeramente una detención del circuito por unos minutos para posterior una disminución en la continuidad del circuito, debido a que queda habilitada una sola vía, nuevamente se detiene el circuito para que mecánicos puedan efectuar una evaluación, debido a razones de seguridad ya que quedan expuestos a atropello, en la mayoría de las evaluaciones se detecta que se activó

el sistema contra incendios ya sea activado por el operador del equipo o de forma automática debido a la temperatura que hay en los turbocompresores y la proyección de aceite por presión genera un amago de incendio.

Una vez ya efectuada la evaluación se activa un requerimiento a operaciones mina que es la confección de pretiles de contención, con esto aislamos el riesgo de atropello para los mecánicos que efectuaran el trabajo. Una vez confeccionados los pretiles de contención se comienza con el drenaje de refrigerante, el cual se pierde debido a que no se cuenta con contenedores para poder reciclar este fluido. El traslado hacia el taller y la búsqueda de repuestos demanda una gran cantidad de tiempo, el otro problema al realizar el cambio en terreno es la gran contaminación del sistema debido a la polución existente en lugar, lo cual reduce las horas de vida útil de los diferentes componentes.

Ya efectuado el trabajo se procede a rellenar con refrigerante el equipo con aproximadamente 800 litros de este fluido, luego las pruebas funcionales, el desarme de los pretiles, la espera de llegada de un operador para el traslado del equipo al taller para poder habilitar el sistema contra incendios y efectuar un lavado de al camión de extracción para eliminar los residuos de aceite que pudieran provocar un amago de encendiendo nuevamente y los de polvo químico que quedan en el equipo.

Como se puede apreciar el tiempo de reparación y recursos desplegados para el desarrollo del trabajo es casi cuatro veces mayor, si es que este mismo trabajo se pudiera diagnosticar con anterioridad y así poder programar el cambio del componente, lo cual reduciría los tiempos reparación y sus costos asociados, haría una tarea más segura, debido a que los riesgos se podrían administrar de mejor forma.

La obtención de datos se realizará eligiendo dentro de la flota de camiones la de la serie 793 D y F, debido a que los 789 C están en el culmine de su vida útil y están en proyecto de renovación de flota, de estos se elegirán tres camiones en los cuales tendremos un camión que cuente con un motor que este comenzando con sus horas de utilización, uno que ya este con la mitad de sus horas cumplidas y otro que ya esté en culmine de horas de utilización, realizar una comparación entre los datos obtenidos, de esta forma fijar ondas y espectros bases de las posibles fallas que se puedan presentar y así poder diagnosticar el estado en que se encuentra el turbocompresor y sus componentes internos.

CAPITULO 2: ANÁLISIS DE DATOS OBTENIDOS

2.1 FALLAS TÍPICAS PRODUCIDAS EN TURBOCOMPRESORES

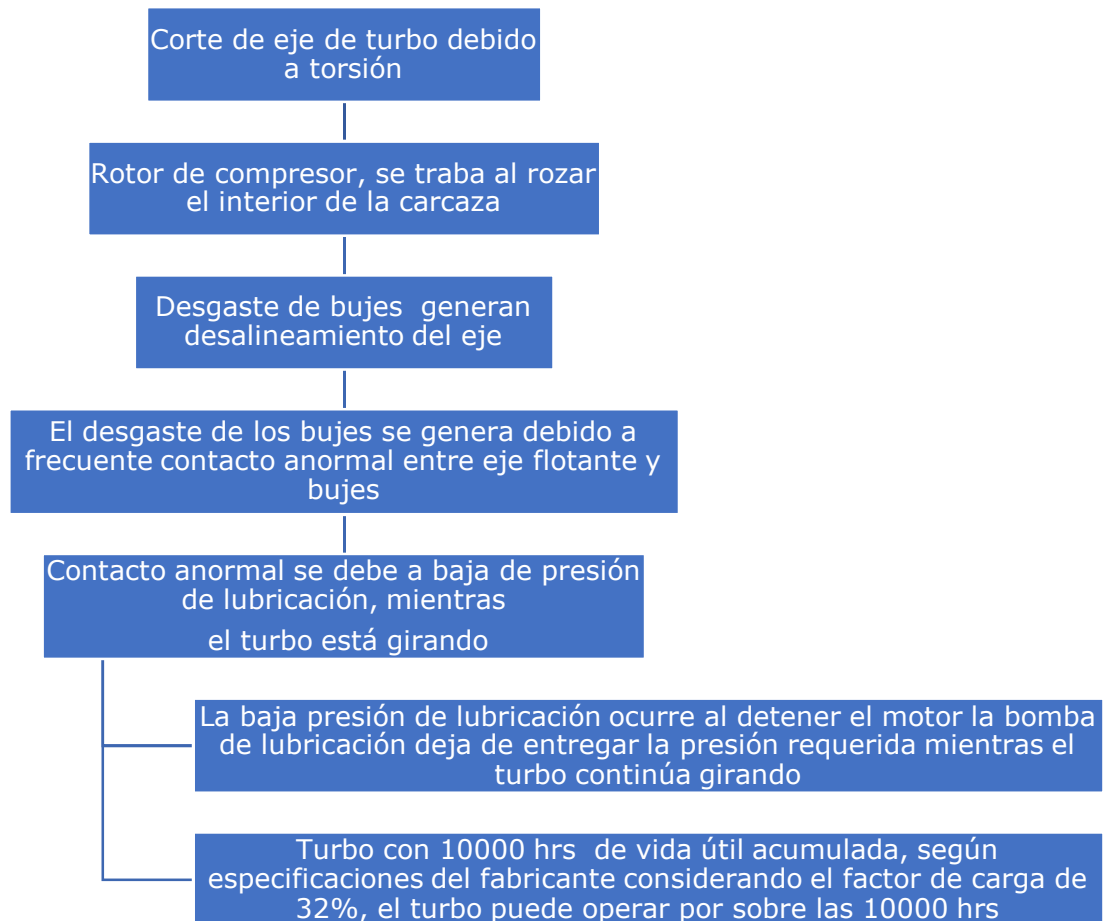
Los turbocompresores son un componente vital en el subsistema de admisión y escape, debido a que provee al motor de una mayor potencia y así poder cumplir con varias exigencias que se solicita que cumpla en la operación, como lo es el factor de carga que aproximadamente son 240 t y la cantidad de toneladas por hora que debería cumplir el equipo con una potencia adecuada. Para poder analizar de una forma correcta se ha obtenido información de los ACR obtenidos del control que lleva el personal de monitoreo de condiciones, estos ACR se confeccionan a través del método de los 5 ¿por qué? .En los cuales se generan conclusiones en las cuales se menciona la causa inmediata, causa raíz, causa contribuyente, causa organizacional y otros en estos se menciona que las causas más comunes es el desbalanceo, juego axial, radial y lo más importante que el fabricante pide una medición a las 4000 horas de funcionamiento lo cual no se realiza debido a que se requiere desmontar los ductos de admisión y con esto incrementa la posibilidad de falla del motor. Algo complementario que se realiza para la obtención de datos, es el desarme de los turbos, para conocer de mejor las partes que componen a este y así tomar una mejor determinación de los puntos de medición (Fig.2-1).



Fuente: Fotografías propias obtenidas en desarme de turbocompresor

Figura 2-1

2.2 ANÁLISIS CAUSA RAÍZ



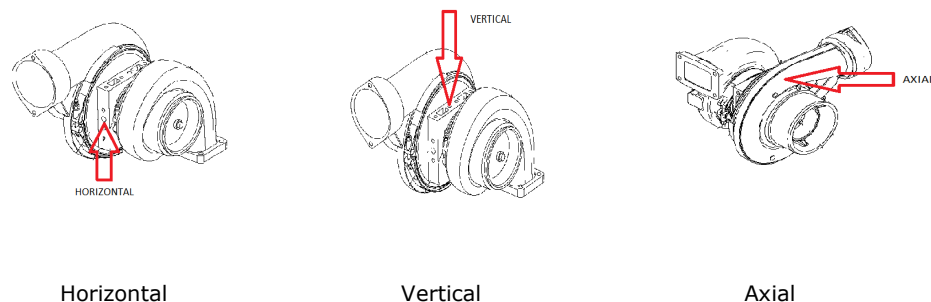
2.3 DETERMINACIÓN DEL METODO DE ANÁLISIS.

Una vez determinados los puntos de medición horizontal, vertical y axial se establecen las velocidades que se realizaran las pruebas (Fig.2-2), teniendo estos parámetros establecidos, se realiza una selección de los equipos para efectuar las mediciones, esta selección se basa en las horas de utilización de los motores, en los cuales se establece uno que este comenzando con su vida útil, el otro que este en la vida media de utilización y uno que este expirando su vida útil. Esto se traducirá en dos etapas de trabajo, una la denominaremos DETECCIÓN del problema, la lo cual es necesario definir el ESPECTRO DE REFERENCIA, es el espectro que corresponde a las vibraciones obtenidas de los turbocompresores del motor con menos horas de utilización por la razón que la maquina tiene un comportamiento mecánico normal, realizándola siempre en los mismos puntos.

Con respecto a este espectro obtenido se compararán los otros, para así identificar si se está desarrollando una falla en el turbocompresor.

La otra etapa considera la IDENTIFICACIÓN del problema, se toman los datos obtenidos como bases para iniciar la investigación, así determinar cuáles son los problemas que encontraremos en los turbocompresores.

En general, la frecuencia no engaña, sino que puede ser analizada erróneamente, medida de forma inapropiada o interpretada incorrectamente. Sin embargo, las amplitudes pueden ser sobrestimadas o subestimadas. Si durante el monitoreo de la condición de la máquina se lleva a cabo un diagnóstico de fallo, entonces se podrán detectar problemas potenciales antes que se produzca la rotura catastrófica. [3]



Fuente: <https://sis.cat.com>

Figura 2-2

2.4 ESTÁNDARES PARA EL MONITOREO OPERACIONAL [4].

Para poder realizar el monitoreo operacional de las vibraciones en los turbocompresores es necesario ejecutarlo a través de una norma ISO, debido a que esta nos da estándares a seguir para realizar una evaluación más certera.

En esta oportunidad el monitoreo se realizó bajo la Norma ISO 10816-4 "Mechanical vibration.- Evaluation of machine vibration by measurement on non-rotating parts- Part 4: Gas turbine sets with fluid- bearings" (Vibración Mecánica. Evaluación de la vibración de máquinas en base a su medición en partes no-rotatorias- Parte 4: Turbina a gas con descansos hidrodinámicos). De esta podemos obtener los procedimientos de medición, criterios de evaluación, configuración de los valores de alarma y parada y tablas de evaluación.

Se opta por esta norma debido a que es aplicable a la vibración en los cojinetes con una película fluido, como es la configuración de los turbocompresores de los camiones de extracción, a continuación expondremos los contenidos más relevantes que utilizamos de la ISO 10816-4.

2.4.1 ZONAS DE EVALUACIÓN

Las siguientes zonas de evaluación se definen para permitir una evaluación cualitativa de las vibraciones de una maquina determinada y proporcionar orientaciones sobre posibles acciones.

ZONA A: la vibración de las máquinas nuevas o recientemente reacondicionadas puestas en servicio, normalmente deberían estar en esta zona.

ZONA B: Máquinas con vibración en esta zona son normalmente consideradas aceptables para operar sin restricción en un periodo largo de tiempo.

ZONA C: Máquinas con vibración en esta zona son normalmente consideradas insatisfactorias para una operación continua para un tiempo prolongado. Generalmente, estas máquinas pueden operar por un periodo limitado en esta condición hasta que se presente una oportunidad conveniente para reparar la máquina.

ZONA D: Los valores de la vibración de esta zona son consideradas normalmente como insuficientemente severos para causar daño a la máquina.

2.4.2 TABLA DE EVALUACIÓN DE ZONAS LÍMITES

Los límites de la zona de evaluación se basan en la velocidad de vibración del alojamiento / pedestal del cojinete, válido para velocidad de rotación del eje 3000 r / min a 20 000 r / min.

Tabla 2-1 Zona de Límites

Zona Límite	Velocidad de Vibración mm/s (rms)
A/B	4,5
B/C	9,3
C/D	14,7

Estos valores son los límites superiores de las zonas A, B y C respectivamente, deben aplicarse a las mediciones de vibraciones radiales en todos los rodamientos, carcasas o pedestales y para medición de vibraciones axiales en carcasas que contiene un cojinete de empuje axial, en condiciones de funcionamiento de estado estable en velocidad nominal.

2.5 AJUSTE DE ALARMAS.

Los valores de ALARMA pueden variar considerablemente, hacia arriba o hacia abajo, para diferentes máquinas. Los valores elegidos normalmente serán establecidos en relación con un valor de línea base determinado a partir de la experiencia para la posición o dirección de medición, para esa máquina particular.

Se recomienda que el valor de ALARMA se establezca más alto que la línea base en una cantidad igual al 25% del límite superior de la zona B. Si la línea de base es baja, la ALARMA puede estar debajo de la zona C.

Cuando no haya una línea de base establecida (por ejemplo, con una máquina nueva), se debe basar la configuración de ALARMA inicial ya sea en la experiencia con otras máquinas similares o en relación con los valores de aceptación acordados. Después de un período de tiempo, se establecerá un valor de referencia de estado estable y la configuración de ALARMA se ajustará en consecuencia.

Cuando la señal de línea base no es estable ni repetitiva, se utiliza algún método para calcular el promedio de tiempo de la señal necesario.

Se recomienda que el valor de ALARMA normalmente no exceda de 1,25 veces el límite superior de la zona B.

Si la línea base de estado estable cambia (por ejemplo, después de una revisión de la máquina), la configuración de ALARMA debe revisarse en consecuencia, pueden existir diferentes configuraciones operativas de ALARMA para diferentes rodamientos en la máquina, reflejando diferencias en la carga dinámica y en la rigidez del soporte de los rodamientos.

