



UNIVERSIDAD  
**DE ATACAMA**

FACULTAD DE TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO TECNOLOGIAS DE LA ENERGIA

PROLONGAR LA VIDA UTIL DE ACEITE DE CAMIONES FLOTA 797  
MEDIANTE DIALISIS Y RECUPERACION

Trabajo de titulación presentado en conformidad a los requisitos para obtener el título de  
Ingeniería ejecución Mantenimiento Industrial

Profesor Guía: Jorge Reyes Huencho

Nicole Laity Ponce  
Copiapó, Chile 2025

## ÍNDICE

### CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1 Objetivos del Trabajo de Título.....	8
1.1.1 Objetivo General.....	8
1.1.2. Objetivos Específicos.....	8
1.2 Planteamiento del Problema.....	9

### CAPITULO II MARCO TEÓRICO

2. Identificación de la empresa.....	10
2.1.1 Compañía Minera Escondida Limitada.....	10
2.1.2 Historia.....	12
2.2. Mejora Continua.....	15
2.3. Circulo Deming.....	16
2.4. Mantenición en minería.....	18
2.4.1. Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM).....	19
2.4.2. Tipos y fuentes de datos.....	20
2.4.3. Metodología 5S y TPM (Mantenimiento Productivo Total).....	25
2.5. Descripción del camión CAT 797B.....	28
2.5.1. Especificación técnica.....	29
2.5.2. Dimensiones.....	31
2.6. Diagrama de Pareto.....	32
2.6.1. El principio de Pareto.....	33
2.6.2. Construcción del Diagrama de Pareto.....	33
2.7. Valor Actual Neto (VAN), Tasa Interna de Retorno/Rendimiento (TIR). Índice costo/beneficio.....	35
2.7.1. Valor Actual Neto (VAN).....	35
2.7.2. Tasa interna de rendimiento/retorno (TIR).....	37
2.7.3. Relación Beneficio-Coste (B/C).....	39
2.8. El Aceite.....	39
2.8.1. Contaminación.....	39
2.8.2. Limpieza de lubricantes.....	39

CAPÍTULO III: FUNDAMENTOS METODOLÓGICOS DE LA INVESTIGACIÓN	
3.1. Diseño metodológico.....	42
3.2. Población y Muestra.....	42
3.2.1. Población. ....	42
3.2.2. Muestra.....	42
3.3. Propuesta metodológica. ....	43
CAPÍTULO IV. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS	
4.1. Análisis de la situación actual.....	47
4.1.1. Sistema hidráulico del CAT 797B .....	47
4.1.1.1. Sistema de levante.....	48
4.1.1.2. Sistema de frenos .....	49
4.1.1.3. Sistema de dirección.....	50
4.1.1.4. Sistema de transmisión.....	51
4.1.2. Contaminantes sistema hidráulico CAT 797B .....	52
4.1.2.1. Agua .....	53
4.1.2.2. Metales .....	54
4.1.2.3. Oxidación .....	54
4.1.2.4. Otros tipos de aceite.....	54
4.1.2.5. Combustibles.....	54
4.1.2.6. Partículas .....	54
4.1.3. Estadística de Pareto.....	55
4.2. Diálisis de aceite .....	58
4.2.1. Código ISO .....	58
4.2.2. Equipo de diálisis .....	61
4.2.3. Seguimiento del equipo .....	62
4.2.4. Componentes intercambiados periodo 2021-2024.....	62
4.3. Costos de la propuesta.....	67
4.4. Relación Beneficio-Coste (B/C).....	71
V. CONCLUSIONES.....	75
5.1. Conclusiones específicas.....	76

### **Índice de Imágenes.**

Imagen N°01. Mapa de Antofagasta. ....	11
Imagen N°02. Imagen satelital coloreada de Minera Escondida.....	12
Imagen N°03. CAT 797B .....	29
Imagen N°04. Dimensiones CAT 797B.....	31
Imagen N°05. Ejemplo sistema hidráulico principio de pascal.....	47
Imagen N°06. Tanque hidráulico (levante y frenos) .....	48
Imagen N°07. Sistemas de frenos CAT 797B .....	49
Imagen N°08. Bomba de dirección. ....	50

### **Índice de Figuras.**

Figura N°01. Círculo de Deming. ....	18
Figura N°02. Vida útil de un componente. ....	24
Figura N°03. Pilares del Mantenimiento Productivo Total .....	26
Figura N°04. Formula VAN. ....	36
Figura N°05. Formula TIR. ....	37
Figura N°06. Etapas de la propuesta metodológica. ....	43
Figura N°07. Resumen teórico – metodológico .....	46
Figura N°08. Nomenclatura ISO. ....	55
Figura N°09. Tabla de equivalencias partículas/código .....	56

### **Índice de Tablas.**

Tabla N°01. Especificaciones técnicas CAT 797B. ....	29
Tabla N°02. Causas y Frecuencias Pareto.....	34
Tabla N°03. Causas, Frecuencias y Porcentajes Pareto. ....	34
Tabla N°04. Desglose historial de falla CAT 797B para el enero 2020 y diciembre 2024. 56	
Tabla N°05. TK293.....	62
Tabla N°07. Detalle de costo de intercambios .....	66
Tabla N°08. Costos de mejora.....	67
Tabla N°09. Reducción de costos asociados al proyecto.....	68

Tabla N°10. Costo promedio de detención camión Carterpillar 797B .....	69
Tabla N°11. Ahorro producto de sistema de diálisis .....	70
Tabla N°12. Flujo de ingresos .....	72
Tabla N°13. Flujo de Egresos.....	73
Tabla N°14. Flujo de efectivo neto.....	73
Tabla N°15. Formulación de datos .....	74
Tabla N°16. Índice costo/beneficio. ....	74

## **RESUMEN**

En la actualidad las empresas de cualquier industria trabajan constantemente en aumentar los niveles de producción y disminuir los costos permitiendo conseguir con esto mayores utilidades.

Existen variadas fórmulas para conseguir ser más competitivo dependiendo de los requerimientos y del sector de la industria. Pero, como regla general, una muy buena estrategia es manejar de manera eficiente los recursos o activos disponibles de la empresa.

El contexto del siguiente trabajo de título se enmarca en la compañía minera “Minera Escondida Limitada”, ubicada a 170 km al sur-este de Antofagasta, en el área de mantención. Específicamente en los camiones Caterpillar 797B utilizados en el proceso de extracción de minerales de Minera Escondida.

Considerando que las empresas buscan la optimización, evitar fallas y prolongar la vida útil de máquinas de líneas productivas, realizar propuestas de mejoras a los procesos de mantención de los equipos, es vital es de vital importancia, dadas las condiciones en que operan las máquinas de la industria minera en la zona norte del país.

## **CAPÍTULO I.**

### **MARCO INTRODUCTORIO**

#### **Introducción**

Este trabajo de título se enfoca en el área de Mantenimiento Mina, para lo cual a través de un análisis de la situación actual, pretende identificar los principales inconvenientes que afectan a los componentes hidráulicos producto de factores contaminantes en los fluidos.

El área mantenimiento mina de Minera Escondida Ltda., tiene como finalidad cumplir los requerimientos de su cliente que es operaciones mina, para que operaciones pueda cumplir con su target en el movimiento de material de la mina. Mantenimiento tiene que cumplir al menos con un 86% de disponibilidad real en camiones. Para ello cuenta con una estrategia de mantenimiento y reparación. Para poder obtener la disponibilidad ideal hay que sortear ciertas problemáticas como es el desgaste prematuro de los componentes de camión de extracción Caterpillar modelo 797 B, además del recambio excesivo de fluidos hidráulicos, producto de las reparaciones de estos.

En el desarrollo de la investigación se pretende comprobar que la disminución de los factores contaminantes en los fluidos aplicados a los sistemas hidráulicos ayudaría a reducir los costos de mantenimiento por paradas inesperadas o roturas pudiendo cumplir con el propósito de extender la vida útil de los componentes.

La presente tesis constará de un primer capítulo en el cual se podrá encontrar esta introducción, objetivos generales y secundarios.

En el segundo capítulo se describen las bases teóricas, diferentes conceptos de la tesis lo que nos llevara a la definición conceptual además de las generalidades de la empresa en cuestión.

En el tercer capítulo nos centraremos en el diseño metodológico, el tipo de investigación que se llevara a cabo, la población, recolección de los datos así, como de los instrumentos y metodología usados en la investigación.

Continuaremos con el cuarto capítulo donde se desarrolla la descripción del programa a seguir, su análisis y la interpretación de los resultados.

Por último, el quinto capítulo donde se realizará una conclusión del proyecto realizado, finalizando así cinco capítulos dedicados a la investigación, desarrollo y solución del problema encontrado.

## **1.1. Objetivos del trabajo de título.**

### **1.1.1. Objetivo general**

- Proponer una propuesta de mejora que prolongue la vida útil de aceites de camiones Caterpillar 797B utilizados en el proceso de extracción de minerales de Minera Escondida, mediante sistema de diálisis.

### **1.1.2. Objetivos Específicos**

- Diagnosticar la situación actual en relación al mantenimiento de los camiones Caterpillar 797B
- Proponer la implementación del sistema de diálisis que permita optimizar los fluidos en el sistema hidráulico y de los componentes
- Identificar los costos asociados a la mejora propuesta y la rentabilidad de esta mediante índice costo/beneficio.

## **1.2. Planteamiento del Problema.**

En el área de mantención mina se realizan trabajos de mantenimiento preventivo basado en horas de trabajo de la máquina, como además de reparación de fallas o atención de imprevistos y cambios de componentes mayores (motores, transmisiones, convertidores, conjunto masa suspensión, mandos finales, diferenciales, etc.). Todo dentro de los márgenes de cumplimientos de los KPI que para este caso serían MTBF (tiempo medio entre falla) y MTTR (tiempo medio de reparación).

Actualmente las exigencias de los clientes por tener un equipo con mayor potencia hicieron que las tolerancias se redujeran hasta 4 micrones en los casos de las bombas y válvulas hidráulicas de alta presión y hasta 2 micrones en cojinetes en sistema de inyección.

Es necesario destacar que el ojo humano comienza a ver alrededor de 40 micrones, por lo mismo son partículas que no se ven a simple vista y no por ello inofensivas.

Es por esto, que se hace necesario saber el nivel de contaminación del fluido que se utiliza ya que esas partículas, que no son perceptibles a simple vista, son las responsables del 80 % de las fallas del sistema hidráulico ocasionando problemas, tales como:

1. Desgaste acelerado de componentes.
2. Pérdidas de potencia.
3. Reducción de la eficiencia del sistema.
4. Reducción de la vida útil del sistema.
5. Aumento de los costos de mantenimiento del equipo.

En consecuencia, la problemática radica principalmente en un cambio de aceite anterior a lo programado por el fabricante, lo que conlleva a realizar mantenciones antes de lo sugerido.

## **CAPITULO II MARCO TEÓRICO.**

El siguiente capítulo tiene como objetivo relacionar conceptos y definiciones con el propósito de contextualizar un mejor entendimiento acerca del tema de estudio.

### **2.1 Identificación de la empresa.**

#### **2.1.1 Compañía Minera Escondida Limitada.**

Minera Escondida Limitada, es la operación minera de cobre de mayor producción en el mundo.

El yacimiento Escondida está ubicado en el Norte de Chile, en el Desierto de Atacama, a 170 km. Al Sureste de la ciudad de Antofagasta y a 3100 metros sobre el nivel del mar (ver imagen 1.1). Su operación productiva comenzó en 1990 y desde Octubre de 2005 la compañía explota también Escondida Norte, un segundo rajo abierto que se ubica a 5 km. Del rajo principal.

Minera Escondida produce concentrado de cobre mediante el proceso de flotación de mineral sulfurado y cátodos de cobre mediante los procesos de lixiviación de mineral oxidado y de biolixiviación de sulfuros de baja ley. La compañía mueve anualmente del orden de 360 millones de toneladas de mineral mina.

Su infraestructura consiste en dos minas a rajo abierto (Escondida y Escondida Norte), dos plantas concentradoras (Los Colorados y Laguna Seca), una planta de Electro-obtención para producir cátodos a partir de mineral oxidado y sulfurado, y dos mineroductos que transportan el concentrado de cobre desde la mina hasta la planta de filtros, ubicada junto al Puerto de Coloso en el extremo sur de la ciudad de Antofagasta, también propiedad de la compañía. En ese lugar se ubica así mismo la planta desalinizadora de agua de mar construida con el propósito de abastecer en parte los consumos del proceso.

Imagen N°01. Mapa de Antofagasta.



Fuente: Gobierno de Chile.

Minera Escondida da trabajo a cerca de 10000 personas, de ellas 3.951 son empleados directos y otras 4000 personas pertenecen a empresas contratistas que prestan servicios permanentes, tales como producción y carguío de explosivos, alimentación y servicios de hotelería, transporte, informática, mantención de equipos y servicios de vigilancia.

La Minera Escondida, como sociedad de responsabilidad limitada, tiene su propiedad distribuida de la siguiente forma: BHP Billiton (57,5%), Rio Tinto PLC (30%), JECO Corporation (consorcio japonés liderado por Mitsubishi Corporation) (12,5%).

Imagen N°02. Imagen satelital coloreada de Minera Escondida.



Fuente: Nasa (2000)

### **2.1.2 Historia.**

El desarrollo, puesta en marcha y las sucesivas etapas de expansión de la compañía, han incrementado su capacidad de producción desde 320.000 a más de 1.200.000 toneladas de cobre fino al año a lo largo de su historia. Esto debido a la

existencia de un enorme y rico yacimiento y a las políticas de trabajo que se han implementado.

El descubrimiento de Escondida se produjo el 14 de marzo de 1981 y la construcción del proyecto comenzó en agosto de 1988, con las labores de preestripping.

Aproximadamente dos años más tarde, el 3 de noviembre de 1990, se procesó la primera partida de mineral en la planta concentradora y el primer embarque de concentrado de cobre se realizó el 31 de diciembre de ese mismo año. La inauguración oficial de Escondida fue el 14 de marzo de 1991.

En orden cronológico, la historia de la Compañía Minera Escondida se compone de la siguiente forma:

- 1979. Minera Utah de Chile Inc. y Getty Minning Inc. acordaron realizar un programa de exploración minera en la zona norte de Chile.
- 1981. Se descubre un yacimiento de mineral de cobre comercialmente explotable, el que más tarde se transformaría en Escondida.
- 1985. Minera Escondida Limitada se constituye como sociedad el 14 de agosto de 1985.
- 1988. Comienza la construcción de las instalaciones y el trabajo preestripping se tradujo en la remoción de 180 millones de toneladas de material estéril para acceder al campo mineralizado.
- 1990. Comienza el procesamiento del mineral para la producción de cobre contenido en concentrados, comenzando con una capacidad original de producción de 320 mil toneladas de cobre fino al año.
- 1991. Inauguración oficial de la operación el 14 de Marzo de 1991.
- 1993. Puesta en marcha de la expansión Fase I en Junio de 1993. Se agregó un Molino de Bolas, que aumentó la capacidad a 45 mil toneladas diarias de mineral. Inversión: 76 millones de dólares.
- 1994. Puesta en marcha de expansión Fase II en Marzo de 1994. Instalación de Molino de Bolas, aumentó la capacidad a 54.600 toneladas diarias

de mineral sulfurado. Planta de lixiviación amoniaca de concentrado para producir 80.000 toneladas de cátodos de cobre al año. Inversión: 261 millones de dólares.

➤ 1996. Puesta en marcha de la expansión Fase III en Mayo de 1996. Un molino SAG, dos molinos de bolas, capacidad adicional de flotación y filtros. Aumento de capacidad a 105.000 toneladas diarias de mineral sulfurado. Inversión: 575 millones de dólares.

➤ 1998. Puesta en marcha de Fase 3.5 en Noviembre de 1998. Se agrega un Molino de Bolas, aumento de capacidad a 120.000 toneladas diarias de sulfuros. Se construye el campo de pozos de Monturaqui, ubicado al norte de Escondida. Inversión: 269 millones de dólares.

➤ 1998. Puesta en marcha de la Planta de Óxidos en Diciembre de 1998. Planta de Lixiviación en pilas, extracción por solventes y electro obtención con capacidad para producir 125.000 toneladas de cátodos de alta pureza. Inversión: 451.000 millones de dólares.

➤ 2001. Mejoramiento operacional y expansión de la Planta de Óxidos en Marzo de 2001. Incremento de la capacidad de la planta a 150.000 toneladas anuales de cátodos. Inversión: 7,1 millones de dólares.

➤ 2002. Puesta en marcha expansión Fase IV en Septiembre de 2002, Planta Concentradora

➤ Laguna Seca. Planta Concentradora con capacidad para tratar 110.000 toneladas de mineral sulfurado. Un molino SAG y dos molinos de bolas. Además, se construyó el nuevo tranque de relaves de Laguna Seca, que permitió la recuperación de agua para proceso productivo. Inversión: 1.000 millones de dólares.

➤ 2005. Alimentación de mineral desde Escondida Norte. Constituyó una inversión de 390 millones de dólares.

➤ 2006. Puesta en marcha de planta de lixiviación de mineral sulfurado de baja ley para producir 180.000 toneladas de cátodos por año. Además se dio la parida a la operación de una Planta Desalinizadora de Agua en

las instalaciones de Escondida en Puerto Coloso. Inversión: 870 millones de dólares.

➤ 2016, OGP1 (Organic Growth project1) con una inversión de US\$4200 millones, Escondida marca el hito de construir la planta concentradora con una sola línea de molienda más grande del mundo.

## **2.2. Mejora Continua.**

La mejora de procesos es la actividad de analizar la manera y las formas de procesos, que se lleva a cabo en la actualidad dentro de una organización o administración, se analiza, revisa y se realiza adecuaciones para minimizar los errores y la ejecución de la mejora continua.

Este concepto postula que es una actitud general que debe ser la base para asegurar la estabilización del proceso y la posibilidad de mejora. Cuando hay crecimiento y desarrollo en una organización o comunidad, es necesaria la identificación de todos los procesos y el análisis mensurable de cada paso llevado a cabo.

Algunas de las herramientas utilizadas incluyen las acciones correctivas, preventivas y el análisis de la satisfacción en los miembros o clientes. Se trata de la forma más efectiva de mejora de la calidad y la eficiencia en las organizaciones. En el caso de empresas, los sistemas de gestión de calidad, normas ISO y sistemas de evaluación ambiental, se utilizan para conseguir calidad total.

Actualmente se utilizan 6 pilares para su desarrollo:

- Mantenimiento productivo total
- SMED
- Kanban
- Jidoka
- Just in time
- Poka-yoke

### 2.3. Círculo Deming.

También conocido como el ciclo PDCA, es el sistema más usado para implementar la mejora continua cuyo principal objetivo es la autoevaluación, destacando los puntos fuertes que hay que tratar de mantener y las áreas de mejoras en las que se deberá actuar.

El círculo Deming de mejora continua lo componen cuatro etapas cíclicas de forma que una vez acabada la etapa final se debe volver a la primera repetir el ciclo nuevo. De esta forma las actividades son revaluadas periódicamente para incorporar nuevas mejoras. Las etapas que forman el círculo Deming son las siguientes:

- **Planificar:** en esta fase se trabaja en la identificación del problema o actividades susceptibles de mejoras, se establecen los objetivos a alcanzar, se fijan los indicadores de control y se definen los métodos o herramientas para conseguir los objetivos establecidos.

Una forma de identificar estas mejoras puede ser realizando grupos de trabajo o bien buscar nuevas tecnologías o herramientas a veces es conveniente fijarse en otros sectores, esto aporta una visión diferente pero muchas de las soluciones pueden aplicarse a más de un sector.

- **Hacer/ejecutar (Do):** Llega el momento de llevar a cabo el plan de acción, mediante la correcta realización de las tareas planificadas, la aplicación controlada del plan y la verificación y obtención del feedback necesario para el posterior análisis.

En numerosas ocasiones conviene realizar una prueba piloto para probar el funcionamiento antes de realizar los cambios a gran escala. La selección del piloto debe realizarse teniendo en cuenta que sea suficientemente representativo pero sin que suponga un riesgo excesivo para la organización.

- **Comprobar/verificar (Check):** Una vez implantada la mejora se comprueban los logros obtenidos en relación a las metas u objetivos que se marcaron en la primera fase del ciclo mediante herramientas de control

como por ejemplo (Diagrama de Pareto, Check LIst, KPI´S, Matriz Raci, Análisis de desempeño de procesos).

- **Actuar (Act):** Tras el comparar el resultado obtenido marcado inicialmente, es el momento de realizar acciones correctivas y preventivas que permitan mejorar los puntos o áreas de mejora, así como extender y aprovechar los aprendizajes y experiencias adquiridas a otros casos, y estandarizar y consolidar metodologías efectivas.

En el caso de que se haya realizado una prueba piloto, si los resultados son satisfactorios, se implantará la mejora de forma definitiva, y si no lo son habrá que decidir si realizar cambios para ajustar los resultados sin desecharla.

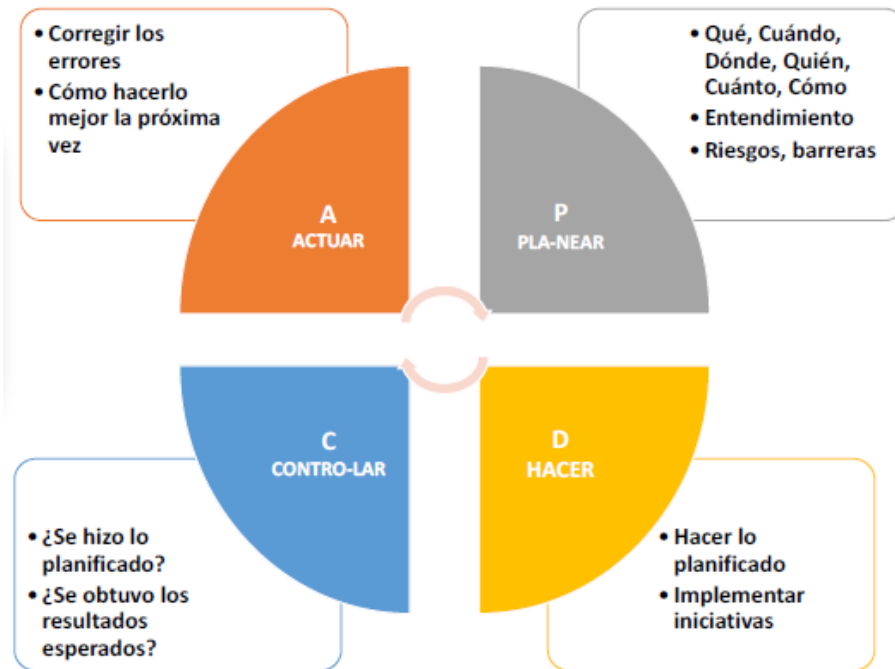
Una vez finalizado el paso 4, se debe volver al primer paso periódicamente para estudiar nuevas mejoras a implantar.