2.6 MEDICIÓN DE VIBRACIONES.

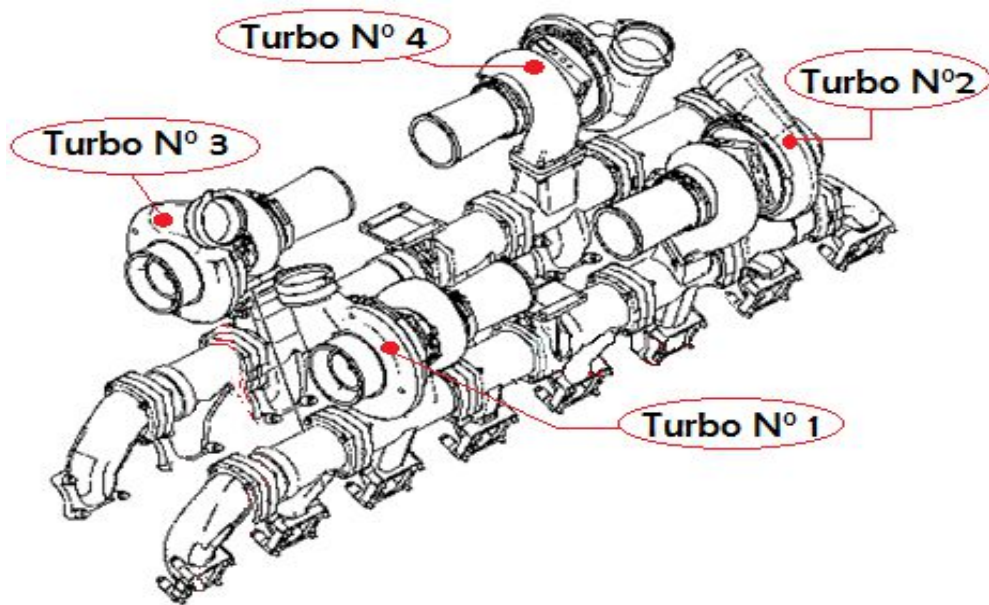
Establecidos todos los parámetros, se procede a programar la ruta del instrumento con el cual se efectuarán, es el Microlog serie GX CMXA75 de SKF (Fig.2-3) establecer las velocidades en cual se efectuará la medición 700 RPM y 1690 RPM, luego las mediciones las cuales serán horizontal, vertical y radial (Fig.2.2), se programan como Turbo 1, Turbo 2, Turbo 3 y Turbo 4, a los cuales le realizaremos las mismas mediciones y en el sector establecido (Fig.2-4).

Una vez obtenidos los datos, se descargan y procede a realizar la comparación y análisis de los gráficos.



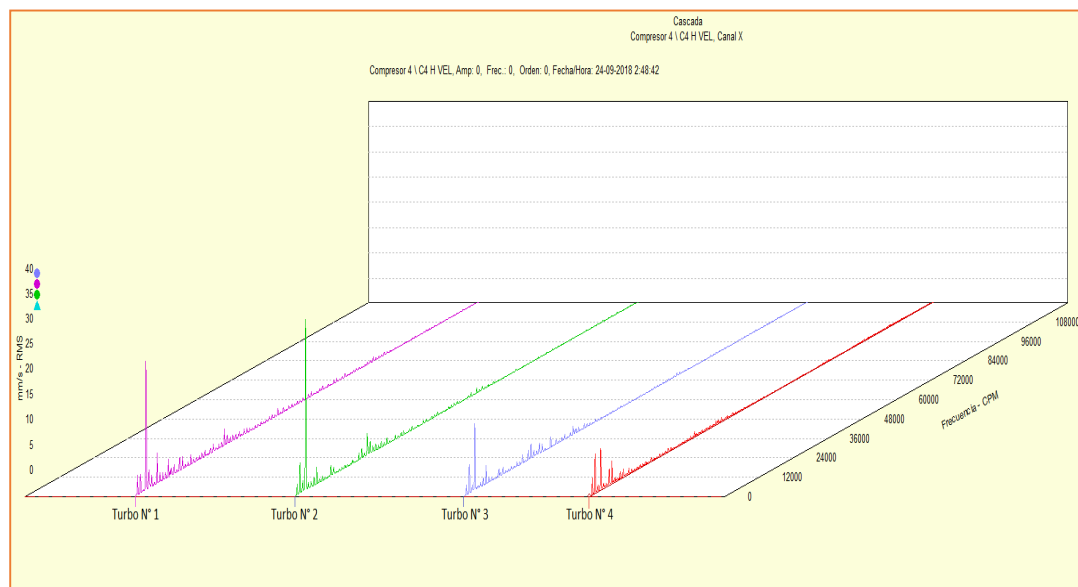
Fuente: www.skf.com/uy/products/condition-monitoring/portables-data-collectors-and-analyzers/vibration-analyzers/index.html

Figura 2-3



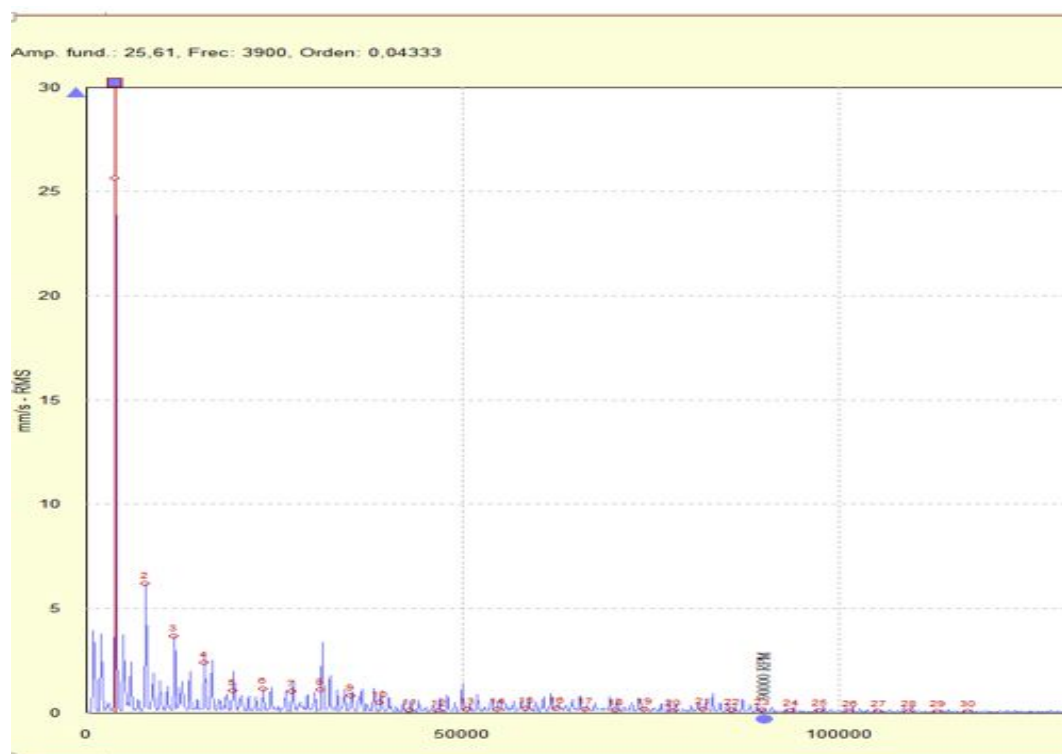
Fuente: <https://sis.cat.com>

Figura 2-4



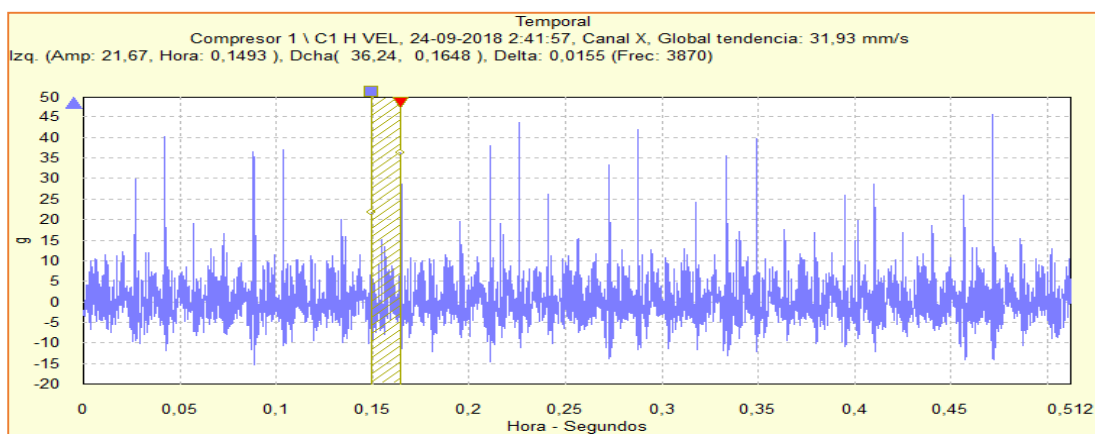
Fuente: Confección propia

Figura 2-5



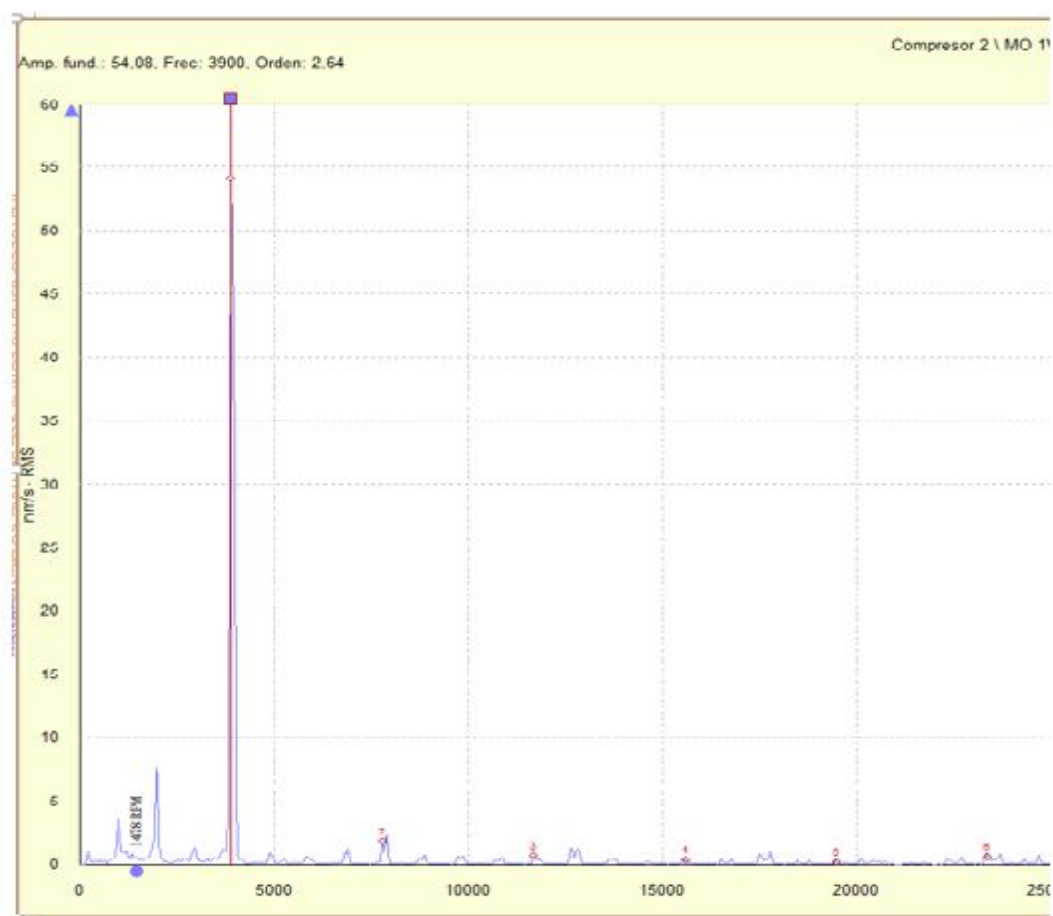
Fuente: Confección propia

Figura 2-6



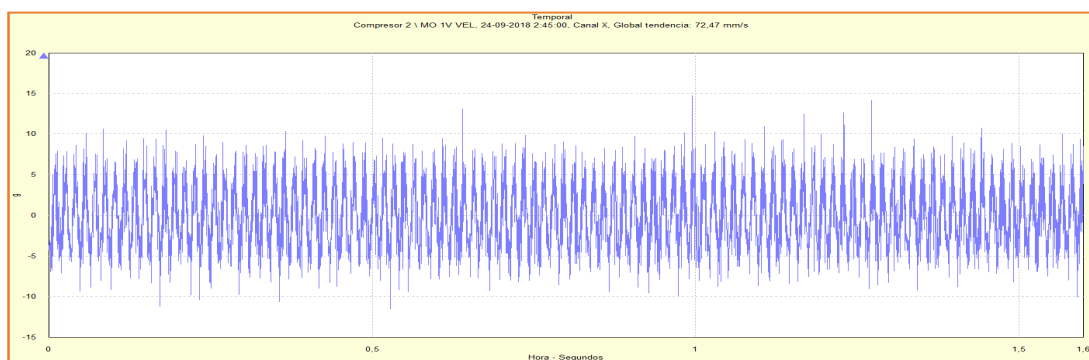
Fuente: Confección propia

Figura 2-7



Fuente: Confección propia

Figura 2-8



Fuente: Confección propia

Figura 2-9

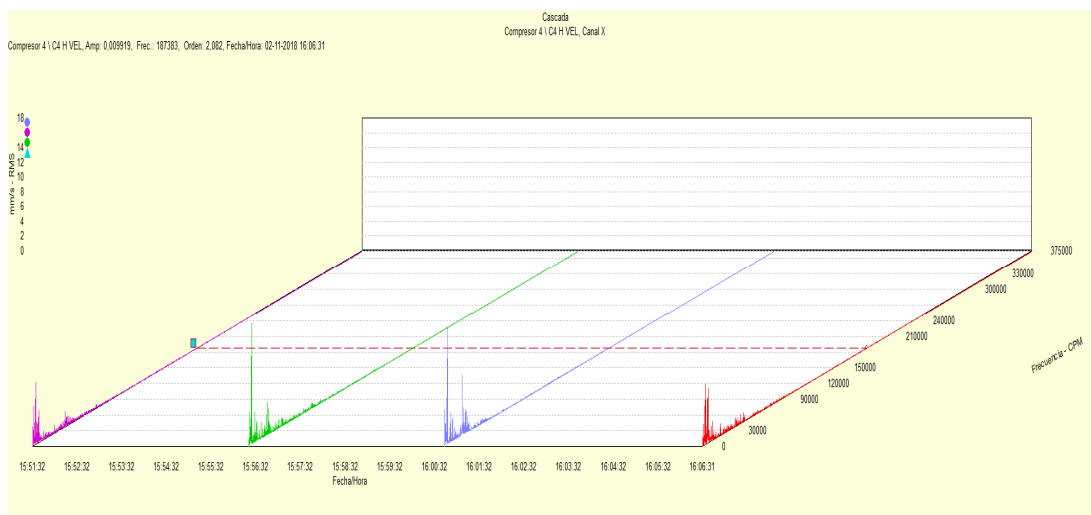
Se analizan los gráficos, en los cuales no se podía identificar bien los incrementos en los espectros, para poder realizar un mejor análisis se genera un gráfico de cascada (Fig.2-5), acá se determina que el turbo N°1 y el turbo N°2, poseen una mayor amplitud, esto solo se realiza a través de una comparativa con los cuatro turbos.

En los gráficos del turbo N°1 (Fig.2-6 y 2-7), se observan múltiples armónicos a la velocidad de giro característicos de soltura generada por desgaste en cojinetes debido a contaminación en aceite. En gráfico temporal (forma de onda) se observa golpe cíclico a la velocidad de giro del turbo.

En los gráficos del turbo N°2 (Fig.2-8 y 2-9), se observan elevación a la 1x velocidad de giro con forma de onda sinusoidal característico de desbalance generado por posible desgaste en álabes de impulsor.

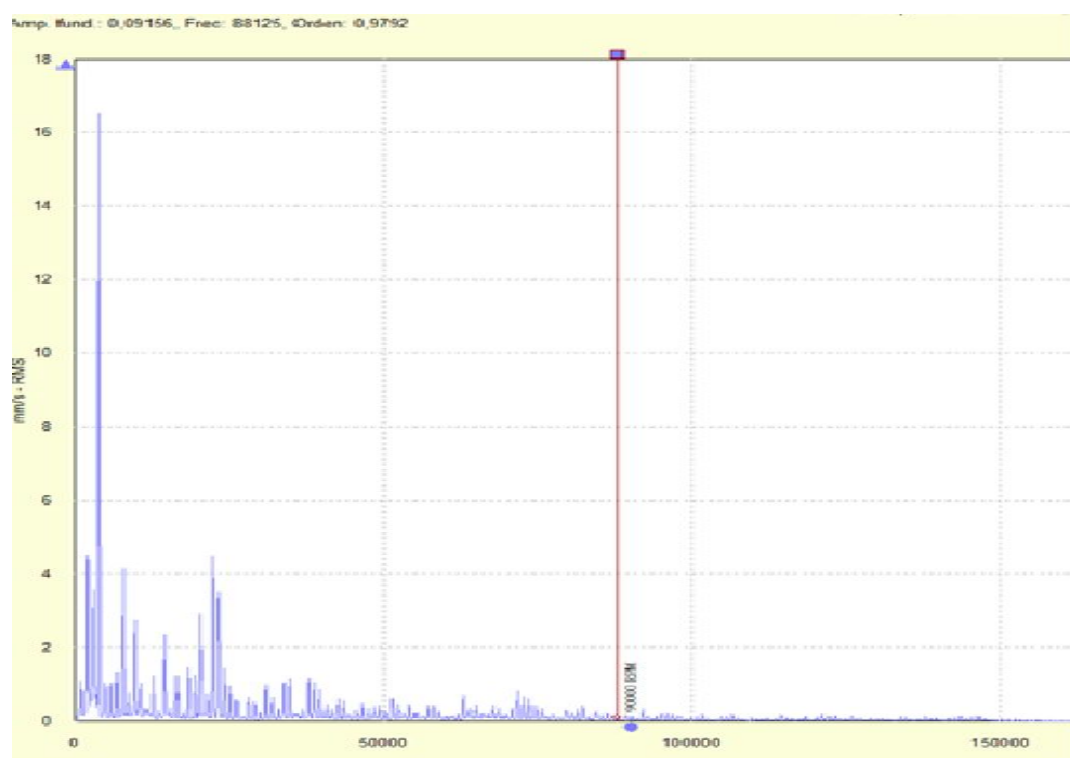
Luego se realizan mediciones de vibraciones en un motor de mediana vida de utilización con aproximadamente 5500 horas, se realiza efectuando las mediciones en los puntos anteriormente mencionados, en la cual se lleva al equipo que tome una temperatura de trabajo, las cuales son unas de las condiciones ideales para realizar las mediciones, debido a que en estas condiciones podemos verificar si el motor está dando la potencia adecuada y mencionada por el fabricante que es de sobre 21 psi de presión de refuerzo.

Además se verifica en el historial del camión de extracción si este ha tenido un cambio de turbocompresor a la fecha de las mediciones, el cual no presentaba cambios, se toma una muestra de aceite para verificar la presencia de sílice o algún material que pueda dar indicios de algún desgaste prematuro del turbocompresor como es el aluminio, el cual no presentaba presencia de los materiales antes mencionados y cumplía con el ISO establecido, se verifica la planilla de tendencias presentando presencia de sílice, esta falla fue reparada unas de las mantenciones efectuadas con anterioridad en la cual existían abrazaderas de ductos sueltas y grietas en estos.



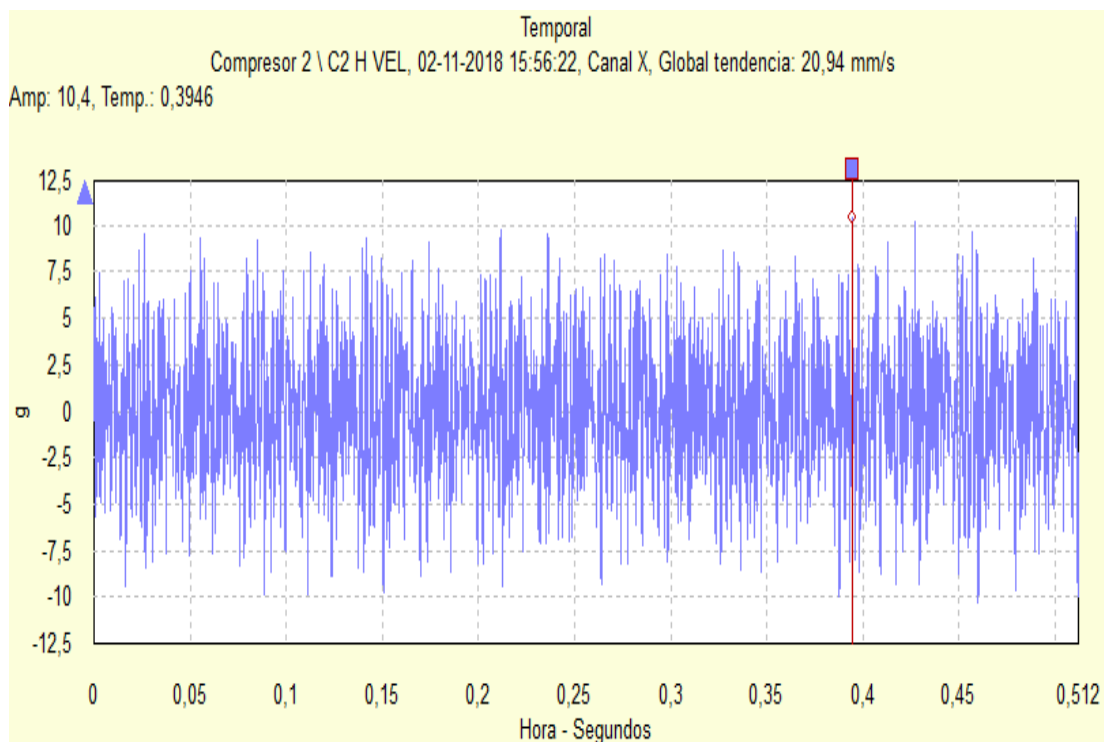
Fuente: Confección propia

Figura 2-10



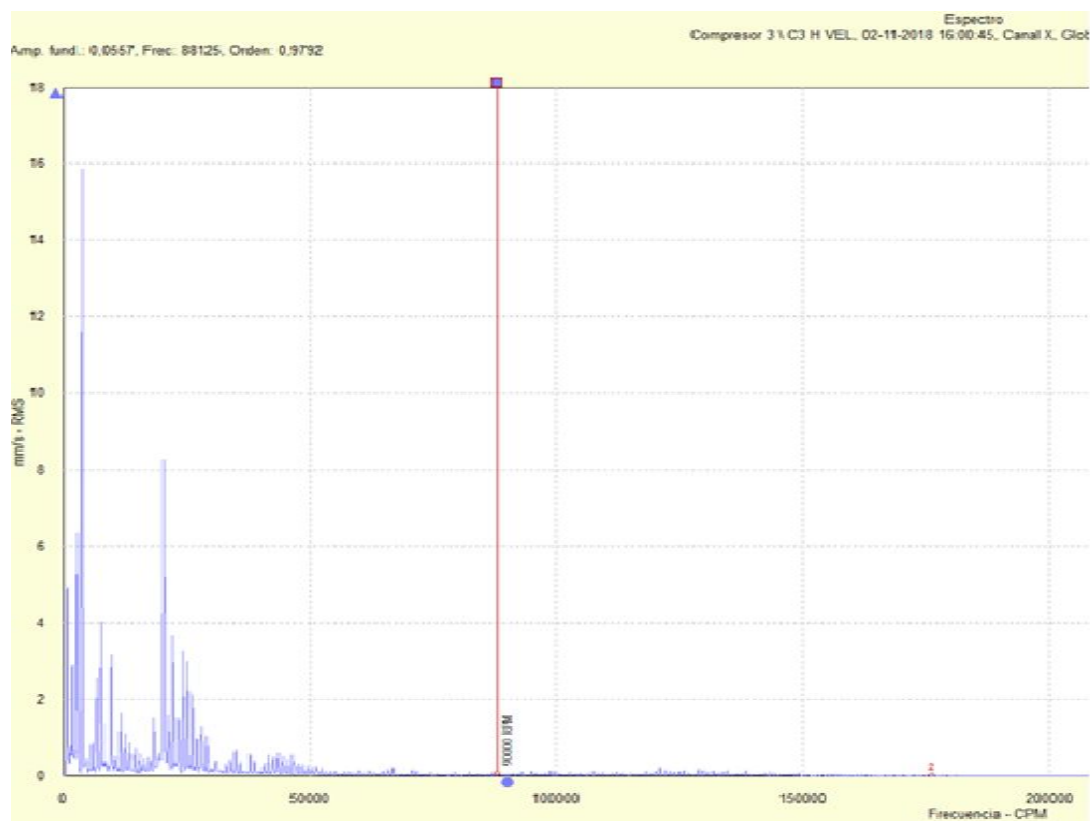
Fuente: Confección propia

Figura 2-11



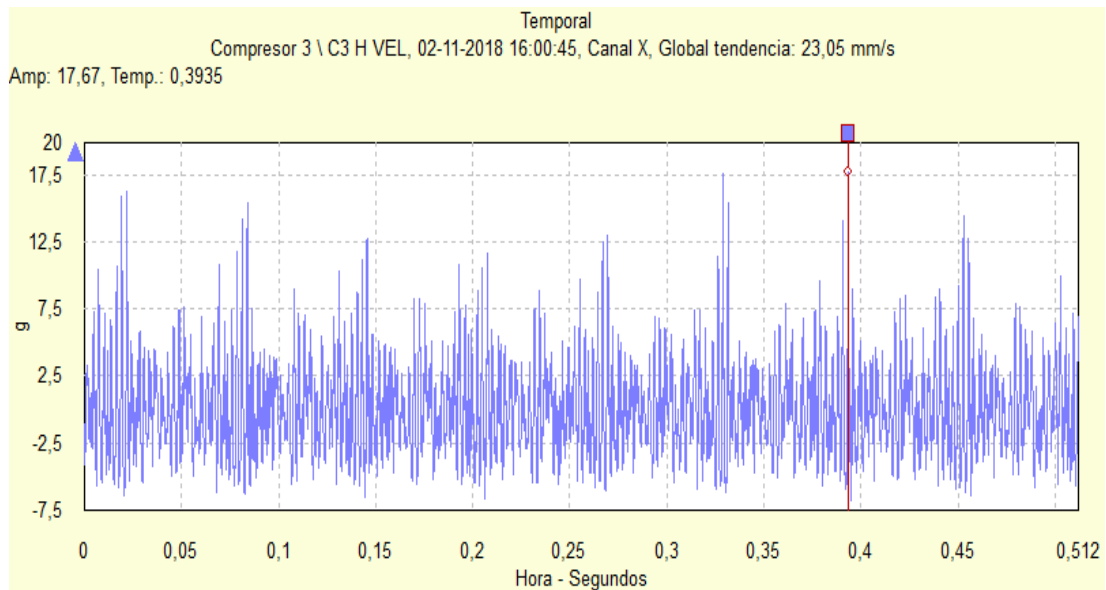
Fuente: Confección propia

Figura 2-12



Fuente: Confección propia

Figura 2-13



Fuente: Confección propia

Figura 2-14

Se analizan los gráficos, como sucedió en la medición anterior no se podía identificar bien los incrementos en los espectros, para poder realizar un mejor análisis se genera un gráfico de cascada (Fig.2-10), acá se determina que el turbo N°2 y el turbo N°3, poseen una mayor amplitud, esto solo se realiza a través de una comparativa con los cuatro turbos debido a que aún no se realiza una medición a un motor que este comenzando con su vida útil.