Algunos de beneficios que proporcionan una adecuada mejora de procesos son los siguientes:

- **Timing:** Se disminuyen tiempos, aumentando la productividad.
- **Quality:** Se disminuyen errores, ayudando a prevenirlos.
- **Cost:** Se disminuyen recursos (materiales, personas, dinero, mano de obra, etc), aumentando la eficiencia.

En conclusión, un sistema de gestión de la calidad permite a una organización desarrollar políticas, establecer objetivos y procesos, para tomar acciones necesarias para mejorar su rendimiento. En el contexto resulta de gran utilidad utilizar la metodología Círculo de Deming, como una forma de ver las cosas que puede ayudar a la empresa a descubrirse a sí misma y orientar cambios que vuelvan más eficiente y competitiva.

Figura N°01. Círculo de Deming.



Fuente: Elaboración propia.

#### 2.4. Mantención en minería.

Según la Asociación de Proveedores Industriales de la Minería (Aprimin) las compañías mineras, en general, gestionan el mantenimiento de forma compartida con terceros, es decir, asignan algunas de las etapas a empresas colaboradoras.

“Existen casos en que toda la gestión de mantenimiento la realiza la minera, y otros donde todo está en manos de un tercero. Sin embargo, en la gran mayoría de las compañías la tendencia es que la gestión del mantenimiento sea compartida, con una o más empresas colaboradoras”. (APRIMIN,2017)

Se ha propuesto en la industria desarrollar un sistema robusto a base de software de última generación que permita una relación cliente-proveedor en línea 24/7. Y que se utilicen sistemas de mantenimiento predictivo en lugar de correctivo.

A continuación se desarrollaran los principales enfoques predictivos utilizados en la industria en materia de mantención.

#### **2.4.1. Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM)**

Según (Sánchez, 2016)<sup>1</sup> La Metodología RCM consiste en definir las actividades de mantenimiento a través del análisis de modos, causas y consecuencias de fallas de cada uno de los sistemas que componen una planta, con el fin de especificar las acciones preventivas sólo para aquellos equipos que realmente lo necesiten. Por lo tanto, exige responder las siguientes preguntas para cada uno de los equipos en cuestión:

1. ¿Cuáles son las funciones?
2. ¿De qué forma puede fallar?
3. ¿Qué puede causar que falle?
4. ¿Qué sucede realmente cuando falla?
5. ¿Qué ocurre si falla y qué repercusiones reales tiene?
6. ¿Qué se puede hacer para prevenir las fallas?
7. ¿Qué sucede si no se puede prevenir la falla?

Esta metodología postula como centro de atención a la función del equipo más que al equipo mismo. Para ello, es importante comenzar por conocer qué equipos tiene la organización, cuáles son sus funciones y cuáles son las condiciones que interrumpen o dificultan tales funciones. De esta forma es posible definir cuáles son los equipos que deben permanecer sujetos a revisión.

El RCM clasifica las consecuencias de las fallas en las siguientes categorías:

---

<sup>1</sup> Sánchez, Alberto. Diseño de un plan de mantenimiento mediante metodología RCM para una línea de valorización de PEBD. 2016.

- **Consecuencias en la seguridad y el entorno:**

Tienen impacto sobre las personas, el medio ambiente o se infringen las normas gubernamentales relacionadas. Por lo tanto, se deben considerar las repercusiones de las fallas con su entorno antes de que se considere el contexto operacional.

- **Consecuencias no evidentes:**

No tienen impacto directo, pero pueden producir otras consecuencias de carácter grave e incluso catastrófico. Por lo tanto, se deben reconocer con una prioridad alta, para luego tratarlas con actividades prácticas y coherentes.

- **Consecuencias operacionales:**

Afectan la producción en términos de capacidad, calidad del producto, servicio al cliente o costos industriales, además del costo directo de reparación. El costo de estas consecuencias sugiere cuanto se necesita gastar en tratar de prevenirlas.

- **Consecuencias no operacionales:**

No afectan ni a la seguridad ni a la producción, por lo que el único costo directo es el de la reparación.

#### **2.4.2. Tipos y fuentes de datos**

Las principales fuentes de datos de confiabilidad y mantenimiento las constituyen los sistemas de información. A ellos se suman los archivos, diagramas, dibujos, libros y expertos.

- **Datos del Equipo:**

Corresponde a la clasificación del equipo en parámetros técnicos, operacionales y medio ambientales. Es la base para la recolección de datos de confiabilidad y de mantenimiento.

- **Datos de Falla:**

Corresponde a la definición uniforme de las fallas, por lo tanto, son esenciales cuando los datos de diferentes fuentes (plantas y operadores) necesitan ser combinados en una base de datos común.

- **Datos de Mantenimiento:**

Corresponde a la definición uniforme de las actividades de mantenimiento. Al igual que para los datos de fallas, los datos de mantenimiento deben registrarse de acuerdo a un formato común para toda clase de equipos definida, el cual requiere de la identificación del tipo de mantenimiento, del equipo y de la falla asociada, las actividades, los recursos y los tiempos utilizados.

La Reliability Centred Maintenance RCM (Mantenimiento Centrado en Fiabilidad/Confiabilidad) a los procesos de mantención de los activos críticos, tareas y plazos, que deben ser cubiertos por un operador con perfil de técnico y mantenedor y los trabajos que son necesarios externalizar con un proveedor especialista, que realice un mantenimiento preventivo y sus respectivas periodicidades, algunas de las características de la RCM son;

- La implementación de RCM permite disminuir los gastos y con ello mantener las instalaciones por sobre el estándar del mercado.
- La detección de fallas infantiles o tempranas con suficiente antelación permite evitar problemas mecánicos mayores, que podrían transformarse en pérdida de alto costo o potencialmente catastróficas (pérdida total).
- La detección anticipada de fallas permite planificar las necesidades de mantenimiento con personal especializado.

- La ventaja del diagnóstico es que evita realizar intervención invasiva al interior de la máquina o equipo mientras está funcionando, evita abrirla a intervalos regulares de tiempo. La intervención de la máquina se limita a cuando es estrictamente necesario, evitando los problemas en la puesta en marcha u operación.

El objetivo principal que busca la implementación de un programa de mantenimiento predictivo son los siguientes:

- ❖ Vigilancia de las máquinas o equipos: Detectar la presencia de un problema y establecer la desviación de los parámetros de la condición de la máquina.

- ❖ Protección de las máquinas o equipos: Pretende evitar una falla catastrófica a través de paradas automáticas o semi automáticas.

- ❖ Diagnóstico de fallas: Identificar cual es el problema específico que afecta a la máquina en operación.

- ❖ Pronóstico de la vida útil: Estimar cuánto tiempo más puede trabajar la máquina o equipo sin riesgo potencial, una vez diagnosticado un problema en ella.

Para una correcta implementación de un mantenimiento predictivo se necesita como mínimo lo siguientes:

Un especialista con todas sus competencias técnicas.

- a) Un conocimiento completo de la máquina o equipo y los potenciales modos de fallas de sus elementos fijos y móviles.

b) Ser conocedor de tecnologías predictivas, con sus respectivos métodos para detectar los “síntomas” de la máquina o equipos.

c) El historial del equipo para saber cómo ha sido su funcionamiento en el pasado.

Lo que permite definir los sistemas, funciones, fallas funcionales y sus modos de falla a través de una estructura jerárquica y uniformada de los equipos, clases y tipos. Con ello, se aprovecha la información entregada, acotando los tiempos de análisis de las primeras cuatro preguntas de la metodología RCM y disminuyendo los riesgos de excluir datos y en consecuencia, las operaciones que pudiesen prevenir modos de fallas olvidados durante el análisis.

- **Clase:** Es el nivel más alto de la jerarquía. Se les puede asociar a funciones, cada una en su contexto operacional.

- **Sistema:** Es un conjunto que realiza una función específica, en un servicio determinado dentro del proceso, pudiéndose identificar una entrada y una salida e incluyendo todos los equipamientos disponibles para la operación del mismo.

- **Subsistema:** Son aquellos equipos que posibilitan que el sistema realice su función operativa y se pueden dividir por sus funciones específicas.

- **Ítem Mantenable:** Es la unidad final de la estructura jerárquica de equipos y se refiere a las partes sobre las cuales es necesario realizar acciones de mantenimiento con el fin de alcanzar la disponibilidad, la confiabilidad y la

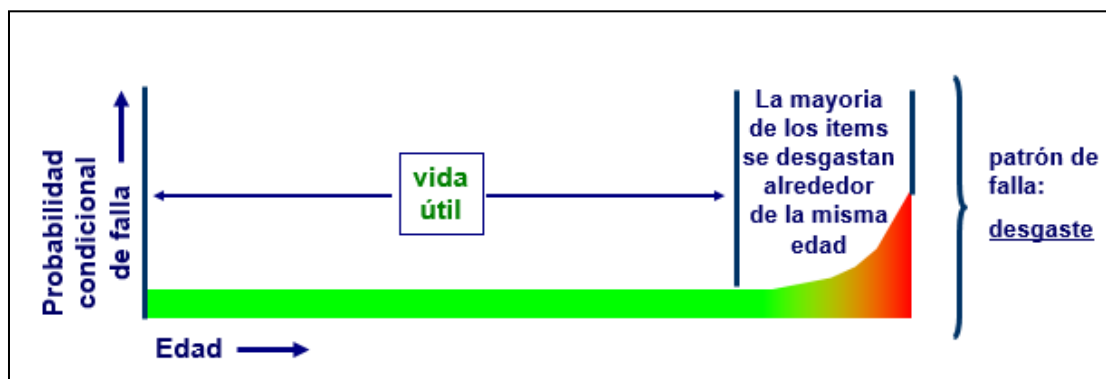
seguridad deseadas, dado que sus fallas provocan una pérdida de la capacidad del sistema para que continúe operando dentro de los estándares de desempeño especificados para un proceso.

**Definición de Funciones:** La función principal del sistema analizado es su razón de ser en el proceso, sin embargo, sus funciones secundarias son las funciones principales de cada una de los subsistemas, dado que soportan la función primaria del sistema.

**Fallas Funcionales:** Son la manera en que el equipo deja de cumplir su función principal, por lo tanto se enuncian como la “negación” de la función principal y de las funciones secundarias del sistema.

**Modos de Falla:** Se define como la forma en la que el sistema pierde su habilidad para desempeñar su función, entrando en el estado de falla, por lo tanto, es el evento que causa la falla funcional. De acuerdo a ello se enuncian como la descripción de la falla de un ítem mantenible, perteneciente al subsistema del sistema analizado.

Figura N°02. Vida útil de un componente.



Fuente: Elaboración Propia

### **Para tareas preventivas:**

- Debe darse la condición de vida útil regular.
- Debe ser posible restaurar la condición inicial, realizando un reacondicionamiento.
- La frecuencia de ejecución de la tarea es justo antes de llegar a la zona de desgaste límite.
- Si no hay vida útil conocida, no se puede aplicar la tarea preventiva.