En los gráficos del turbo N°2 (Fig.2-11 y 2-12), se observan múltiples armónicos a la velocidad de giro, característicos de soltura generada por desgaste en cojinetes debido a contaminación en aceite reflejado en la planilla de tendencias. En gráfico temporal (forma de onda) se observa golpe cíclico a la velocidad de giro del turbo.

En los gráficos del turbo N°3 (Fig.2-13 y 2-14), al igual que en los gráficos del turbocompresor N°2, se observan múltiples armónicos a la velocidad de giro, característico de soltura generada por el desgaste en los cojinetes debido a la contaminación del aceite, este desgaste a medida que vaya incrementado producirá que los álabes comiencen a golpearse contra la carcasa lo cual producirá un desbalance y pueda llevar hacia un daño catastrófico de los turbocompresores.

Para poder realizar un mejor análisis, como anteriormente se mencionó, se toman los datos de tres motores, uno que este comenzando su vida útil, otro en su mediana vida útil y otro que ya esté en el final de su vida útil, se genera unos

espectros bases, para su comparación con las próximas mediciones y así evaluar de mejor forma el daño que pueda estar presentando el turbocompresor, tomar la decisión de programar un cambio oportuno a través del seguimiento efectuado, de tal manera que no afecte la operación. Además la toma de muestras de aceite en cada mantención y el análisis de este, toma una rol fundamental debido a que en él se verá si tiene indicios de ingreso de sílice en el sistema o muestra de partículas de aluminio, si esto llegara a suceder, además de corregir los problemas que estén produciendo el ingreso de sílice, se deberá realizar una medición de vibraciones para verificar si los turbocompresores han sufrido algún daño y poder realizar un seguimiento si a través del tiempo se incrementan los daños en estos.

Obteniendo las primeras mediciones de toda la flota se podrá generar un historial del monitoreo de condiciones de los turbocompresores y así poder diagnosticar de mejor manera los problemas de potencia que se producen con una alta frecuencia en la flota de camiones de extracción y en un futuro poder predecir en cuánto tiempo de diagnosticado el problema en el turbocompresor se deba realizar el cambio de este sin que se produzca una falla catastrófica.

CAPITULO 3: ESTUDIO TÉCNICO ECONÓMICO

3.1 Propuesta de Mejora

Como en todo trabajo productivo, la importancia de la optimización de recursos forma una parte fundamental en la gestión de activos, a través de esta propuesta de implementación de análisis vibratorios en turbocompresores de camiones de extracción, se busca que, con los recursos que posee la empresa generar una mejora en los procesos de detección y análisis de fallas.

En el mercado existe un equipo de medición de vibraciones para motores diésel llamado Windrock 6400 (Fig.3-1) creado por Dover Company que además de otras funciones posee el poder realizar un análisis vibratorio a turbocompresores, su costo elevado que bordea los 76000 dólares ha llevado a la postergación de la compra de este instrumento dentro de la Compañía Minera Cerro Colorado. Buscando soluciones dentro de los instrumentos que posee la empresa, se realiza el estudio antes mencionado con el instrumento Microlog serie GX CMXA75 de SKF (Fig.2-3), con el cual se obtienen resultados óptimos, pudiendo diagnosticar posibles fallas existentes en los turbocompresores.

Al implementar esta propuesta se puede ahorrar tiempo, dinero y lo que es más importante realizar una tarea más segura tanto para los mecánicos como los operadores de los camiones de extracción.

La propuesta consta de, efectuar mediciones de vibraciones de turbocompresores de los camiones de extracción cada 2000 horas de funcionamiento de este, el cual se incluiría dentro del programa de mantenimiento del equipo de extracción y de esta forma realizar un seguimiento del desgaste progresivo del componente, como dentro de los análisis que se realizan está el de aceite de motor, este se tomara como complemento al análisis vibratorio debido a que en él se puede observar la presencia de sílice u otros agentes extraños que puedan estar dañando los bujes, ya que el aceite de motor es el que se utiliza para lubricar el turbocompresor, de esta forma evaluar la severidad del daño del componente, generando el seguimiento o un cambio programado, el cual traerá como beneficio, el ahorro de dinero y tiempo en varios ámbitos.

Como bien se sabe el trabajo programado es más barato con respecto a un trabajo realizado de forma imprevista, en este disminuyen los costos por reparaciones catastróficas, se conoce anticipadamente el presupuesto de reparación, se puede efectuar una reparación al componente cambiado sin tener que deshacerse de él por daños irreparables, asimismo el de insumos

innecesarios, etc.

Al estar incluida la tarea dentro del programa de mantenimiento cada 2000 horas que se le realiza al camión de extracción, se evitara tener que dejar fuera de operación el equipo por un tiempo el cual podría estar produciendo. Lo mismo sucede al programar el cambio del turbo compresor, en el cual se reduce notablemente las horas de reparación, debido que al efectuar una reparación en terreno estaríamos hablando de unas 18 horas como mínimo y al realizarla en forma programada esta se reduciría a 4 horas. Como se puede apreciar la ganancia de horas fuera de servicio del camión de extracción es bastante notoria.

Un camión de extracción al sufrir un daño por problemas catastrófico en un turbocompresor deja de aportar 235 toneladas por vuelta al chancado, si en esta se demora aproximadamente 20 minutos, deja de aportar aproximadamente 17750 toneladas en el tiempo de reparación. Comparado al realizar un trabajo programado, en el cual está previsto ese tiempo de no producción del camión de extracción.

Además de los costos por insumos y las HH incrementan 4 veces que al realizar un cambio programado. Al tener un daño catastrófico el turbocompresor, obligadamente el valor de este se incrementa al doble, debido a que no se puede dar como parte de pago, para adquirir uno ya reparado.

Al realizar una reparación en taller se eliminarán los costos por refrigerantes, debido a que se cuenta un estanque recuperador de refrigerante, los gastos de insumos del sistema contra incendios (Fig.3-2) ya que este no se activara puesto que el trabajo se realizara antes de que suceda el daño catastrófico del componente, los trabajos se harán más rápido y seguro, ya que el taller cuenta con todas las herramientas e infraestructura necesaria para realizar el trabajo requerido, este se realizará en el marco de las condiciones ideales para una reparación de este tipo y así evitar un desgaste prematuro del componente y motor debido a la contaminación por la polución existente cuando el equipo falla en terreno.

A continuación, se detalla la cotización del analizador Windrock 6400, este equipo es fabricado por la empresa Dover Company.

Tabla 3-1 Extracto de cotización de Windrok 6400

Descripción	Valor	Unidad
Windrock MD Software Portable	7063	USD
6400/DA Diésel Analyzer and Software-Dual Channel	41961	USD
/VA Options	9050	USD
Encoder, TDC, Phase, Speed	7818	USD
Manetig Pick up Sensor	589	USD
Encoder Cable	424	USD
Ultrasonic/Temperature Sensor	1378	USD
Dinamic DC Pressure Sensor	3419	USD
Cable-Acelerometer	424	USD
6400/PA/MA/DA Care Support (1 Año)	3705	USD
Valor Total de la Compra	75831	USD

Estos valores se obtuvieron de la cotización N° 3037-0418 WDK, en la cual se detallan los beneficios que se pueden obtener al adquirir este equipo de monitoreo, pero por el momento actual que está viviendo la compañía no quiere incurrir en gastos y los presupuestos están dispuestos para la adquisición de componentes, por esta razón es que se realiza esta propuesta utilizando los instrumentos y capacidades con que actualmente consta la compañía. A continuación.



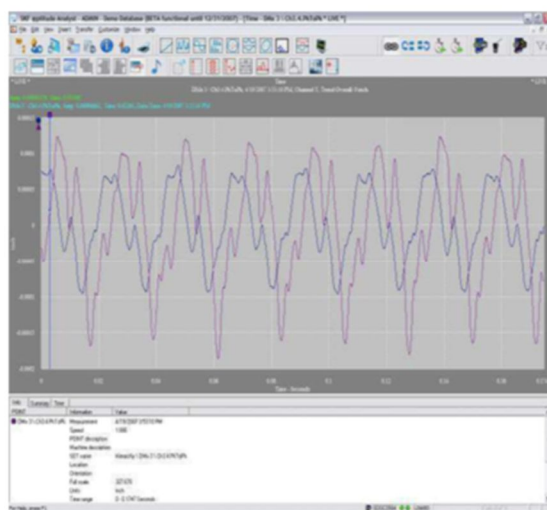
Fuente: <https://windrock.com/products/6400portableanalyzer/>

Figura 3-1 (Windrock 6400)

Tabla 3-2 Extracto de cotización de Microlog serie GX CMXA75

Descripción	Valor	Unidad
Equipo para Medición CMXA 80 F-K-SL	33000	USD
Software Aptitud Analyst SKF CMSW 7300 MCB-SL	18500	USD
Valor Total de la Compra	51500	USD

Estos valores son obtenidos de la cotización N° FBP2211-18, en la cual se detalla lo que trae consigo el equipo de medición y su programa para el análisis posterior efectuadas las mediciones, la compañía ya cuenta con un equipo de estas características en el área Planta, el cual se solicitó para desarrollar las mediciones realizadas, se incluye esta cotización y en el estudio económico debido a que se solicita una compra para el Departamento de Monitoreo de Condiciones de Mantenimiento Mina



Fuente: <https://www.skf.com/mx/products/condition-monitoring/portables-data-collectors-and-analyzers/vibration-analyzers/index.html>

Figura 3-2

3.2 Estudio Económico

A continuación, se expondrá una tabla en donde se exponen las pérdidas de producción al fallar turbocompresor en terreno. En la cual se toman las horas de detención del equipo por falla imprevista, las toneladas por vuelta que el equipo deja de alimentar el chancado, al suceder esta falla además se toman en cuenta el tiempo de detención del circuito en el cual los camiones que se encontraban en este dejan de alimentar el chancado.

Tabla 3-3 Pérdidas de Operaciones

Pérdidas de Operaciones	Horas	Unidad
Horas de detención de Equipo por falla imprevista	18	Hr
Toneladas por vuelta	325	t
Tiempo en una vuelta	20	Min
Tiempo detención del circuito	2	Hr
Cantidad de Vueltas por hora	3	Vueltas
Camiones por circuito	10	Camiones
Pérdida por detención del circuito	17550	t
Pérdida Por camión detenido	17550	t
Pérdida Total	35100	t
Pérdida Total en USD	70200	

Como se puede apreciar las perdidas en producción son considerables, sin contar que estas se harían mayores, si el repuesto no se encontrara en faena o en el país, ya que ahí se activan otros canales para poder traer el repuesto lo antes posible, en esta tabla se calcula el valor de las toneladas que debería mover el camión por 2 dólares la tonelada.

Estas son unos valores aproximados de las toneladas de material que se dejan de mover, estos valores fueron obtenidos del sistema Dispatch (Fig.3-3) con el cual cuenta la compañía, en este se lleva un registro de los movimientos que ejecuta el camión de extracción y todas las detenciones que ocurren en la jornada laboral. Estos registros sirven para ver si se está cumpliendo con las disponibilidades y movimientos de tierra programados durante el turno, con los cuales debe cumplir operaciones y estos se establecen diariamente en conjunto

con Mantención.

En la siguiente tabla se enseñará las perdidas aproximadas en las que incurre Mantención Mina al realizar el trabajo de forma imprevista, en la cual se reflejan gastos como es el de refrigerante, debido a que este no se puede recuperar, ya que no se cuenta con contenedores de recuperación. El poder trasladar un contenedor se hace muy engorroso, debido a que hay que coordinar un medio de transporte el cuál no posee mantenimiento. A esto se suma los gastos por reparación del sistema contra incendios, debido a que cuando se produce la falla catastrófica se producen llamas por los ductos de escape y el operador acciona los el sistema.

Tabla 3-4 Pérdidas de Mantención

Perdidas de Mantención	Cantidad	Unidad	Valor Unitario USD	Valor Total USD
Refrigerante	800	Lt	1,5	1200
Turbo	1	-	30537	30537
Empaquetaduras	4	-	10	40
Polvo Químico	3	Sacos	150	450
Nitrógeno	1	Tubo	65	65
Percutor automático	5	-	45	225
Valor Hora Mecánico	36	Hr	13	468

Valor Total Detención	32985	USD
-----------------------	-------	-----

Al revisar la tabla podemos ver que esta incluye varios insumos de los cuales, no se debería utilizar si se realiza la reparación de forma programada.

Los insumos por la reparación con lo respecta al sistema contra incendios además de incrementar los valores de los insumos incrementa las HH debido a que se le asignan 6 Horas para la habilitación del sistema contra incendios.

Los datos para confeccionar la tabla que a continuación se expone fueron obtenidos de sistema 1SAP (Fig.3-4, 3-5) con el cual cuenta la Compañía, en él se realiza todas las tareas que están en la programación además de los costos asociados y HH utilizados para una reparación.

En esta tabla se incluyen los datos de los gastos de un cambio programado de un turbocompresor, en el cual se incluyen la reparación con un turbocompresor nuevo, turbocompresor reparado sin devolución de core y con devolución de core.

Tabla 3-5 Gastos Cambio Programado de Turbocompresor

Gastos Cambio Programado	Cantidad	Unidad	Valor Unitario USD	Valor Total USD
Turbo Nuevo	1	-	30537	30537
Empaquetaduras	4	-	10	40
Valor Hora Mecánico	8	Hr	13	104
Turbo Reparado	1		23821	23821
CORE (Turbo Retirado de Equipo)	1	-	9339	9339

Valor Total Reparación Turbo Nuevo	30681	USD
Valor Total Reparación Turbo Reparado Sin devolución de Core	23965	USD
Valor Total Reparación Turbo Reparado	14626	USD

El valor del turbocompresor reparado es de 23965 USD, se estaría ahorrando en un 77% del valor que al optar por un turbocompresor nuevo, pero si al realizar la devolución del Core, se estaría ahorrando un 85% del valor al realizar la reparación con turbo nuevo, este ahorro es posible con la devolución del componente dañado, al cual se le denomina CORE, el turbocompresor devuelto debe estar en un estado de conservación aceptable es decir con daños que permitan realizar una reparación óptima.

A continuación, en la próxima tabla se comparan en los gastos en los que incurre la compañía actualmente y los que se adoptarían si se implanta la propuesta de análisis de los turbocompresores.

En ella exhibe una comparación de todas las posibles reparaciones, en las cuales, queda expresado que la mejor opción en la reparación de la falla, es el cambio programado del turbocompresor, por uno reparado con devolución.

Tabla 3-6 Comparativa de Posibles Reparaciones

Gastos Directos	Catastrófico Valor USD	Catastrófico C/Rep. Valor USD	Turbo Nuevo Valor USD	Turbo Rep.S/Dev. Valor USD	Turbo Rep.C/Dev. Valor USD
Valor Hora Mecánico	468	468	104	104	104

Gastos Indirectos					
Refrigerante	1200	1200	-	-	-
Turbocompresor Nuevo	30537	-	30537	-	-
Empaquetaduras	40	40	40	40	40
Polvo Químico	450	450	-	-	-
Nitrógeno	65	65	-	-	-
Percutor automático	225	225	-	-	-
Turbocompresor Reparado sin devolución de Core	-	23965	-	23821	14482
Turbocompresor Reparado con devolución de Core	-	-	-	-	-
Perdidas por detención de equipo	35100	35100	-	-	-
Perdidas por detención del circuito	35100	35100	-	-	-

Valor de Perdidas en USD	103185	96613	30681	23965	14626
-------------------------------------	--------	-------	-------	-------	-------

Como podemos observar cualquiera de las tres últimas opciones son rentables, debido a que se reduce considerablemente los gastos de la reparación, implementando la propuesta de análisis de vibraciones en turbocompresores comparando lo que actualmente está ocurriendo en la Compañía al estar trabajando a la falla, con esto se confirma que al efectuar una detención programada genera menos gastos si esta es de forma imprevista.

A través de los resultados obtenidos en las tablas de anteriores se procede a obtener el Valor Actual Neto (VAN), en las cuales, se comparan dos cotizaciones de diferentes equipos de medición de vibraciones, estos son el Microlog serie GX

CMXA75 de SKF y el Windrock 6400, se evalúan con una duración de tres años, una desvalorización del 35% de su valor comercial y una tasa de interés de 7,5% la cual es la utiliza BHP para todas las evaluaciones de sus proyectos.

Luego de obtener el VAN se calcula el Costo Anual Uniforme Equivalente (CAUE), con este valor se evalúa cuál es la mejor opción de las propuestas, dando un mejor resultado la opción del Microlog serie GX CMXA75 de SKF.

Para esta evaluación ocupamos las siguientes fórmulas para obtener el VAN y CAUE.

$$VAN = CI * COM \left[\frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} \right] + CS \left[\frac{1}{(1+i)^n} \right]$$

Dónde:

VAN: Valor Actual Neto

CI: Costo Inicial

COM: Costo de Operaciones y Mantenimiento

CS: Costo de Salvamento

i : Taza de Interés

$()^n$: Numero de Años de duración del equipo

Fuente: Apuntes de Universidad Tecnológica de la Selva, Chiapas, México

$$CAUE = VAN \left[\frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \right]$$

Dónde:

CAUE: Costo Anual Uniforme Equivalente

VAN: Valor Actual Neto

i : Taza de Interés

$()^n$: Numero de Años de duración del equipo

Fuente: www.webyempresas.com/costo-anual-equivalente-o-beneficio-anual-equivalente-caue-o-baue

En la siguiente tabla se muestran los datos para la obtención de los indicadores VAN y CAUE, estos valores fueron sacados de los anexos A y B los cuales son las cotizaciones de los equipos y de las tablas anteriormente exhibidas.

Tabla 3-7 Obtención del VAN Y CAUE

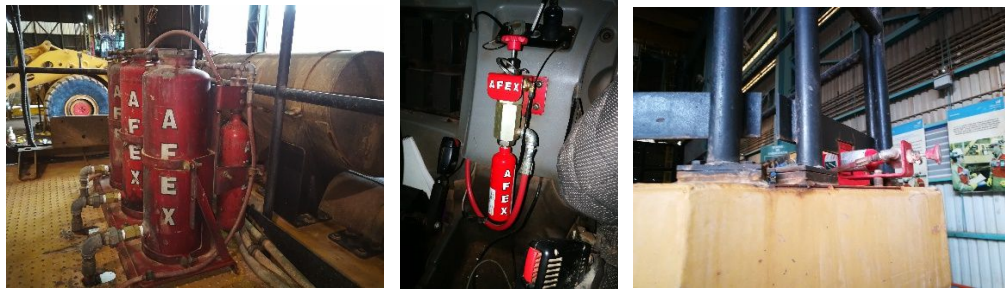
Costos	Microlog	Windrok	Actual
Costo Inicial	51500 USD	75831 USD	
Mant. Y Operación	87756 USD	87756 USD	619110 USD
Valor de Salvamento	33475 USD	49290,15 USD	
Vida útil en Años	3	3	
Taza de Interés	7,5 %		

VAN Microlog	-335192,8 USD
VAN Windrok	-385735,6 USD
CAUE Microlog	-25140,46 USD
CAUE Windrok	-28473,36 USD

Para poder evaluar el proyecto se calcularon los indicadores de VAN y CAUE. El cálculo del VAN se realiza con una variación a formula inicial, esta se adecua a los valores de este proyecto, con lo que respecta a los costos de operaciones y mantenimiento. La elección de realizar el cálculo del CAUE se toma debido a que es un método eficaz para la evaluación de un proyecto, debido a que este proyecto solo involucra costos, ya que en mantenimiento no se poseen ganancias.

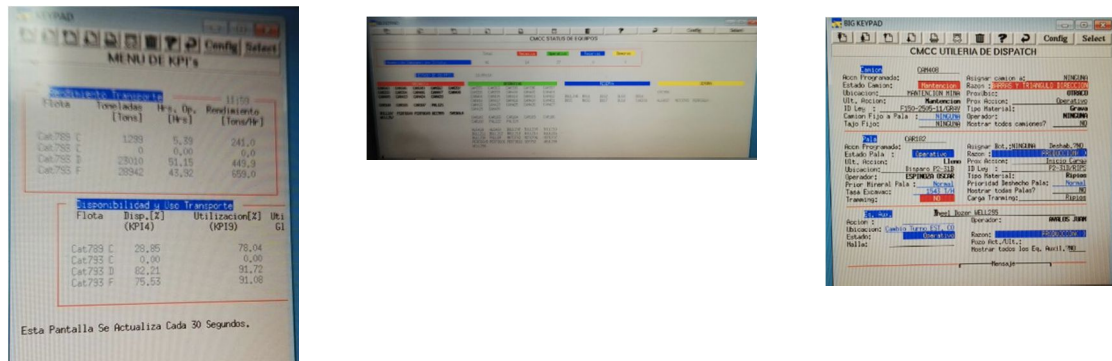
El CAUE como su nombre lo dice Costo Anual Uniforme Equivalente, este proyecto queda financiado, como los cálculos realizados lo ratifican en menos de un año, este indicador es utilizado frecuentemente cuando un proyecto dura aproximadamente un año.

El proyecto el a elegir en este caso, es el que posee un menor valor del CAUE, en este caso sería el proyecto en el que se adquiere el Microlog.



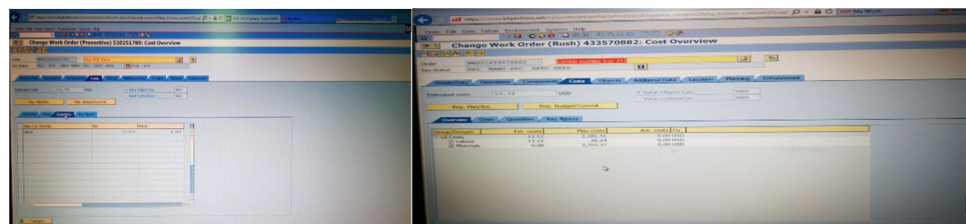
Fuente: Fotografías obtenidas en terreno.

Figura 3-3 (Insumos Sistema Contra Incendios)



Fuente: Fotografías obtenidas de software dispatch

Figura 3-4 (Pantallas DISPATCH)



Fuente: Fotografías obtenidos desde 1SAP

Figura 3-5 (Valor del HH Obtenidos desde 1SAP)

Bienvenido, cliente. Preferencias | Ayuda/Preguntas frecuentes | Cerrar sesión | Contáctenos | Imprimir

PÁGINA PRINCIPAL DE PARTSTORE **MANUAL DE PIEZAS (SIS)** OTROS MANUALES DE PIEZAS RECURSOS

Carro de compra Pago y envío Revisar y hacer el pedido

INFORMACIÓN DEL PEDIDO

Pedido para: **DOLARCC - MINERA CERRO COLORADO** Equipo: **Escoger -**

Tipo de pedido: **Estándar** Número de serie:

Ubicación de la vende: **Bod. Finning en CMCC**

LISTA DE PIEZAS

	CANTIDAD	NÚMERO DE PIEZA	NOMBRE DE LA PIEZA	NÚMERO DE SERIE	NOTAS SOBRE LOS ARTÍCULOS	PESO ESTIMADO (LBS)	CANTIDAD DISPONIBLE	DISPONIBILIDAD	PRECIO POR UNIDAD (USD)	PRECIO EXTENDIDO (USD)
1	1	519-8010	TURBO GP-BAS			194.6	1	Para disponibilidad llamar al +56 2 2328 6890	8.878,26	8.878,26
2	1	487-7647	TURBO GP-BAS			392.8	1	Póngase en contacto con el distribuidor	30.537,27	30.537,27
3	1	487-7647	TURBO GP-BAS			392.8	1	Póngase en contacto con el distribuidor	30.537,27	30.537,27
4										

Bienvenido, cliente. Preferencias | Ayuda/Preguntas frecuentes | Cerrar sesión | Contáctenos | Imprimir

PÁGINA PRINCIPAL DE PARTSTORE **MANUAL DE PIEZAS (SIS)** OTROS MANUALES DE PIEZAS RECURSOS

Carro de compra Pago y envío Revisar y hacer el pedido

Opciones de piezas

Piezas reemplazadas - Las piezas siguientes se reemplazaron automáticamente

CANTIDAD	NÚMERO DE PIEZA	NOMBRE DE LA PIEZA	NUEVA CANTIDAD DEL PEDIDO	NUEVO NÚMERO DE PIEZA	NUEVO NOMBRE DE PIEZA	DISPONIBILIDAD
1	256-4528 NPR	TURBO GP	1	352-6147 NPR	BAS - TURBO	Miami

Piezas alternativas - Seleccionar de las alternativas ofrecidas.

	CANTIDAD	NÚMERO DE PIEZA	NOMBRE DE LA PIEZA	DISPONIBILIDAD	PRECIO POR UNIDAD (USD)
1	Original	352-6147 NPR	BAS - TURBO	Miami	31.008,70
0	Alternativa	256-4528 NPR	TURBO GP	Distribuidor de contacto reemplazado	30.433,79
0	Remanufacturada	20R-0604 NPR	TURBO GP-BAS	Póngase en contacto con el distribuidor	23.821,42
			VALOR CORE **		9.339,53

Notas:
 * Significa campo requerido
 ** - Notas para Reman y Excepciones.

© Caterpillar Todos los derechos reservados. | Caterpillar es una marca registrada de Caterpillar Inc. en los Estados Unidos y en otros países.

Fuente: Fotografías obtenidas desde 1SAP.

Figura 3-6 (Valores de Turbocompresores Obtenidos desde 1SAP)

CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIONES

A través del desarrollo de la propuesta de análisis en turbocompresores de camiones de extracción, se pudo establecer las fallas típicas de estos, recopilando información técnica tanto existente en la empresa como en textos, logrando establecer por medio de la determinación de modos de falla presente en los turbocompresores y se categorizan los datos obtenidos.

En realización de mediciones de turbocompresores, se logra obtener un análisis espectral de señales vibratorias para visualizar componentes espectrales que estaban produciendo señales de alguna avería en el equipo y así lograr estructurar una propuesta, la cual además de efectuar medición de vibraciones enlaza varias mediciones de monitoreo de condiciones del camión de extracción y de esta forma efectuar una mejor evolución de la falla de potencia que se producen de una manera recurrente en los equipos.

Se realiza la estimación de los beneficios que se pueden obtener al implantar este tipo de análisis en el mantenimiento predictivo, confeccionando un estudio técnico económico y de esta forma comprobar que al programar una reparación de algún componente se abaratan notablemente los gastos que puede producir una falla catastrófica. De esta manera damos a conocer a la Compañía que con los equipos de análisis con que cuentan, se puede mejorar en lo que análisis predictivo se refiere.

Esta propuesta está en un proceso de validación para implantarla en el plan de mantenimiento, para mejorar en análisis predictivo y reducir los gastos mejorando los Kpis tanto de operaciones como mantenimiento.