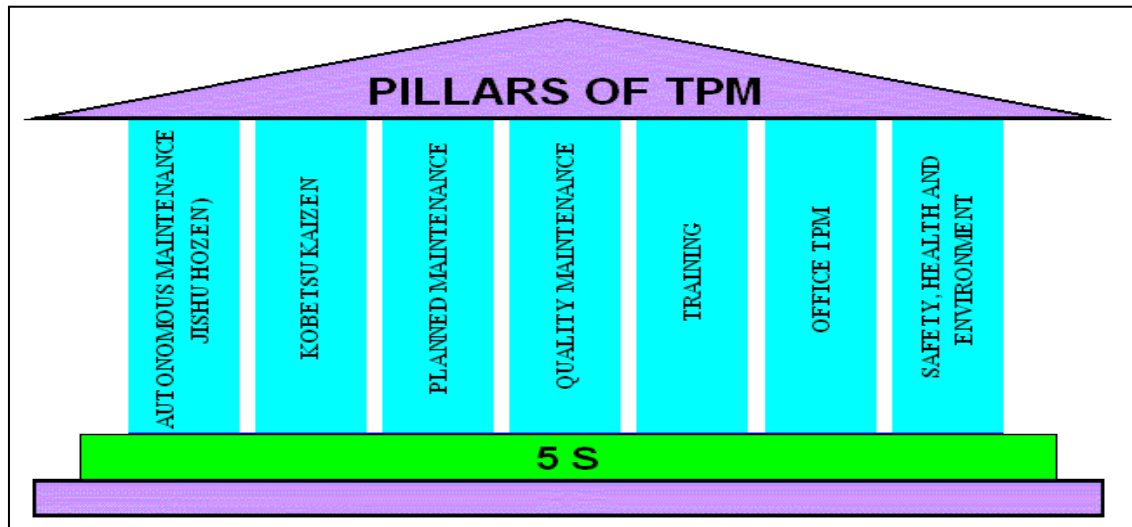
### **2.4.3. Metodología 5S y TPM (Mantenimiento Productivo Total)**

El TPM (Total Productive maintenance o Mantenimiento Productivo Total) se centra en la eliminación de pérdidas ocasionadas o relacionadas con paros, calidad y costes en los procesos de producción.

En contra del enfoque tradicional del mantenimiento, en el que unas personas se encargan de “producir” y otras de “reparar” cuando hay averías, el TPM aboga por la implicación continua de toda la plantilla en el cuidado, limpieza y mantenimiento preventivos, logrando de esta forma que no se lleguen a producir averías, accidentes o defectos.

Para comprender mejor el significado del TPM hay que entender que éste se sustenta en 8 pilares:

Figura N°03. Pilares del Mantenimiento Productivo Total



Fuente: Mantenimiento TPM

• **Pilar 1:** Mejora Focalizada o “eliminar las grandes pérdidas del proceso productivo” Así como en el Lean Manufacturing se identificaban 8 tipos de despilfarros, el sistema TPM habla de 6 tipos de pérdidas a eliminar de nuestros procesos productivos:

- Fallos en los equipos principales.
- Cambios y ajustes no programados.
- Ocio y paradas menores.
- Reducción de velocidad.
- Defectos en el proceso.
- Pérdidas de arranque.

• **Pilar 2:** Mantenimiento autónomo o “hacer partícipe al operario en la conservación, mantenimiento y/o mejora de la máquina donde trabaja de manera que pueda detectar a tiempo las fallas potenciales”. El mantenimiento autónomo puede prevenir la Contaminación por agentes externos, las Rupturas de ciertas

piezas, los Desplazamientos y los Errores en la manipulación con sólo instruir al operario en Limpiar, Lubricar y Revisar.

- **Pilar 3:** Mantenimiento planeado o “lograr mantener el equipo y el proceso en estado óptimo por medio de actividades sistemáticas y metódicas para construir y mejorar continuamente” Se trata de que el operario diagnostique la falla y la indique convenientemente para facilitar la detección de la avería al personal de mantenimiento encargado de repararla.

- **Pilar 4:** Capacitación de los empleados, a ser posible entre el personal de la propia empresa.

- **Pilar 5:** Control inicial. Reducir el deterioro de los equipos y mejorar los costos de su mantenimiento en el momento que se compran y se incorporan al proceso productivo.

- **Pilar 6:** Mejoramiento para la calidad o tomar acciones preventivas para obtener un proceso y equipo cero defectos. Aquí la meta es fabricar un producto con cero defectos gracias a los cero defectos de la máquina.

- **Pilar 7:** TPM en los departamentos de apoyo o eliminar las pérdidas en los procesos administrativos y aumentar la eficiencia

En estos departamentos las siglas del TPM toman estos significados;

T.- Total Participación de sus miembros.

P.- Productividad (volúmenes de ventas y ordenes por personas).

M.- Mantenimiento de clientes actuales y búsqueda de nuevos.

- **Pilar 8:** Seguridad, Higiene y medio ambiente o Crear y mantener un sistema que garantice un ambiente laboral sin accidentes y sin contaminación. La contaminación en el ambiente de trabajo puede llegar a producir un mal funcionamiento de una máquina y muchos de los accidentes son ocasionados por la mala distribución de los equipos y herramientas en el área de trabajo.

Los 8 pilares del TPM guardan muchas similitudes con los 8 tipos de desperdicios que propone eliminar el Lean Manufacturing si exceptuamos aspectos como “Seguridad, Higiene y Medio Ambiente” o “Aplicaciones en Dptos. De Apoyo” que quizás el Lean Manufacturing no aborde tan directamente.

## **2.5. Descripción del camión CAT 797B**

El CAT 797B tiene un motor diésel de 24 cilindros en V y cuatro turbos que da unos 3600cv. En algunas unidades como las que trabajan a más de 4.000 metros de altitud en unas minas de cobre chilenas, se les ponen otros cuatro turbos para que no pierdan demasiada potencia. Para los especialistas las cifras son impresionantes, dado los 1200 litros de refrigerante, los 400 litros de aceite o los 7.000 litros de combustible que suelen durar unas 8 horas de trabajo. Los dúmperes de bastidor rígido Caterpillar están diseñados específicamente para trabajar en minas, canteras y construcción. Este dúmperes de bastidor rígido se acoplan perfectamente con las palas de ruedas, que los cargan en un número mínimo de cucharones, reduciendo los tiempos de ciclo y aumentando al máximo la productividad.

Imagen N°03. CAT 797B



Fuente: CAT.

### 2.5.1. Especificación técnica

Tabla N°01. Especificaciones técnicas CAT 797B.

<b>DIMENSIONES SELECCIONADAS</b>	<b>MOTOR</b>
Longitud total 47,7 pies de 14,530 mm	Marca Caterpillar
Ancho total de 30 pies de 9,154 mm	Modelo 3524B HD EUI
Altura total 24.9 pies de 7,584 mm	Potencia bruta 3.550 hp 2648 kW
Distancia entre ejes 23,6 m en 7200 mm	Potencia neta 3370 hp 2513 kW
Separación de tierra 2.9 pies de 869 mm	Potencia medida @ 1750 rpm
Dúmper Altura 50,2 pies de 15,292 mm	Desplazamiento 7,143 pulgadas cúbicas
Diámetro de giro 35,4 metros	117.1 L
Despeje de vaciado de tierra 6.2 ft in 1885 mm	Número de cilindros 24
Tiempos de ciclo hidráulico	Aspiración Turbo

Levantar 24 Segundos Bajar Libre Bajado (vacío) 17,3 Segundos	
<b>CAPACIDADES</b>	<b>TRANSMISIÓN</b>
Capacidad de combustible 1800 gal 6813.7 L Capacidad de Líquido Sistema Refrigeración 315 gal 1194 L Capacidad de aceite del motor 110 gal 417 L Capacidad fluido Diferencial 110 gal 417 L Capacidad fluido Sistema Dirección 114 gal 432 L Capacidad fluido Sistema de elevación 486,6 gal 1842 L Capacidad de fluido del sistema hidráulico 263 gal 996 L Tensión de funcionamiento 24 V Alternador suministra 75 amperios Tamaño de las cubiertas 59/80R63 neumáticos estándar	Siete velocidades powershift planetario con inyección directa Número de las velocidades - Delantero 7 Número de las velocidades - Retroceso 1 Velocidad máxima 42 mph 67,6 kmh Velocidad de desplazamiento máxima cargado 64 Km/Hora
	<b>PESO</b>
	Peso en vacío £ 584,225 265,000 kg Peso Cargado £ 1375000 623 690 kg Distribución del peso delantero - vacío 43,5 % Distribución del peso trasero - vacío 56,5 % Distribución del peso delantero - cargado 33,3 % Distribución del peso trasero - cargado 66,7 % Carga útil nominal £ 793.664,1 360.000 kg Capacidad de carga - amontonado 287,7 yd <sup>3</sup> , 220 m <sup>3</sup> Ángulo de descarga 45 grados Tiempo de levantamiento 25 seg Tiempo de bajada de 18,5 seg

Fuente: CAT.

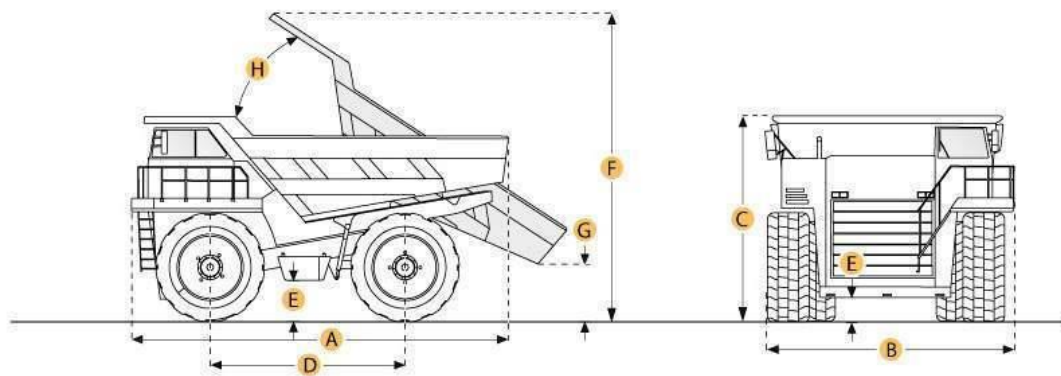
### 2.5.2. Dimensiones

Imagen N°04. Dimensiones CAT 797B

Fuente: CAT.

- A. Longitud total 47,7 pies de 14,530 mm
- B. Ancho total de 30 pies de 9,154 mm
- C. Altura total 24.9 pies de 7,584 mm
- D. Distancia entre ejes 23,6 m en 7200 mm
- E. Separación de tierra 2.9 pies de 869 mm
- F. Altura de descarga 50,2 pies de 15,292 mm
- G. Dúmper Distancia al suelo 6,2 m en 1885 mm
- H. Dúmper ángulo de 45 grados

Este sistema hidráulico de los camiones Carterpillar 797B incluye los sistemas siguientes:



- Levante.
- Frenos y enfriamiento de frenos.

El tanque hidráulico se encuentra en el exterior del lado derecho del bastidor. El tanque hidráulico suministra aceite a los frenos, al sistema de enfriamiento de los frenos y al sistema hidráulico de levante. Las válvulas de alivio del enfriador de aceite de los frenos traseros se encuentran en el tanque hidráulico. Un respiradero de aire para el tanque hidráulico se encuentra en el bastidor vertical en el lado derecho del camión.

El tanque hidráulico tiene dos mirillas. La mirilla superior se usa generalmente para comprobar el nivel de aceite. La mirilla inferior puede usarse cuando los cilindros de levante están en la posición levantada.