ANEXOS

Anexo A**Equipo para medición de Vibraciones**

Nº de Cotización: FBP2211-18
 Contacto : Andres Aranguiz
 Depto.: Mantenimiento Industrial
 E-mail: andres.aranguiz@usm.cl

- Descripción del Producto: Equipo para medición y análisis de vibraciones Microlog CMXA 75 Serie F, más software Aptitud Analyst multi-usuario.

CMXA 80 F-K-SL

Valor : USD 33.000,00 + IVA

- Software Aptitud Analyst SKF Multi-Usuario (5 Usuarios Recurrentes)

CMSW 7300 MCB-SL

Valor : USD 18.500,00 + IVA

Valores Oferta validos hasta el 15 de Diciembre de 2018

En caso de aceptación de la presente oferta, sírvase emitir Orden de Compra a favor de Rodacenter Lubricación y Tecnología Limitada. RUT:76.842.632-5 haciendo mencion al numero de oferta FBP2211-18.

Rodacenter Lubricación y Tecnología Limitada

Avenida Américo Vespucio 1391 - Local 11 - Quilicura - Santiago - Chile. / Fono: (+56 2) 2627 2727



Lubricación y Tecnología Ltda.



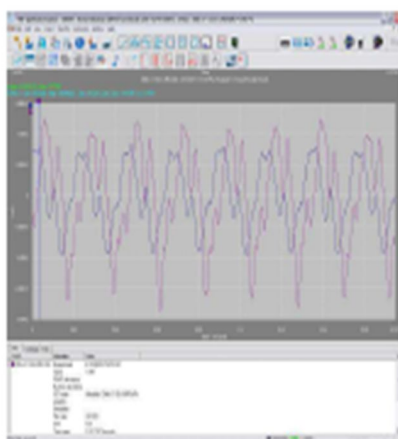
Características del Producto

MICROLOG AX-F

El Microlog AX es el más avanzado colector de datos y analizador de vibraciones de pantalla grande ofrecidos por SKF. Las características Microlog AX de SKF le permiten capturar una amplia gama de datos de vibración rápidamente.

El analizador proporciona la flexibilidad necesaria para soportar las aplicaciones que son más importantes para el programa específico de su empresa de mantenimiento predictivo.

Equipo robusto (IP65) y posee una tecnología de punta (**Procesador DSP PXA320 (806 MHz) X-Scale Intel®**) que lo hace una herramienta más rápida y eficiente. Posee dos (4) **Canales Off-Route/dos canales para ruta o medición simultanea con sensores triaxial para rutas e incorpora programa de Balanceo Dinámico**. Además de su memoria interna de 128 Mbytes para la recolección de datos, tiene la posibilidad de ampliar esta capacidad gracias a **memorias SD (compatible SD 4G)**. Rango de frecuencia máxima de **80kHz / (4.800.000 CPM) 1 y 2 canales o 40kHz max. triaxial y 4 canales**.



Rodacenter Lubricación y Tecnología Limitada

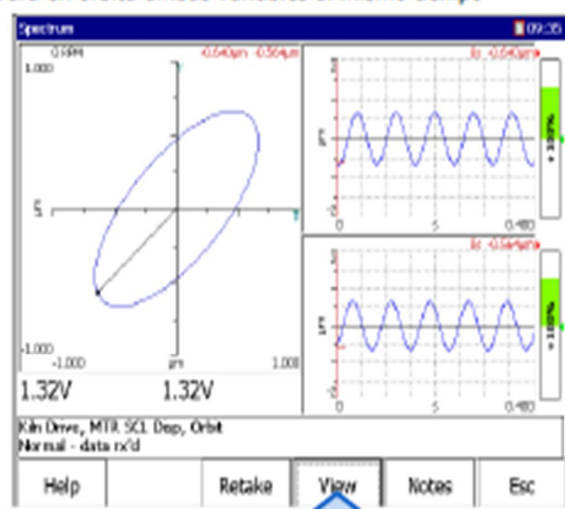
Avenida Américo Vespucio 1391 - Local 11 - Quilicura - Santiago - Chile. / Fono: (+56 2) 2627 2727



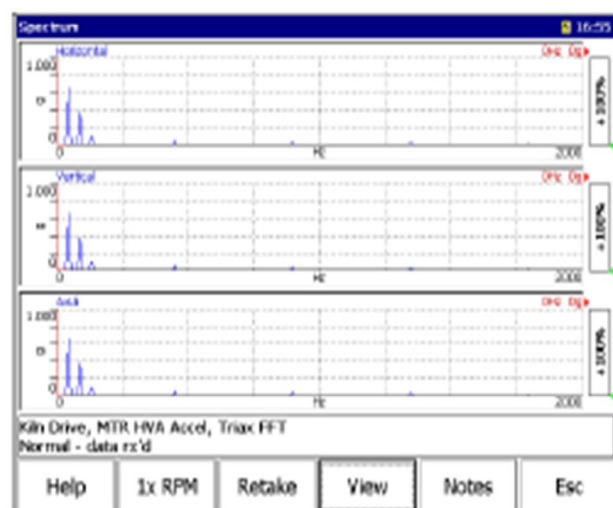
Lubricación y Tecnología Ltda.



Visualización: El usuario puede seleccionar la visión que desea. Puede mostrara en orbita ambas variables al mismo tiempo



Puede coleccionar 3 canales simultáneamente, medición envolvente en los 3 canales y muestra en forma simultanea cada canal.



Rodacenter Lubricación y Tecnología Limitada

Avenida Américo Vespucio 1391 - Local 11 - Quilicura - Santiago - Chile. / Fono: (+56 2) 2627 2727



El kit estándar del Microlog AX-F [CMXA 80-F-K-SL] de SKF incluye:

- Unidad CMXA 80-F-SL, programada para cuatro canales de mediciones fuera de ruta, dos canales o ruta triaxial simultánea y balanceo estático o dinámico en uno o dos planos; ensayo de impacto, grabadora de datos, ensayo de arranque/parada, función respuesta en frecuencia y módulo de control de conformidad.
- CD-ROM, manuales de usuario, información de valor y bibliografía.
- Cable USB/energía [CMAC 5019]*
- Cable USB/A a B [CMAC 5082]
- Cubierta del conector SD /dock [CMAC 5083]
- Docking station [CMAC 5068]*
- Paquete de baterías [CMAC 5070]*
- Cable, cable de potencia, UL 110, US [CMVA 3351]*
- Adaptador [CMAC 5022]
- Dos (2) acelerómetros, bajo perfil, Certificado NI (no inflamable) [CMSS 2200]*
- Dos (2) cables, sensor, en espiral [CMAC 5209]*
- Dos (2) bases magnéticas para acelerómetro, tamaño medio, 3,81 cm (1 1/2 pulg.) diámetro [CMSS 908-MD]*
- Maletín de transporte robusto [CMAC 5069]*
- Maletín liviano [CMAC 5071]*
- Dos (2) correas de mano [CMAC 5072]*
- Correa para el hombro [CMAC 5073]*
- Dos (2) protectores de pantalla [CMAC 5074]*
- Cubiertas protectoras para conector Fischer [CMAC 5075]*
- Tarjeta de memoria (SD) 1 GB [CMAC 5077]

* Disponible también como accesorio separado

RodaCenter Lubricación y Tecnología Limitada

Avenida Américo Vespucio 1391 - Local 11 - Quilicura - Santiago - Chile. / Fono: (+56 2) 2627 2727



Lubricación y Tecnología Ltda.



SOFTWARE @ptitude Analyst

@ptitude Analyst corresponde a la nueva generación de sistemas para el control del Mantenimiento Sintomático que trabaja con colectores y analizadores espectrales Microlog.

@ptitude Analyst está desarrollado bajo una estructura de Base de Datos relacional Oracle o SQL, que entrega a nuestros clientes la más alta tecnología y eficiencia en el trabajo de redes y en la arquitectura cliente / servidor.

Por otro lado el desarrollo bajo esta estructura permite la más alta eficiencia en la administración, seguridad e integridad en el manejo de la información recolectada por los equipos Microlog.



Existen Plug-Ins especialmente desarrollados para que @ptitude Analyst interactúe con sistemas de gestión o de operaciones como SAP, PI, etc. Por otro lado, este software permite la incorporación de un sistema de "experto" @ptitude Decision Support para optimizar el trabajo del analista.

Esta nueva generación de programas entrega al usuario una amplia gama de nuevas herramientas para la administración y gestión de la información almacenada en él proporcionando los siguientes beneficios importantes:

Rodacenter Lubricación y Tecnología Limitada

Avenida Américo Vespucio 1301 - Local 11 - Quilicura - Santiago - Chile. / Fono: (+56 2) 2627 2727



Lubricación y Tecnología Ltda.



Estructura similar al Explorer de Windows, permitiendo un acceso fácil y más cómodo para los usuarios.

Programa desarrollado bajo plataforma Windows 2000 y Windows NT 4.0
Aplicación de 32 bit.

Configuración de despliegue de información para cada usuario, según su comodidad.

Mayor clasificación en el desarrollo de la configuración de puntos de medición, permitiendo un manejo de la información más ágil y otorgando al usuario mayores posibilidades para la creación de máquinas.

Mayores posibilidades en el desarrollo de filtros de la información.

Planificación de reportes, impresiones, etc. en forma automática.

Posibilidades de desarrollo de "Link" de la información.

Mayor capacidad en la creación y modificación de los datos de rodamiento dentro de cada punto (tipo rodamiento, armónicos, etc.)

Desarrollo de reportes bajo estructura HTML (Hypertext Markup Language), este formato permite que la información sea más fácil y que pueda ser transmitida (vía mail) a cualquier usuario dentro de la Planta, independiente si posee @ptitude Analyst en su PC.

Incorporación de fotos.

Estas y otras características, hacen de @ptitude Analyst una poderosa herramienta para el trabajo de la Mantención Sintomática en cada Planta.

@ptitude Monousuario	REQUERIMIENTOS MINIMOS
Sistema Operativo	Windows 2000 con Service Pack 3+, Windows XP Professional con Service Pack 2
Procesador	Pentium IV, 2.4 GHz
RAM	2.0 GB
Espacio disponible	4 GB
CD/DVD	1 unidad
Oracle®/Microsoft SQL	Version 9i, 10g/SQL Server 2000, 2005

Rodacenter Lubricación y Tecnología Limitada

Avenida Américo Vespucio 1391 - Local 11 - Quilicura - Santiago - Chile. / Fono: (+56 2) 2627 2727



Lubricación y Tecnología Ltda.



Condiciones de Venta, Garantía y Capacitación

PLAZO DE ENTREGA

45 Días recibida la Orden de Compra.

GARANTIA

La garantía es válida sólo para los equipos y accesorios que presenten defectos de fabricación por los períodos que a continuación se detallan.

El instrumento Microlog poseen una garantía de un año a contar de la fecha de entrega. Los Transductores de vibración (acelerómetros), Baterías, Módulo de Soporte y demás accesorios están sujetos a un período de garantía de seis meses.

En caso de que el cliente solicite aplicar garantía, el cliente deberá enviar una carta explicativa donde se presenten los argumentos técnicos para solicitar la garantía. Si corresponde, se solicitará enviar el equipo acompañado de una copia de la factura asociada a nuestra oficina de Santiago donde SKF evaluará esta solicitud en base a un análisis de la falla.

CAPACITACIÓN

Al adquirir sistema CMVA 80-F-K-SL/ @ptitude Analyst se entrega programa de capacitación consistente en 1 día de curso en el uso, manejo e instalación de equipo Microlog y software Machine Analyst.

Lugar de la capacitación, oficinas de SKF Chilena S.A.I.C. de Vicuña Mackenna 655 Santiago. Participantes, se recomienda, no deben superar las 5 personas.

APOYO TECNICO

SKF, posee personal especializado para atender consultas de clientes y para asistirlos en casos especiales en terreno, para ello cuenta con ingenieros en Antofagasta, Santiago y Concepción adecuadamente entrenados por nuestra fábrica SKF Condition Monitoring de EEUU. Este personal es capacitado según los requerimientos de ISO 9000 (Fábrica esta certificada ISO 9001 y SKF Chilena ISO 9002).

Rodacenter Lubricación y Tecnología Limitada

Avenida Américo Vespucio 1391 - Local 11 - Quilicura - Santiago - Chile. / Fono: (+56 2) 2627 2727



Lubricación y Tecnología Ltda.



SKF entrega soporte directo de garantías, actualizaciones y reparaciones cuando sea necesario, entregando al cliente equipo de reemplazo en préstamo mientras dure reparación o actualización de equipo. Este reemplazo será dependiendo de la disponibilidad, uno de la misma generación o uno anterior (Microlog CMVA 10), pero que cumpla con las necesidades básicas de toma de datos que es una función que ante cualquier eventualidad, no puede detenerse.

FORMA DE PAGO

Valor en dólares americanos.

VALIDEZ DE LA OFERTA

Esta cotización tiene una validez de 30 días.

Rodacenter Lubricación y Tecnología Limitada

Avenida Américo Vespucio 1391 - Local 11 - Quilicura - Santiago - Chile. / Fono: (+56 2) 2627 2727



Lubricación y Tecnología Ltda.



Condiciones Comerciales para Entrenamientos de Instrumentos Microlog y Software SKF @ptitude Analyst a incluir en Venta de equipos

1) Fecha de Prestación del Servicio

Una vez recepcionado(s) el(los) producto(s) por parte del cliente, se debe coordinar el (los) servicio(s) a través de nuestro distribuidor ó representante de ventas SKF. De acuerdo a la disponibilidad de personal, se agendará una fecha para la realización de cada servicio en un plazo máximo de 15 días hábiles desde la fecha de solicitud.

2) Lugar de Prestación del Servicio

Oficinas regionales de SKF en Antofagasta, Santiago o Concepción. Se podrá(n) realizar el (los) servicio(s) en las dependencias del cliente, lo que demandará un costo adicional que será presentado en una oferta por separado.