## **2.6. Diagrama de Pareto.**

El diagrama de Pareto, también llamado curva cerrada o Distribución A-B-C, es una gráfica para organizar datos de forma que estos queden en orden descendente, de izquierda a derecha y separados por barras. Permite asignar un orden de prioridades. El diagrama permite mostrar gráficamente el principio de Pareto (pocos vitales, muchos triviales), es decir, que hay muchos problemas sin importancia frente a unos pocos muy importantes. Mediante la gráfica colocamos los "pocos que son vitales" a la izquierda y los "muchos triviales" a la derecha. El diagrama facilita el estudio de las fallas en las industrias o empresas comerciales, así como fenómenos sociales o naturales psicosomáticos.

Hay que tener en cuenta que tanto la distribución de los efectos como sus posibles causas no es un proceso lineal sino que el 20% de las causas totales hace que sean originados el 80% de los efectos y rebotes internos del pronosticado. El principal uso que tiene el elaborar este tipo de diagrama es para poder establecer un orden de prioridades en la toma de decisiones dentro de una organización. Evaluar todas las fallas, saber si se pueden resolver o mejor evitarla.

### **2.6.1. El principio de Pareto**

Vilfredo Pareto, un sociólogo, economista, filósofo italiano y doctor en ingeniería hizo la famosa observación de lo que hoy conocemos como el principio de Pareto. El principio de Pareto puede ayudar a hacer un análisis de problemas y poder priorizar, de las causas probables que generan un problema, cuáles son aquellas en las que nos tenemos que enfocar primero.

Al principio de Pareto se le conoce como el principio 80-20 y básicamente lo que él analizó en aquel entonces (1896) era como estaba distribuida la riqueza en Italia. Se dio cuenta que un grupo muy pequeño de personas poseía la mayor cantidad de la riqueza. Pareto dio una proporción de 80-20: el 80% de la riqueza es poseída por el 20% de las personas poseen el 80 por ciento de la riqueza.

Esto se puede generalizar, lo que implica que en un proceso o una situación el 20% de las causas nos generan el 80% de los resultados.

### **2.6.2. Construcción del Diagrama de Pareto.**

Desarrollar un diagrama de Pareto tiene como objetivo el encontrar cuál es la causa raíz más importante, de una serie de causas identificadas de un problema X determinado.

El primer paso para construir un diagrama Pareto es elaborar una tabla (Tabla N°1) que contengan las causas al problema identificado, donde se registran las frecuencias con la que ocurren esas causas:

Tabla N°02. Causas y Frecuencias Pareto.

Causas	Frecuencia
Causa 1	26
Causa 2	20
Causa 3	16
Causa 4	9
Causa 5	4
Causa 6	3
Causa 7	3
Causa 8	2
Causa 9	2
Causa 10	1
<b>TOTAL</b>	<b>86</b>

Fuente: Elaboración Propia.

Posteriormente a la Tabla N°02 se le añaden otras dos columnas donde introducimos el porcentaje individual y el porcentaje acumulado de cada una de las causas.

Tabla N°03. Causas, Frecuencias y Porcentajes Pareto.

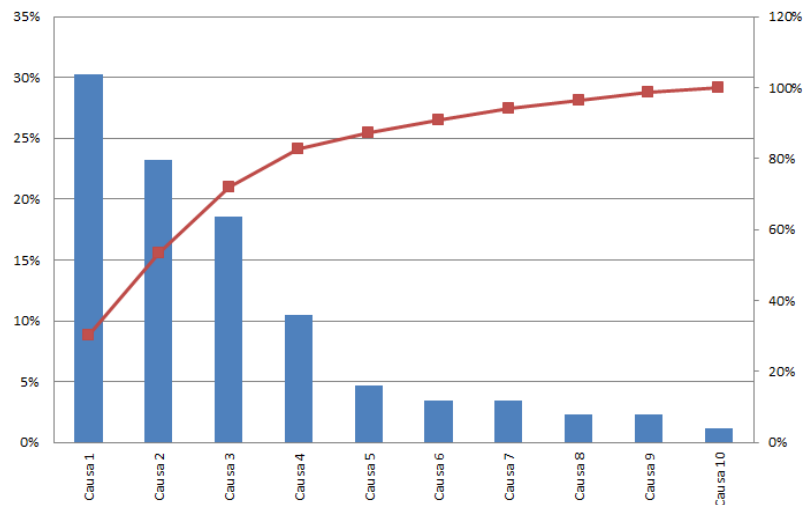
Causas	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje acumulado
Causa 1	26	30%	30%
Causa 2	20	23%	53%
Causa 3	16	19%	72%
Causa 4	9	10%	83%
Causa 5	4	5%	87%
Causa 6	3	3%	91%
Causa 7	3	3%	94%
Causa 8	2	2%	97%
Causa 9	2	2%	99%
Causa 10	1	1%	100%
<b>TOTAL</b>	<b>86</b>	<b>100%</b>	

Fuente: Elaboración propia.

Una vez completada la Tabla N°02, se construye el diagrama de Pareto en base a la columna de porcentaje individual y la columna de porcentaje acumulado. En el eje x, se introducen las causas ordenadas de mayor a menor y vez de trazar solamente un eje «y», se trazan 2 ejes «y»: el izquierdo o eje principal, para medir el porcentaje individual

y el derecho o eje secundario para medir el porcentaje acumulado. Cada eje queda graduado en función a sus datos, como se puede apreciar en Diagrama de Pareto (Grafico N°01)

Grafico N°01. Diagrama de Pareto.



Fuente: Elaboración Propia.

## 2.7. Valor Actual Neto (VAN), Tasa Interna de Retorno/Rendimiento (TIR). Índice costo/beneficio.

La teoría financiera nos brinda una gran gama de herramientas para la evaluación y selección de proyectos, siendo las más utilizadas las basadas en el descuento de flujos de efectivo, Valor Actual Neto (VAN) y Tasa Interna de Retorno/Rendimiento (TIR).

### 2.7.1. Valor Actual Neto (VAN)

El Valor Actual Neto de un proyecto es el valor actual/presente de los flujos de efectivo netos de una propuesta, entendiéndose por flujos de efectivo netos la diferencia entre los ingresos periódicos y los egresos periódicos. Para actualizar esos flujos netos se

utiliza una tasa de descuento denominada tasa de expectativa o alternativa/oportunidad, que es una medida de la rentabilidad mínima exigida por el proyecto que permite recuperar la inversión, cubrir los costos y obtener beneficios. Para su cálculo se utiliza la siguiente ecuación:

Figura N°04. Formula VAN.

$$VAN = \left[ \sum_{t=1}^n FE(t) * (1+i)^{(0-t)} + I(0) \right] (i)$$

Fuente: Mete, Roberto (2014)

Dónde:

- VAN: Valor Actual Neto.
- FE (t): flujo de efectivo neto del período t.
- i: tasa de expectativa o alternativa/oportunidad.
- n: número de períodos de vida útil del proyecto.
- I (0): inversión inicial (neta de ingresos y otros egresos).

Cabe destacar que el VAN así calculado traduce ingresos y egresos a su valor equivalente en el período 0. Si se quiere seleccionar otro período de referencia, deberá ajustarse la ecuación en la forma correspondiente.

Si el Valor Actual Neto de un proyecto independiente es mayor o igual a 0 el proyecto se acepta, caso contrario se rechaza. Para el caso de proyectos mutuamente

excluyentes, donde debo optar por uno u otro, debe elegirse el que presente el VAN mayor.

### 2.7.2. Tasa interna de rendimiento/retorno (TIR)

Es otro criterio utilizado para la toma de decisiones sobre los proyectos de inversión y financiamiento. Se define como la tasa de descuento que iguala el valor presente de los ingresos del proyecto con el valor presente de los egresos. Es la tasa de interés que, utilizada en el cálculo del Valor Actual Neto, hace que este sea igual a 0.

El argumento básico que respalda a este método es que señala el rendimiento generado por los fondos invertidos en el proyecto en una sola cifra que resume las condiciones y méritos de aquel. Al no depender de las condiciones que prevalecen en el mercado financiero, se la denomina tasa interna de rendimiento: es la cifra interna o intrínseca del proyecto, es decir, mide el rendimiento del dinero mantenido en el proyecto, y no depende de otra cosa que no sean los flujos de efectivo de aquel.

El cálculo de la TIR puede resultar muy complejo si la vida útil del proyecto excede los dos períodos. En ese caso, la solución requiere considerar a la TIR como incógnita en la ecuación del Valor Actual Neto, ya que ella tiene la particularidad de ser la única tasa que hace que el resultado de aquel sea igual a 0:

Figura N°05. Formula TIR.

$$\sum_{t=0}^n FE / (1 + TIR)^t = VAN = 0 \quad (2)$$

Fuente: Mete, Roberto (2014)

Dónde:

- TIR: Tasa Interna de Rendimiento/Retorno.
- VAN: Valor Actual Neto.
- FE (t): flujo de efectivo neto del período t.
- n: número de períodos de vida útil del proyecto.

Los criterios de aceptación en proyectos independientes: surge de la comparación entre la TIR y la tasa de expectativa o alternativa/oportunidad.

➤ Si la TIR es mayor a la tasa de expectativa, el proyecto es financieramente atractivo ya que sus ingresos cubren los egresos y generan beneficios adicionales por encima de la expectativa o alternativa.

➤ Si la TIR es menor a la tasa de expectativa, el proyecto no es financieramente atractivo ya que hay alternativas de inversión que pueden generar mejores resultados. Dentro de este escenario se nos pueden presentar dos alternativas:

➤ TIR menor a la expectativa pero mayor a 0: significa que los ingresos apenas cubren los egresos del proyecto y no se generan beneficios adicionales.

➤ TIR menor a 0: significa que los ingresos no alcanzan a cubrir los egresos, por ende, el proyecto genera pérdidas.

➤ Si la TIR es igual a la tasa de expectativa es indiferente realizar el proyecto o escoger las alternativas, ya que generan idéntico beneficio. En caso de no existir alternativas debería llevarse a cabo el proyecto ya que los ingresos cubren los ingresos y generan beneficios.

### **2.7.3. Relación Beneficio-Coste (B/C).**

La relación Beneficio-Coste (B/C) compara de forma directa los beneficios y los costes. Para calcular la relación (B/C), primero se halla la suma de los beneficios descontados, traídos al presente, y se divide sobre la suma de los costes también descontados.

Para una conclusión acerca de la viabilidad de un proyecto, bajo este enfoque, se debe tener en cuenta la comparación de la relación B/C hallada en comparación con 1, así tenemos lo siguiente:

**B/C > 1** indica que los beneficios superan los costes, por consiguiente, el proyecto debe ser considerado.

**B/C=1** Aquí no hay ganancias, pues los beneficios son iguales a los costes.

**B/C < 1**, muestra que los costes son mayores que los beneficios, no se debe considerar.

## **2.8. El aceite**

Los lubricantes hidráulicos son cruciales en el proceso de mantenimiento ya que, por ser un fluido no compresible, su principal función es transmitir potencia y movimiento.

Entre otras características:

- Lubricar partes móviles
- Función de enfriado y disipar calor generado en el proceso productivo.
- Protección anticorrosiva
- Limpieza de los mecanismos.

### **2.8.1. Contaminación**

La presencia de partículas en el aceite reduce la vida útil de los componentes, disminuye la eficiencia de los sistemas hidráulicos y aumenta el desgaste principalmente de las piezas móviles.

La contaminación afecta el volumen de los fluidos y la eficiencia de los sistemas, reduciendo las características de viscosidad y densidad del lubricante y con ello la capacidad específica de realizar el trabajo para el que fue diseñado.

### **2.8.2. Limpieza de lubricantes**

La limpieza de aceites lubricantes es muy importante para asegurar la eficiencia de los sistemas y con ello la vida útil de los equipos.