3) Alcance del Servicio

El entrenamiento en el uso de Instrumentos y Software SKF será entregada por un instructor de SKF a un grupo designado por el cliente (máximo 8 alumnos). Dicha actividad se desarrollará en jornada normal de trabajo (lunes a viernes 09:00 a 18:00 hrs.) salvo que los trabajos hayan sido programados para realizarse en dependencias del cliente. En este caso se ajustará el horario a una jornada diurna (lunes a viernes) que acomode al cliente (8 horas +1 hora de colación). Al final del Entrenamiento se firmará un acta de asistencia a la actividad en el cual los asistentes deben declarar haberse instruido sobre los aspectos básicos de operación de los productos en cuestión. Si por motivos ajenos a la responsabilidad de SKF se viera retrasado ó interrumpido el servicio será de cuenta del cliente las horas y gastos adicionales que SKF debiera utilizar para la completación del servicio. Si no existiera la disponibilidad para prolongar los trabajos por parte de personal de SKF estos deberán ser reprogramados con una nueva oferta de servicios.

4) Aportes de SKF y del Cliente

En caso que la Actividad se realice en nuestras dependencias, SKF proporcionará sala de clases, pizarrón, proyector, papelógrafo, material didáctico, coffee breaks y colación (máximo 5 personas). En caso de que se realice en dependencias del cliente, será de responsabilidad de éste el proporcionar los elementos antes descritos.

Rodacenter Lubricación y Tecnología Limitada

Avenida Américo Vespucio 1391 - Local 11 - Quilicura - Santiago - Chile. / Fono: (+56 2) 2627 2727



Lubricación y Tecnología Ltda.



5) Servicios no incluidos en el Alcance

Las Instrucción a grupos adicionales ó reinstrucción al grupo original, la que serán cotizadas en forma separada.

6) Aceptación

En caso de aceptación de la presente oferta, sirvase emitir Orden de Compra a favor de Rodacenter Lubricación Y Tecnología Limitada, RUT:76.842.632-5 haciendo mención del N°de Cotización:FBP0611-18 (2)

7) Garantías. No aplican

Condiciones Comerciales para Instalaciones de Software SKF @ptitude Analyst a incluir en Venta de productos.

1) Fecha de Prestación del Servicio

Una vez recepcionado(s) el(los) producto(s) por parte del cliente, se debe coordinar el (los) servicio(s) a través de nuestro distribuidor ó representante de ventas SKF. De acuerdo a la disponibilidad de personal, se agendará una fecha para la realización de cada servicio en un plazo máximo de 15 días hábiles desde la fecha de solicitud.

2) Lugar de Prestación del Servicio

En caso de que la plataforma adquirida sea una opción Monousuario, esta se realizará en las Oficinas regionales de SKF en Antofagasta, Santiago o Concepción.

En el caso de que el cliente haya adquirido la plataforma Multiusuario, se podrá(n) realizar el (los) servicio(s) en las dependencias del cliente.

3) Alcance del Servicio

Instalación de Software SKF será realizada por personal certificado de SKF, en el (los) computadores designado por el cliente. Dicha actividad se desarrollará en jornada normal de trabajo (lunes a viernes 09:00 a 18:00 hrs.) salvo que los trabajos hayan sido programados para realizarse en dependencias del cliente. En este caso se ajustará el horario a una jornada diurna (lunes a viernes) que acomode al cliente (8 horas +1 hora de colación). Al final de la instalación se firmará un acta de la actividad en el cual se deje constancia de los asuntos relevantes de la instalación. Si por motivos ajenos a la responsabilidad de SKF se viera retrasado ó interrumpido el servicio será de cuenta del cliente las horas y gastos adicionales que SKF debiera utilizar para la completación del servicio. Si no existiera la disponibilidad para prolongar los trabajos por parte de personal de SKF estos deberán ser reprogramados con una nueva oferta de servicios. En el caso de que la instalación sea Monousuario (1 PC) se utilizará 4 hrs. De trabajo.

Rodacenter Lubricación y Tecnología Limitada

Avenida Américo Vespucio 1391 - Local 11 - Quilicura - Santiago - Chile. / Fono: (+56 2) 2627 2727



Lubricación y Tecnología Ltda.



En el caso de que la instalación sea Multiusuario se (1 Servidor más el N° de Pc's de acuerdo a la licencia adquirida), se utilizará una jornada de 8 hrs para instalar y configurar la Base de Datos en el Servidor y una jornada de 8 hrs. Por cada 5 Computadores clientes de la aplicación.

4) Aportes de SKF y del Cliente

SKF será responsable de realizar la instalación del software y dejar operativos los equipos considerados en el proyecto.

El cliente será responsable de proporcionar la infraestructura de red, computacional, de servidores y de Base de Datos (Oracle 10G o SQL Server 2005 ó 2008), conforme a los requerimientos de la plataforma. Toda mejora que demande ajustarse a estos requerimientos será aporte del cliente. Sin perjuicio de que SKF pueda cotizar dicha plataforma por separado o como parte integral del proyecto.

Rodacenter Lubricación y Tecnología Limitada

Avenida Américo Vespucio 1391 - Local 11 - Quilicura - Santiago - Chile. / Fono: (+56 2) 2627 2727



Lubricación y Tecnología Ltda.



Requerimientos de Hardware:

Instalación Monousuario. (multiusuario).

Stand alone configuration

- Running SKF dytude Analyst/SKF dytude Inspector
- Running Oracle or Microsoft SQL Server database management system
- Storing data

Configuration	Minimum requirements	Recommended requirements
Operating system	Windows 7 OR Windows XP Professional with Service Pack 2+	Windows 7 OR Windows XP Professional with Service Pack 2+
Processor (Note 1)	Intel Pentium N, 2.3 GHz	Intel Core 2 Duo, 2.0 GHz or better
RAM	2.0 GB	3.0 GB or more
Disk space available for standalone computer (Note 2)	1.2 GB	3.2 GB or more
DVD drive	One (1) required	One (1) required
Video display	1280 x 1024	1280 x 1024 or larger
Oracle/Microsoft SQL Server	Version 9i, 10g/SQL Server 2005, 2008	Version 9i, 10g/SQL Server 2005, 2008

USB port for SKF Microlog/SKF MBL/N transfer and serial port for SKF Multilog IM configuration.

Instalación

Clientes

Network configuration - Network Client

- Running SKF dytude Analyst/SKF dytude Inspector
- Running database client software

Network configuration for up to 35 Clients and one database.
Installations of 50 Clients or greater will require an on-site assessment by our Field Service Engineers.

Configuration	Minimum requirements	Recommended requirements
Operating system	Windows 7 OR Windows XP Professional with Service Pack 2+	Windows 7 OR Windows XP Professional with Service Pack 2+
Processor (Note 1)	Intel Pentium N, 2.3 GHz	Intel Core 2 Duo, 2.0 GHz or better
RAM	2.0 GB	3.0 GB or more
Disk space available for each network client	1.0 GB	3.0 GB or more
DVD drive	One (1) required	One (1) required
Video display	1280 x 1024	1280 x 1024 or larger
Oracle/Microsoft SQL Server	Version 10g/SQL Server 2005, 2008	Version 10g/SQL Server 2008

USB port for SKF Microlog/SKF MBL/N transfer and serial port for SKF Multilog IM configuration.

Instalación Servidor de Datos.

Network configuration - Server

- Running Oracle or Microsoft SQL Server database management system
- Storing data

Network configuration for up to 35 Clients and one database.
Installations of 50 Clients or greater will require an on-site assessment by our Field Service Engineers.

Configuration	Minimum requirements	Recommended requirements
Operating system	Windows 2003 Server or Windows 2008 Server	Windows 2008 Server or Windows 2003 Server
Processor (Note 1)	Intel Pentium N, 2.3 GHz	Intel Core 2 Duo, 3.0 GHz or better
RAM	2.0 GB	4.0 GB or more
Quantity of hard drives (Note 2)	3	5
Disk space available (Note 2)	1.2 GB	3.2 GB or more
DVD drive	One (1) required	One (1) required
Oracle/Microsoft SQL Server	Version 10g/SQL Server 2005, 2008	Version 10g/SQL Server 2008

Note 1
These requirements apply to SKF dytude Analyst complete with database management system. Other applications running simultaneously may degrade performance. Hyper-Threading should be disabled in some systems.

Note 2
These requirements (Note 2) apply to SKF dytude Analyst complete with database management system. Additional storage disk space is required for data.

Note 3
The major benefits of spreading data across three or more hard disks at the server is the improved speed, and improved redundancy of a previously archived database. The recommended five disk configuration provides the optimal protection for backup, recovery, indexing, and speed. Six disk configuration (three RAID 1s) is supported by a SKF Field Service Engineer certified as SKF dytude Analyst. If using RAID, the combination of RAID 1 and RAID 5 is recommended over RAID 0.

Note 4
If running other versions of Oracle or Microsoft SQL Server, or other database management systems are expected to run in the same PC environment, please contact us for SKF Representative to inquire about compatibility.

5) Servicios no incluidos en el Alcance

La reinstalación de la aplicación en equipos que hayan sido modificados o reemplazados y la instalación de equipos adicionales al N° de licencias

Rodacenter Lubricación y Tecnología Limitada

Avenida Américo Vespucio 1391 - Local 11 - Quilicura - Santiago - Chile. / Fono: (+56 2) 2627 2727



Lubricación y Tecnología Ltda.



adquiridas, las que serán cotizadas en forma separada previa evaluación técnica.

7) Garantías. 3 meses desde la instalación de la plataforma.

Quedan excludas las garantías, si se han realizado intervenciones en la Base de Datos o plataforma por personal no certificado por SKF para tales efectos, Reemplazo de computadoras o formateo de las mismas, falla de bases de datos por ausencia de políticas de seguridad, mantenimiento o respaldo por parte del cliente.

Temario considerado en el entrenamiento.

1 - Revisión general del sistema

- Descripción general y conexiones de la Serie MICROLOG
- Revisión general de los modos de funcionamiento de la Serie MICROLOG
- Revisión general del hardware de la Serie MICROLOG - pantalla principal, teclado, botones, LCDS, menús, terminología, tarjeta PC y consideraciones sobre las baterías
- Opciones de comunicación de la Serie MICROLOG
- Menus de la plataforma @ptitude Analyst.
- Configuración Base de datos Jerárquica de @ptitude Analyst.
- Configuración de Rutas en @ptitude Analyst.
- Herramientas de Análisis en @ptitude Analyst.
- Reportes HTML de @ptitude Analyst.

2 - Cómo configurar la Serie MICROLOG de Microlog

- Cómo configurar las "preferencias" del sistema Microlog y los parámetros de medición global.

3 - Cómo transferir datos de medición entre Microlog y SKF @ptitude Analyst

- Como transferir RUTAS de medición y datos de medición recopilados entre Microlog de la Serie MICROLOG y un servidor que ejecuta el software SKF @ptitude Analyst
- Parámetros de modo de comunicación
- Transferencia de datos - descarga y carga

4 - Recopilación de datos en RUTA

Rodacenter Lubricación y Tecnología Limitada

Avenida Américo Vespucio 1391 - Local 11 - Quilicura - Santiago - Chile. / Fono: (+56 2) 2627 2727



Lubricación y Tecnología Ltda.



- Como descargar RUTAS del software host SKF @ptitude Analyst
- Como navegar en la lista de jerarquías en RUTA de la Serie MICROLOG
- Instrucciones de RUTA
- Como recopilar datos de medición en RUTA
- Visualizadores de mediciones dinámicas y estáticas en RUTA
- Análisis de campo de mediciones en RUTA
- Uso de la automatización de varios puntos (MPA)

5 - Recopilación de datos sin RUTA

- Como configurar y recopilar mediciones que no se descargaron en la Serie MICROLOG de SKF @ptitude Analyst (Mediciones sin RUTA).
- Mediciones sin RUTA pre-configuradas
- Mediciones sin Ruta definidas por el usuario

6 - Revisión de los resultados de medición en el campo

- Revisión de datos en RUTA
- Revisión de datos sin RUTA
- Análisis de mediciones durante la revisión
- Revisión de mediciones MPA

7 - Visión general de Doble canal / Balanceo Dinámico

- Configuración y visualización de órbita, doble espectro, doble tiempo y medición de fase de canal cruzado.
- Capacidades de Balanceo de la Serie MICROLOG y visión general de la ejecución del Balanceo.
- Visión general, configuración, visualización de mediciones y procedimientos de almacenamiento de datos del Test de impacto.
- Visión general, configuración, modo de vista previa, y modo de grabación de datos.

Rodacenter Lubricación y Tecnología Limitada

Avenida Américo Vespucio 1391 - Local 11 - Quilicura - Santiago - Chile. / Fono: (+56 2) 2627 2727

Anexo B

Numero de Propuesta: 3037-0418-WDK



Abril. 20, 2018

Ariel González Lillo

Supervisor Moncon
Cia. Minera Cerro Colorado
Mail : Ariel.gonzalez@bhpbillinton.com
Cel. : 56 9 99190784
Iquique-Chile

REF: Windrock 6400 DA/V for BHP Billinton Minera Cerro Colorado.

Estimado Ariel,

Gracias por su interés en los productos de Windrock, Inc. Windrock es una compañía dedicada a ayudarlo a mejorar la confiabilidad de su maquinaria, proporcionándole las herramientas y la capacitación que necesita para evaluar la salud y el rendimiento de sus motores y compresores alternativos.

Windrock ofrece una línea completa de analizadores portátiles y sistemas en línea que le permiten a su empresa reducir los costos de mantenimiento, mejorar el rendimiento, proteger activos críticos y proporcionar la base económica para la toma de decisiones.

Windrock no solo tiene el equipo de análisis para satisfacer sus necesidades, también tiene la experiencia técnica para capacitar y apoyar a su personal para maximizar el valor del equipo. Se ofrece un curso de estudio calificado que le permite a sus analistas demostrar los conjuntos de conocimientos y habilidades adquiridos para garantizar el éxito de su programa de monitoreo.