Reducir la cantidad de material particulado en el aceite hidráulico de acuerdo a la norma ISO 4406.

En sistemas de aceites de lubricación e hidráulicos, los contadores de partículas son utilizados para el análisis de su contaminación.

Ventajas de mantener un sistema de filtración off-line o dialisis en un sistema hidráulico:

- Auxiliar en la reducción de contaminantes cuando el filtro principal es insuficiente

- Aumentar la vida útil de los componentes hidráulicos debido al grado de limpieza alcanzado
- Aumentar la vida útil de los elementos filtrantes de línea, presión y retorno, reduciendo el costo con ese material y aumentando el intervalo de cambio de ellos

- Reducir las intervenciones en el equipo por fallas en el filtrado
- Reducir el número de horas con mantenimiento del equipo, pues con un aceite limpio se evita la rotura y el desgaste de componentes, por ejemplo, bombas y válvulas
- Ganancia de producción y reducción de costos con el mismo equipo, pues quedará menos tiempo parado y consumirá menos piezas de repuesto. Los sistemas de filtrado off-line tiene la posibilidad de agregar un sistema de enfriamiento del aceite a través de intercambiadores de calor ya sea aire-aceite o bien agua aceite, en estos casos los equipos se montan en un bastidor

## **CAPÍTULO III: FUNDAMENTOS METODOLÓGICOS DE LA INVESTIGACIÓN**

### **3.1. Diseño metodológico.**

Dado que se busca comprobar la idea previamente establecida, así como los objetivos trazados, el presente trabajo será elaborado bajo el planteamiento metodológico del enfoque cuantitativo.

Se utilizará un enfoque cuantitativo dado que este utiliza la recolección y el análisis de datos. Para contestar preguntas de la investigación y probar hipótesis establecida previamente y confiar en la medición numérica, el conteo y frecuentemente en el uso de la estadística para establecer con exactitud patrones de comportamiento en una población.

### **3.2. Población y Muestra**

#### **3.2.1. Población.**

La población corresponde a los Camiones de extracción (Caex) 797B Caterpillar de propiedad de Minera Escondida.

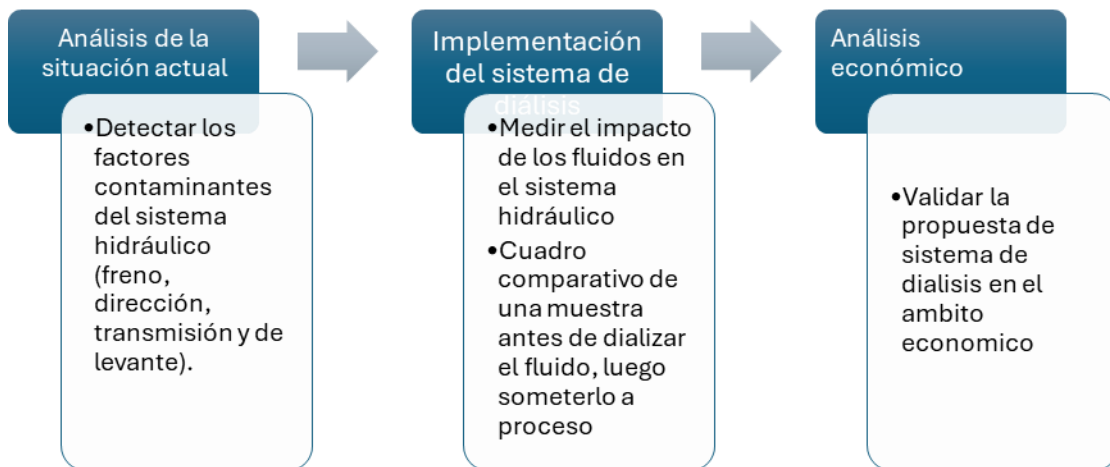
#### **3.2.2. Muestra:**

- Los 37 Caex 797B Caterpillar a cargo del área de mantención Mina MEL.
- La muestra se determina de forma aleatoria de los equipos por la facilidad de la información. Se realiza de descarga ordenes de trabajo ejecutadas en el periodo 2021-2024 en sistema 1SAP.
- Se realiza análisis de datos a través de planillas de Excel.

### 3.3. Propuesta metodológica.

El objetivo de la siguiente propuesta metodológica es lograr cumplir los objetivos propuestos en el siguiente trabajo de título. Para lo cual se ha dividido esta propuesta en 3 etapas como se aprecia en la Figura N°06.

Figura N°06. Etapas de la propuesta metodológica.



Fuente: Elaboración Propia.

#### ➤ **Etapa 1. Análisis de la situación actual.**

Describir los factores contaminantes del sistema hidráulico (freno, dirección, transmisión y de levante).

La información es de carácter descriptivo y contempla entre otros;

- ✓ Indicadores de eficiencia
- ✓ Indicadores de disponibilidad
- ✓ Reportes diarios de los operadores.
- ✓ Ordenes de trabajo para trabajos programados e imprevistos.
- ✓ Historial de la flota (Isap)

✓ Información de Finning Sudamerica, internet, y distribuidor de equipo de diálisis

Esta información se encuentra disponible en el departamento de MONCON de minera escondida.

### ➤ **Etapa 2. Implementación del sistema de Diálisis.**

Determinar si el sistema propuesto aumenta la vida útil de los fluidos hidráulicos y por ende de sus respectivos componentes. Para lo cual con la información recopilada en la etapa 1. Se realizará las siguientes tareas.

✓ Desglose de fallas de mantención hidráulicas.

✓ Cuadro comparativo de una muestra antes de dializar el fluido, luego someterlo a proceso y por último verificar como quedará después de su limpieza.

Para corroborar la mejora de la implementación de sistema de diálisis este debe estar impactando en las siguientes áreas de operación de los Camiones de extracción (Caex) 797B.

✓ **Área Operación:** Operación Interrumpida.

✓ **Confiabilidad:** Disminución de Detenciones.

✓ **Mantenimiento:** Disminuir cambio de aceites.

### ➤ **Etapa 3. Análisis económico de la propuesta.**

Se determinará el impacto de la propuesta de implementación mediante una proyección económica, para lo cual a lo menos se espera:

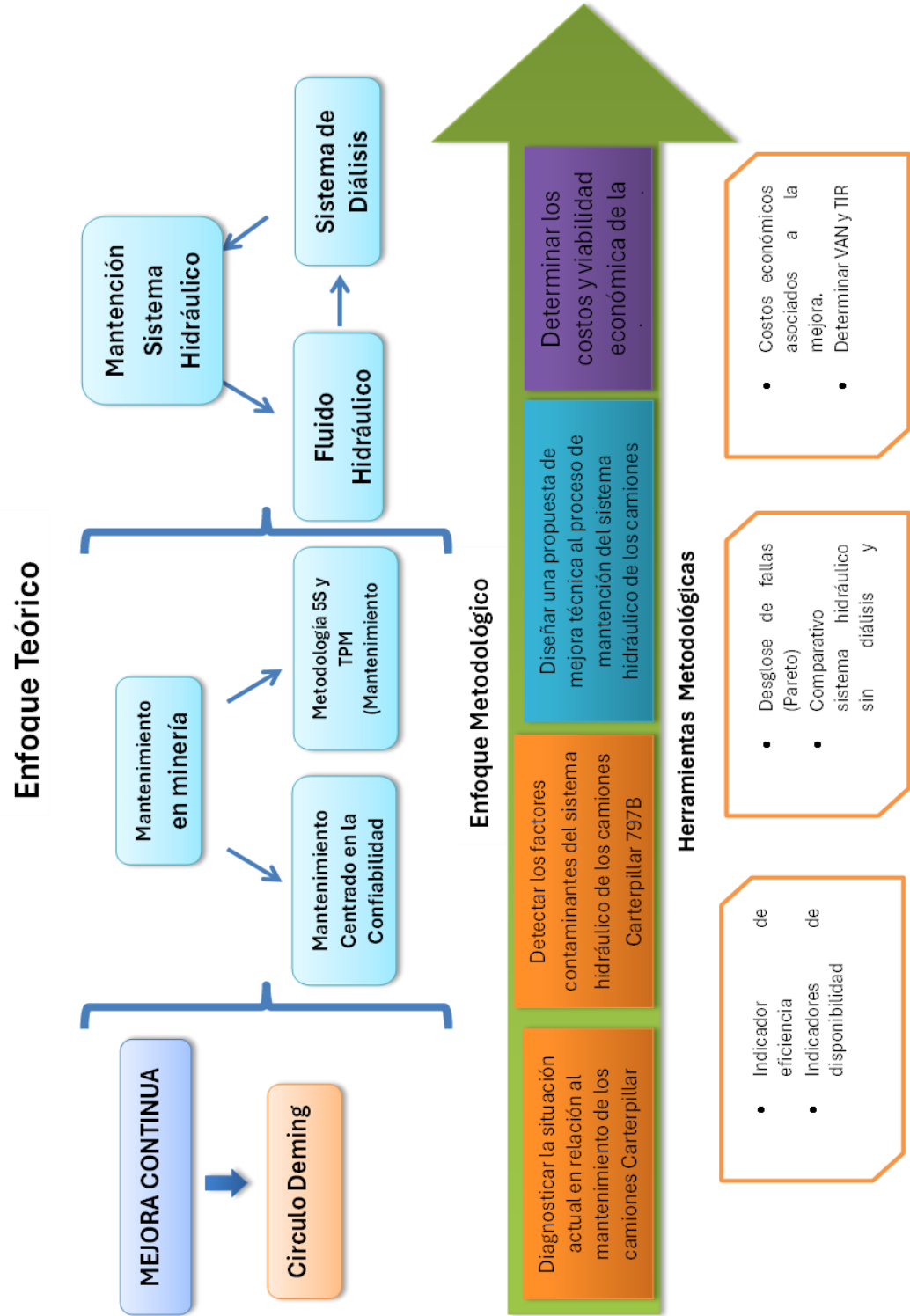
✓ Identificar Costos económicos asociados.

✓ Determinar costo/beneficio de la propuesta.

✓ Evaluar la importancia de habilitar nuevamente la mejora ya que filtros están con quiebre de stock desde hace 4 meses en bodega mina Escondida.

Por último, en la figura N°07 se entrega un resumen teórico-metodológico del siguiente trabajo de título.

Figura N°07. Resumen teórico – metodológico



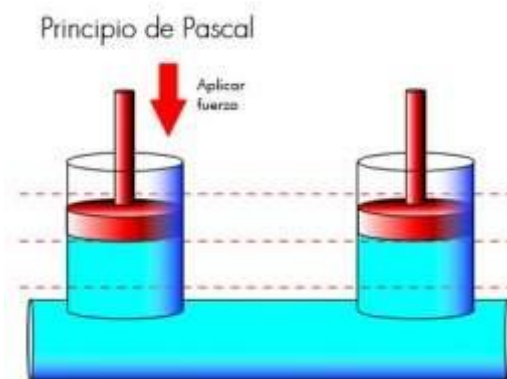
## Capítulo IV. Análisis de los Resultados

### 4.1. Análisis de la situación actual.

#### 4.1.1. Sistema hidráulico del CAT 797B

Los sistemas hidráulicos en los equipos y vehículos pesados generalmente están constituidos por un depósito, cuya función es la de almacenar el líquido de trabajo (aceite en este caso); una bomba, encargada de hacer circular el líquido en los circuitos a presiones determinadas; una válvula elevadora, destinada a regular la presión del líquido en el sistema; una válvula distribuidora, accionada por el operador a través de una palanca para dirigir el flujo de líquido hacia los diferentes órganos de trabajo; uno o más cilindros y motores, capaces de realizar su trabajo en virtud de una presión hidráulica; tuberías y conexiones, utilizadas para hacer circular el líquido desde el depósito hacia los órganos de trabajo y permitir su posterior retorno; y un filtro, cuya única e importantísima misión es garantizar que se eliminen del líquido las partículas pequeñas que se desprenden a través de todo su recorrido.

Imagen N°05. Ejemplo sistema hidráulico principio de pascal



Fuente. Ecured. 2017.

Este sistema hidráulico del CAT 797B incluye los sistemas siguientes:

- Sistema de levante.
- Sistema Frenos y enfriamiento de frenos.

- Sistema de dirección.
- Sistema de transmisión.

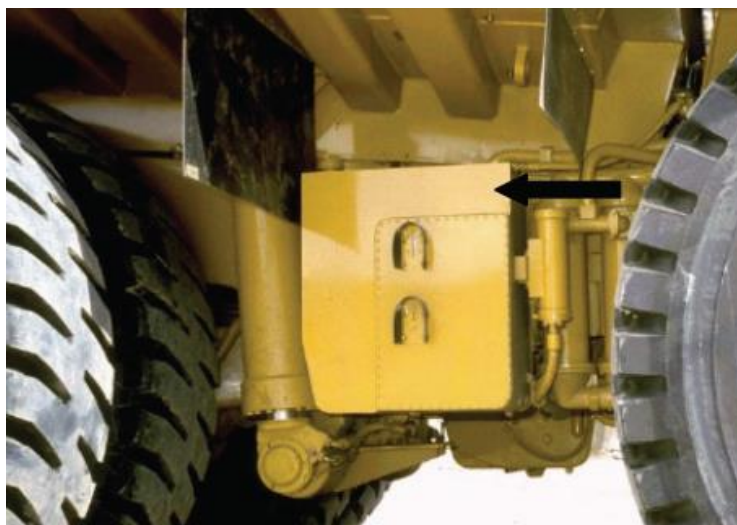
#### **4.1.1.1. Sistema de levante.**

El control de levante se encuentra a la izquierda del asiento del operador y está conectado al tanque hidráulico. El control de levante tiene cuatro posiciones: LEVANTAR, FIJA, LIBRE y BAJAR. La máquina se debe operar normalmente con el control de levante en la posición LIBRE.

El control de levante está conectado al sensor de posición del control de levante. El sensor de posición envía señales eléctricas al Módulo de Control Electrónico (MCE) de la transmisión.

El tanque hidráulico se encuentra en el exterior del lado derecho del bastidor (imagenN°6). El tanque hidráulico suministra aceite a los frenos, al sistema de enfriamiento de los frenos y al sistema hidráulico de levante. Las válvulas de alivio del enfriador de aceite de los frenos traseros, se encuentran en el tanque hidráulico. Un respiradero de aire para el tanque hidráulico se encuentra en el bastidor vertical en el lado derecho del camión.

Imagen N°06. Tanque hidráulico (levante y frenos)



Fuente: Minera Escondida

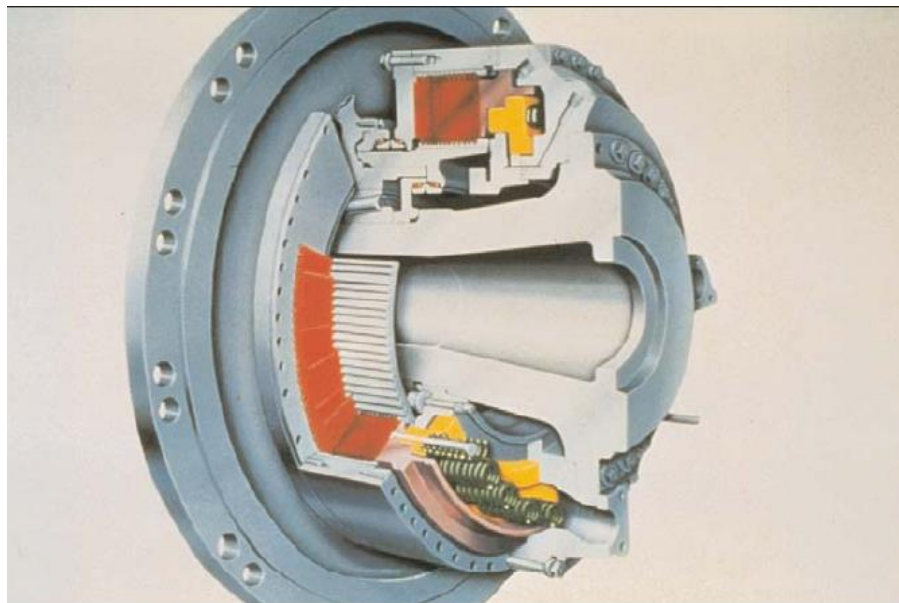
El tanque hidráulico tiene dos mirillas. La mirilla superior se usa generalmente para comprobar el nivel de aceite. La mirilla inferior puede usarse cuando los cilindros de levante están en la posición levantada.

#### 4.1.1.2. Sistema de frenos

Dos sistemas de frenos separados son usados en los camiones 797B. Los dos sistemas de frenos son: el sistema de freno estacionamiento/secundario y el sistema de freno servicio/retardador. Los frenos de estacionamiento/secundario son aplicados por resorte y liberados hidráulicamente. Los frenos de servicio/retardador son aplicados hidráulicamente y liberados por resortes. El sistema de frenos del 797B es hidráulico completo. El sistema de aire en el 797B es usado solamente para las siguientes funciones:

- Arranque de Motor
- Inyección de lubricación automática (grasa)
- Bocina
- Asientos de aire

Imagen N°07. Sistemas de frenos CAT 797B



Fuente: Finning capacitación.

La imagen N°7 muestra un ensamble de freno enfriado por aceite. Los frenos son ambientalmente sellados y libres de ajuste. El aceite continuamente fluye a través de los discos de frenos para refrigeración. Sellos Duo-Cone previenen que aceite de refrigeración fugue al exterior o sea transferido dentro de la carcasa del eje. El ajuste de los cojinetes de ruedas debe ser mantenido para conservar los sellos Duo-Cone sin fugas.

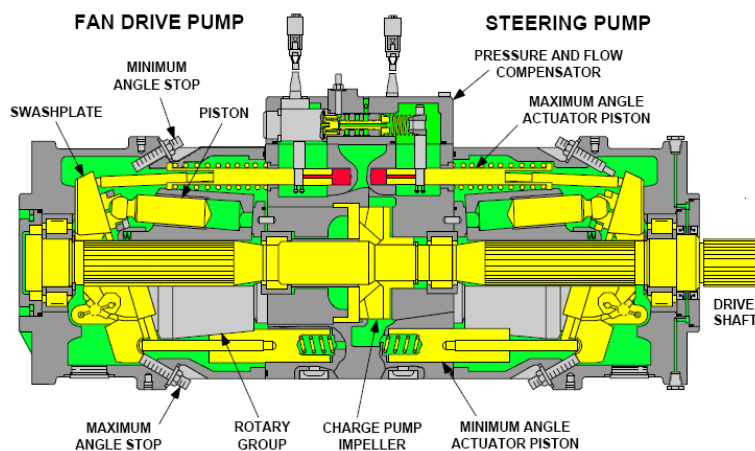
Un pistón más pequeño (amarillo) es usado para APLICAR el freno secundario y de estacionamiento. El freno de estacionamiento es APLICADO por resorte y LIBERADO hidráulicamente.

El pistón mayor (púrpura) es usado para APLICAR el freno de servicio/retardador. El freno de servicio/retardador es aplicado hidráulicamente y liberado por resorte.

#### 4.1.1.3. Sistema de dirección.

La imagen N°8 muestra una vista seccional de la bomba de Dirección del Camión 797B. La bomba de Dirección es parte de un grupo doble de bombas de pistón. La bomba de la mando del ventilador es la otra parte del grupo de la bomba. Las bombas son de desplazamiento variable del tipo pistón. El aceite fluye de la bomba de dirección a la válvula de alivio y solenoide.

Imagen N°08. Bomba de dirección.



Fuente: Minera Escondida.

El tanque de la dirección está en forma separada dentro del tanque hidráulico grande, situado al lado derecho del camión. El tanque de la dirección suministra el aceite para el sistema de dirección, el sistema de mando de enfriamiento de los frenos y el sistema de mando del motor del ventilador.

El nivel del aceite para el tanque de dirección se revisa en el indicador, con el aceite frío y el motor apagado. Después que el motor arranca, el nivel de aceite disminuirá a medida que el aceite llena los acumuladores de la dirección.

#### **4.1.1.4. Sistema de transmisión.**

El primer componente del tren de fuerza es el convertidor de par. El convertidor de par suministra un acoplamiento fluido que permite que el motor continúe funcionando con el camión detenido. En mando de convertidor de par, el convertidor de par multiplica el par del motor a la transmisión. A velocidades de desplazamiento mayores, se conecta un embrague de traba para proveer mando directo. Las gamas de velocidad en NEUTRAL y RETROCESO son únicamente de mando del convertidor. La PRIMERA VELOCIDAD es de mando del convertidor a velocidad baja de desplazamiento y de mando directo a velocidad alta de desplazamiento. De SEGUNDA VELOCIDAD a SÉPTIMA VELOCIDAD son de mando directo únicamente. El convertidor de par pasa a mando del convertidor entre cada cambio (durante la conexión del embrague) para permitir hacer cambios suaves.

Algunos de los componentes principales del tren de fuerza que se encuentran montados en la caja del convertidor de par son:

1. Válvula de alivio de entrada
2. Válvula de alivio de salida
3. Válvula de traba del convertidor de par
4. Bomba del tren de fuerza (barrido y control de la transmisión)

5. Bomba del tren de fuerza (lubricación de la transmisión y carga del convertidor de par)

6. Filtro de carga del convertidor de par

7. Rejilla de salida del convertidor de par (detrás de la tapa superior)

8. Rejilla de succión magnética del convertidor de par (detrás de la tapa inferior)

#### **4.1.2. Contaminantes sistema hidráulico CAT 797B**

Las principales causas que provocan fallas y con ello detenciones que afectan a los componentes del sistema hidráulico antes descritos, del CAT 797B en el proceso productivo de Minera Escondida están asociado a; contaminación.

- Contaminación interna
- Contaminación externa
- Contaminación química

Los contaminantes llegan desde dos fuentes básicas, las cuales suelen ser: desde fuera del sistema o los que se generan desde el sistema mismo.

Un alto porcentaje de fallas en los sistemas hidráulicos es causado por contaminantes en el fluido. Invariablemente, altos niveles de contaminación contribuyen a una operación ineficiente, desgaste acelerado de las partes en movimiento, alta temperatura, goteo y pérdidas de control. Todo lo cual, naturalmente decrece la vida útil del equipo.

En los equipos nuevos a menudo queda cierta cantidad de suciedad durante las operaciones de manufactura. Tanto el fluido original como el de relleno pueden contener más suciedad de la que el sistema puede tolerar a menos que sean filtrados antes de entrar al circuito. La mayoría de sistemas adquieren algún grado de contaminación a través de componentes como respiraderos y los sellos de los ejes durante la operación

normal. También es posible contaminar un circuito cuando se encuentra abierto durante las operaciones de servicio o mantenimiento.

La contaminación también puede actuar como un catalizador capaz de acelerar la oxidación del fluido y estimular la degradación de los componentes químicos del aceite.