Si tiene dudas o necesita información adicional sobre este u otros productos de Windrock, por favor contactese al [+56 51 2 426500](tel:+56512426500) o al correo info@cycingenieria.cl o bien visite nuestro sitio web en www.cycingenieria.cl.

Saluda Atte.

Alfonso Coopman Araya
Gerente Técnico



Servicios Mantenimiento Predictivo - Representaciones
WINDROCK, INC. CHILE

C&C INGENIERIA INDUSTRIAL LTDA.
IV Región, La Serena, Chile.
Balmaceda # 2195 Edificio Portal Las Higueras, Oficina 421.
Tel: +51-242 6500
info@cycingenieria.cl
<http://www.cycingenieria.cl/>

N° 3037-0418-WDK

Esta propuesta es en respuesta a su consulta sobre un analizador portátil.

Al monitorear regularmente la condición de su equipo, puede identificar el desarrollo temprano de problemas potencialmente perjudiciales. Estos pueden incluir holgura mecánica, fugas de gas en el cilindro, carga excesiva en la transmisión o bielas. Para un motor, estos pueden ser desequilibrio de presión por cilindro, problemas con los trenes de válvulas o fallas en los niveles de los componentes internos tales como pasadores o biela, así como problemas con el turbocompresor. La información adquirida con un sistema Windrock le permite pasar a un programa de mantenimiento basado en la condición y evitar gastos innecesarios y no planificados.

Nuestros productos también le permiten medir y realizar un seguimiento del rendimiento de la maquinaria, como el rendimiento del gas, la eficiencia, la potencia consumida y las pérdidas de potencia debidas al rendimiento de la válvula. El analizador se usa comúnmente para evaluar los datos del sistema de control, como las curvas de carga de potencia o capacidad, para garantizar que el rendimiento real coincida con el modelo operativo anticipado. Con estas herramientas, puede maximizar el valor de sus activos de maquinaria.

Esta cotización fue preparada de acuerdo a los requisitos de Minera Cerro Colorado, encuentre aquí las descripciones técnicas.

Analizador portátil Windrock 6400

Estamos orgullosos de presentar la próxima generación de analizadores portátiles con el nuevo Windrock 6400. El nuevo diseño incluye características para que el proceso de recopilación de datos sea más eficiente y más seguro para el usuario. También ofrece muchas ventajas de rendimiento que darán como resultado mejores datos y diagnósticos de calidad. Además, ahora se puede llevar todo el equipo necesario en una sola maleta. El analizador también viene con Bluetooth incorporado y funciones inalámbricas que mejoran aún más las capacidades generales de la herramienta.

Windrock 6400/DA Analizador Motores Diesel 2 Canales

El Analizador Diesel de 2 Canales Modelo 6400/DA ofrece potentes capacidades para la medición y cálculos de la presión del cilindro, más la vibración y la medición de la señales ultrasónicas por fases. Fácil de usar y construido para durar, el 6400 / DA es el analizador diesel de dos canales más avanzado disponible. El 6400DA incluye los siguientes dispositivos y capacidades clave:

Análisis de Vibraciones - Balanceo Dinámico
NDT Ultrasonico - Análisis de Fallas - Análisis Espesores
NDT Inspecciones Magnéticas Cables Acero
Análisis Corrientes Motores AC/DC
Termovisión - Capacitación





Servicios Mantenimiento Predictivo - Representaciones
WINDROCK, INC. CHILE

C&C INGENIERIA INDUSTRIAL LTDA.
IV Región, La Serena, Chile.
Balmaceda # 2195 Edificio Portal Las Higueras, Oficina 421.
Tel: + 51-242 6500
info@cycingenieria.cl
<http://www.cycingenieria.cl/>

N° 3037-0418-WDK

- Dos canales de medición
- Vibración estándar del cilindro
- Ultrasonido estándar en Cilindro
- Mediciones de presión estándar del cilindro
- Temperatura infrarroja estándar
- Enlace del codificador inalámbrico incluido con el codificador

Con la adición de la actualización de vibración / VA, el analizador está equipado para monitorear maquinaria turbo y otros Equipo rotativo. Los cuatro canales de datos transitorios se pueden recopilar durante una puesta en marcha, ya sea directamente o a través de la salida de protección y proporcionar análisis de rotación avanzada.

Windrock MD

El potente software MD (Machinery Diagnostic) de Windrock MD Windrock, tiene una variedad de herramientas que le permiten comparar el rendimiento teórico y real de su equipo y exportar los datos al software de modelado OEM para compararlos con los datos de diseño. Incluso puede ingresar costos de electricidad en el software para evaluar fácilmente el costo real de las condiciones de operación que pueden estar afectando las ganancias.

Windrock no solo tiene el equipo de análisis para satisfacer sus necesidades, también tenemos la experiencia técnica para capacitar a sus analistas para maximizar el valor del equipo. Ofrecemos un curso de estudio calificado que le permite a sus analistas demostrar los conjuntos de conocimientos y habilidades adquiridos para garantizar el éxito de su programa de confiabilidad.

Programa de apoyo de CARE de Windrock

Los productos Windrock son herramientas valiosas que ayudan a garantizar que los activos críticos de la maquinaria tengan la salud mecánica adecuada, operen de forma segura y cumplan con el rendimiento prometido. Para maximizar el potencial de su sistema, Windrock ofrece un programa integral diseñado para brindar soporte, o no solo para su hardware y software de Windrock, sino para usted, el usuario también. Con tres niveles de apoyo, el Programa de Soporte de CARE de Windrock puede satisfacer sus necesidades y presupuesto.

Todos nuestros productos están cubiertos por nuestra garantía integral de 12 meses. Esto incluye reparaciones de productos, actualizaciones de software y soporte de productos. Al seleccionar uno de los tres niveles de Soporte CARE disponible, usted recibe beneficios tales como mantenimiento de actualizaciones gratuitas para hardware y software más allá del período de garantía de 12 meses, reparación prioritaria, descuentos en capacitación y conferencias de usuario de Windrock y 12 tickets de soporte de servicio técnico.

Análisis de Vibraciones - Balanceo Dinámico
NDT Ultrasonido - Análisis de Fallas - Análisis Espesores
NDT Inspecciones Magnéticas Cables Acero
Análisis Corrientes Motores AC/DC
Termovisión - Capacitación





Servicios Mantenimiento Predictivo - Representaciones
WINDROCK, INC. CHILE

C&C INGENIERIA INDUSTRIAL LTDA.
IV Región, La Serena, Chile.
Balmaceda # 2195 Edificio Portal Las Higuera, Oficina 421.
Tel: + 51-242 6500
info@cycingenieria.cl
<http://www.cycingenieria.cl/>

N° 3037-0418-WDK

CLIENTE:

Minera Centinela

Cotización N° 3037-0418-WDK

Fecha: Abril. 20, 2018.

Referencia Cliente: Windrock 6400/DA para Minera Cerro Colorado.

Ariel González Lillo

Supervisor Moncon

Cia. Minera Cerro Colorado

Mail : Ariel.gonzalez@bhpbillinton.com

Cel. : 56 9 99190784

Iquique-Chile

It	Ct	DESCRIPCION	NUMERO PARTE	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
----	----	-------------	-----------------	--------------------	-----------------

Model 6400/DA Analyzer

WINDROCK MD SOFTWARE – PORTABLES

1	1	Windrock MD /DA software license (single workstation license)	A6400-00-SW/DA	USD 7,063	USD 7,063
---	---	---	----------------	-----------	-----------

6400/DA - DIESEL ANALYZER and SOFTWARE - DUAL CHANNEL

2	1	Portable diesel engine analyzer kit - 6400/DA Analyzer - USB communications cable (analyzer to PC) (A6406-01-00) - Battery, 12V lithium-ion (2) (A6400-BATT-01) - Battery charger (A6400-BATT-00) - Accelerometer (A6096-00-00) - Magnetic base (A905-02) - Accelerometer cable, with armor (A6468-CBL-3-06) - Ultrasonic & IR Temp sensor (A6430-00-00) - Multi-Function cable (2) (A6460-CBL-0-06) - Ultrasonic special diesel fitting (MPULTADPT) - Dynamic D.C. pressure sensor (0-5000 psi) (A6074-01-00) - Wrench, 5/8" open end and 5/8" swivel socket (04400004) - Hard transport case (A6400-CASE-0) - 900 HMz HRadio	A6400-00-KIT/DA	USD 41,961	USD 41,961
---	---	--	-----------------	------------	------------

Análisis de Vibraciones - Balanceo Dinámico
 NDT Ultrasonico - Análisis de Fallas - Análisis Espesores
 NDT Inspecciones Magnéticas Cables Acero
 Análisis Corrientes Motores AC/DC
 Termovisión - Capacitación





Servicios Mantenimiento Predictivo - Representaciones
WINDROCK, INC. CHILE

C&C INGENIERIA INDUSTRIAL LTDA.
IV Región, La Serena, Chile.
Balmaceda # 2195 Edificio Portal Las Higuera, Oficina 421.
Tel: + 51-242 6500
info@cycingenieria.cl
<http://www.cycingenieria.cl/>

N° 3037-0418-WDK

/VA OPTION

3	1	Upgrade of 6400/DA to add on vibration survey capability - Velocity sensor (A6093-00-00) - Accelerometer cable (A6468-CBL-0-06) - Magnetic base, 1-inch, 2-pole (A905-01) - Vibration survey software - Analyzer conversion	A6400-00- UPG/DV	USD 9,050	USD 9,050
---	---	--	---------------------	-----------	-----------

ENCODER, TDC, PHASE, SPEED

4	1	Optical sensor kit with wireless communication - Shaft encoder with wireless (A6420-00-08) - Strobe Light (A6410-00-00) - Batteries (2) (A6410/20-BATT) - Sensor, optical pickup with 8-ft integral cable (A6450-00-08) - 5-ft reflective tape (45150-00) - Magic Arm (45180-00) - 900 MHz Radio	A6420- OPT-00	USD 7,818	USD 7,818
5	1	Magnetic pickup sensor - 6-inch overall length, 5/8-20UNF-2A thread	A3012-01- 04	USD 589	USD 589
6	1	Encoder cable, 50-ft. (LEMO to LEMO)	A6464- CBL-0-50	USD 424	USD 424
7	1	Ultrasonic/Temperature Sensor, with magnetic base, with 30-ft integral cable	A6429-00- 30	USD 1,378	USD 1,378
8	1	Dynamic D.C. pressure sensor - 1-1/16" - 10 Modified Whitworth (Standard Indicator Connection) steel wing tips - 0-5000 psi sensor range - Finned adapter - 6320 mating cable sold separately (A6060-05-08) (Consult Product Manager before quoting)	A6074-01- 00	USD 3,419	USD 3,419
9	1	Cable - accelerometer or magnetic pickup, 6-ft. (LEMO to 2-pin MS) with armor	A6468- CBL-3-06	USD 424	USD 424

Análisis de Vibraciones - Balanceo Dinámico
NDT Ultrasonico - Análisis de Fallas - Análisis Espesores
NDT Inspecciones Magnéticas Cables Acero
Análisis Corrientes Motores AC/DC
Termovisión - Capacitación





Servicios Mantenimiento Predictivo - Representaciones
WINDROCK, INC. CHILE

C&C INGENIERIA INDUSTRIAL LTDA.
IV Región, La Serena, Chile.
Balmaceda # 2195 Edificio Portal Las Higueras, Oficina 421.
Tel: + 51-242 6500
info@cycingenieria.cl
<http://www.cycingenieria.cl/>

N° 3037-0418-WDK

10	1	6400/PA/MA/DA CARE Support (1 year) – Preferred	CARE-40-21	USD 3,705	USD 3,705
		- software Updates			
		- Product Phone Support			
		- Repair Services			
		- Loaner Equipment (US Only)			
		- Users' Group Discount			

PRECIOS: CLP 75,831 + IVA
NETO

Windrock Inc. USA
1832 Midpark Rd.
Suite 102, Knoxville, TN.
Tel. 865-330-1100
windrock@windrock.com
www.windrock.com

New WINDROCK 6400 PORTABLE ANALYZER



PRECIOS EN DOLARES AMERICANOS
PRECIOS NETOS, NO INCLUYE IVA.
INCLUYE GASTOS DE IMPORTACION,
TRANSPORTE Y SEGUROS.
GARANTIA: 1 año
FORMA DE PAGO: Contado 30 Días.
VALIDEZ COTIZACION: 30 días.
FECHA DE ENTREGA: 10-12 Week A.R.O
LUGAR ENTREGA: BODEGAS CLIENTE

COTIZADO POR:
CHRISTOPHER MOLINA

Tel: + 56-51-242 6500
Cel: + 56 9 98779586
cmolina@cycingenieria.cl

EXTENDER ORDEN DE COMPRA A NOMBRE DE:
Ingeniería Industrial Coopman y Coopman Ltda.
RUT. 78.876.580-0
Balmaceda 2195 Edificio Portal La Higuera, 4° Piso, Of.421
La Serena.
info@cycingenieria.cl
www.cycingenieria.cl

Análisis de Vibraciones - Balanceo Dinámico
NDT Ultrasonico - Análisis de Fallas - Análisis Espesores
NDT Inspecciones Magnéticas Cables Acero
Análisis Corrientes Motores AC/DC
Termovisión - Capacitación



BIBLIOGRAFIA

- [1] R.Keith Mobley, Vibration Fundamentals, Newnes 1943
- [2] R. B. Randall, Vibration-based Condition Monitoring, Wiley, 2011.
- [3] Evelio Palomino Marín, Elementos de Medición y Análisis de Vibraciones en Máquinas Rotatorias, Ciudad de La Habana Cuba, 1997.
- [4] ISO 10816-4 Mechanical Vibration – Evaluation Machine Vibration by Measurement on non – Rotating Part – Part. 4 Gas Turbine sets with fluid-film bearings.