Entre los contaminantes más comunes que se pueden encontrar en un sistema hidráulico en su orden mencionaremos:

#### **4.1.2.1. Agua**

Es un contaminante muy común de encontrar en los sistemas hidráulicos, sobre todo en países tropicales, donde la humedad presente en el ambiente se condensa fácilmente en los depósitos de aceite debido a los cambios de temperatura entre el día y la noche. Es necesario controlar éste tipo de contaminación, pues, además de dañar el fluido hidráulico, también puede afectar las paredes de los tanques y tuberías, así como el resto de componentes del sistema.

#### **4.1.2.2. Metales**

La contaminación con metales se puede dividir en dos tipos:

**Benigna:** es la producida por los aditivos presentes en todos los fluidos hidráulicos, por lo que puede ser considerada como un parámetro de desgaste en el aceite.

**Maligna:** es la producida por el desgaste mismo en los componentes del sistema, por lo que puede ser considerada como signo del envejecimiento irreversible de las piezas metálicas en movimiento.

La contaminación por metales debe ser mantenida bajo control pues puede generar un desgaste innecesario en todo el sistema.

#### **4.1.2.3. Oxidación**

La oxidación puede ser tomada como el grado de envejecimiento de un aceite, y no puede ser evitada por ningún tipo de filtración. En sistemas muy limpios es posible que únicamente la oxidación nos determine el momento de cambiar un aceite. Un cambio de viscosidad (más espeso) puede ser signo de oxidación.

#### **4.1.2.4. Otros tipos de aceite**

Normalmente este tipo de contaminación se da por errores al momento de rellenar un depósito, el riesgo que se corre con este tipo de contaminantes es que, al mezclar varios tipos de aceites, probablemente no todos cumplen con los requerimientos para una aplicación dada y solamente limitan la acción de aquellos que si los cumplen, por otra parte resulta muy difícil de detectar si no se lleva un control estricto de cada relleno.

#### **4.1.2.5. Combustibles**

La contaminación por combustibles es más común de encontrar en los motores de combustión interna, y se puede detectar por un cambio de viscosidad, un aceite diluido es un signo de este tipo de contaminación.

No es un contaminante muy común o relevante en caso de estar presente en un sistema hidráulico, sin embargo, debido a que la gran mayoría de aceites son de origen natural, no puede descartarse la posibilidad de que en un momento dado se desarrolle una colonia de bacterias dentro del mismo.

#### **4.1.2.6. Partículas**

Es sabido que un contaminante puede ser de todos los tamaños y formas, y que entre más fino sea, más difícil es contarlos y determinar el material del que está compuesto. Sin embargo, se puede decir que la mayoría son abrasivos y que interactúan con las protuberancias de la superficie, raspando y cortando fragmentos de la misma.

Este desgaste causa cerca del 90% de fallas debido a contaminación

### **4.1.3. Estadística de Pareto**

Al haber seleccionado como objeto los CAT 797B se analizó el historial de falla de estos para el periodo de 2020-2024. Posteriormente se procedió elaborar el desglose general de las fallas que afectan a los CAT 797B a nivel del sistema hidráulico, como se muestran en la tabla N°04.

Tabla N°04. Desglose historial de falla CAT 797B para el enero 2020 y diciembre 2024.

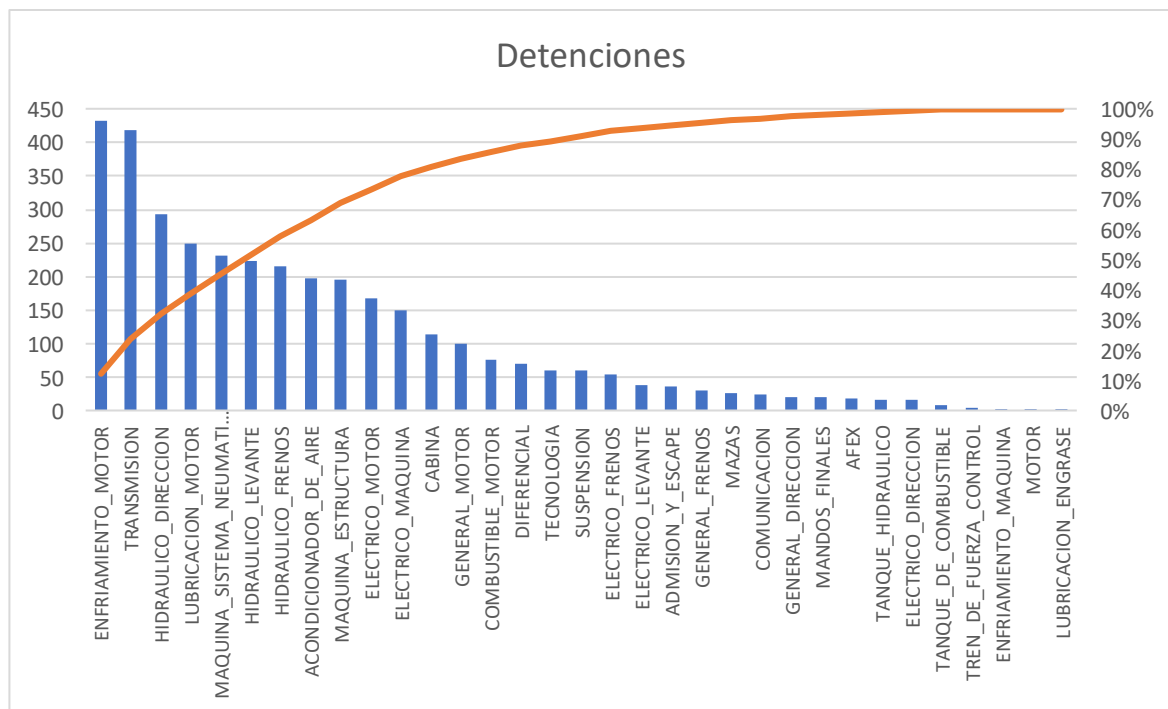
<b>Nivel_2</b>	<b>N° Detenciones</b>	<b>%</b>	<b>Acum</b>
ENFRIAMIENTO_MOTOR	433	12%	12%
TRANSMISION	419	12%	24%
HIDRAULICO_DIRECCION	294	8%	32%
LUBRICACION_MOTOR	249	7%	39%
MAQUINA_SISTEMA_NEUMATICO	232	6%	45%
HIDRAULICO_LEVANTE	223	6%	52%
HIDRAULICO_FRENOS	215	6%	58%
ACONDICIONADOR_DE_AIRE	198	6%	63%
MAQUINA_ESTRUCTURA	196	5%	69%
ELECTRICO_MOTOR	168	5%	73%
ELECTRICO_MAQUINA	150	4%	78%
CABINA	114	3%	81%
GENERAL_MOTOR	101	3%	84%
COMBUSTIBLE_MOTOR	76	2%	86%
DIFERENCIAL	70	2%	88%
TECNOLOGIA	60	2%	89%
SUSPENSION	60	2%	91%
ELECTRICO_FRENOS	54	2%	93%
ELECTRICO_LEVANTE	38	1%	94%
ADMISION_Y_ESCAPE	36	1%	95%
GENERAL_FRENOS	30	1%	96%
MAZAS	26	1%	96%
COMUNICACIÓN	24	1%	97%
GENERAL_DIRECCION	21	1%	98%
MANDOS_FINALES	20	1%	98%
AFEX	19	1%	99%
TANQUE_HIDRAULICO	17	0%	99%
ELECTRICO_DIRECCION	16	0%	100%
TANQUE_DE_COMBUSTIBLE	8	0%	100%
TREN_DE_FUERZA_CONTROL	4	0%	100%
ENFRIAMIENTO_MAQUINA	3	0%	100%
MOTOR	1	0%	100%
LUBRICACION_ENGRASE	1	0%	100%
<b>TOTAL DE FALLAS</b>	<b>3576</b>		

Fuente: Elaboración Propia.

La elaboración del desglose de las detenciones presentado en la Tabla N°4, requirió un filtrado de la data, debido a que para fallas similares en el mismo subsistema las descripciones encontradas eran diferentes

Luego del desglose obtenido y el uso de la herramienta estadística de Pareto, con la cual es posible agrupar los equipos que representen el 80% de las detenciones del sistema, se procedió elaborar el Pareto de las detenciones ocurridas en los diferentes subsistemas.

Grafico N°02. Estadística de Pareto línea de estudio.



Fuente: Elaboración propia.

Analizando se obtiene que el 80% de las detenciones ocurridas para el periodo en estudio se encuentran concentradas en los componentes del sistema hidráulico, todas las detenciones mencionadas son a causa de las consecuencias de la contaminación del sistema hidráulico.

## **4.2. Diálisis de aceite**

El fluido hidráulico cumple diferentes funciones: transmisión de potencia, lubricación, transferencia de calor, y transferencia de contaminación hacia los filtros. Con tantas labores tan críticas su estado es clave para mantener el desempeño y la vida útil de los componentes. La vida útil de un fluido depende principalmente del grado de contaminación que este tenga, es por ello que hay que evitar a toda costa que se contamine tanto por partículas sólidas internas y externas, como con fluidos propios del equipo o del ambiente.

La diálisis de aceites permite que al final del proceso de filtración, el aceite quede en óptimas condiciones para ser utilizado en la misma aplicación donde se venía utilizando y con un porcentaje de vida igual o mayor al que tuviera antes del proceso de diálisis.

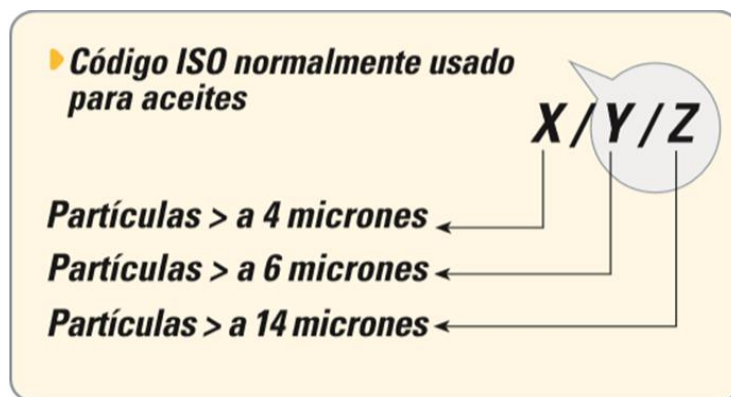
El agua y las partículas son la principal fuente de contaminación de los aceites, particularmente el agua es el ingrediente más dañino. Cuando el agua contamina un sistema puede causar serios problemas como:

- Corrosión y formación de ácidos.
- Descomposición del fluido, reducción de sus propiedades de lubricación, precipitación de los aditivos y oxidación del aceite.
- Reducción de la fuerza dieléctrica.
- Desgaste abrasivo de los componentes hidráulicos.

### **4.2.1. Código ISO**

El código ISO de contaminación sólida es un medio universal y conciso de expresar el nivel de contaminación por partículas en un fluido que no sea motor, cuantificándolas y diferenciándolas según su tamaño. Un código de limpieza ISO se le asigna citando los tres números de clasificación ISO

Figura N°08. Nomenclatura ISO.



Fuente: Minera Escondida.

Estos tres números codifican las cantidades de partículas mayores de 4 µm/ml (X), mayores de 6 µm/ml (Y) y mayores de 14 µm/ml (Z) presentes en la muestra.

Esa cantidad de partículas se codifica en un valor ISO (Figura N°09) Estos tamaños de partículas corresponden a la ISO 4406-1999.

Figura N°09. Tabla de equivalencias partículas/código

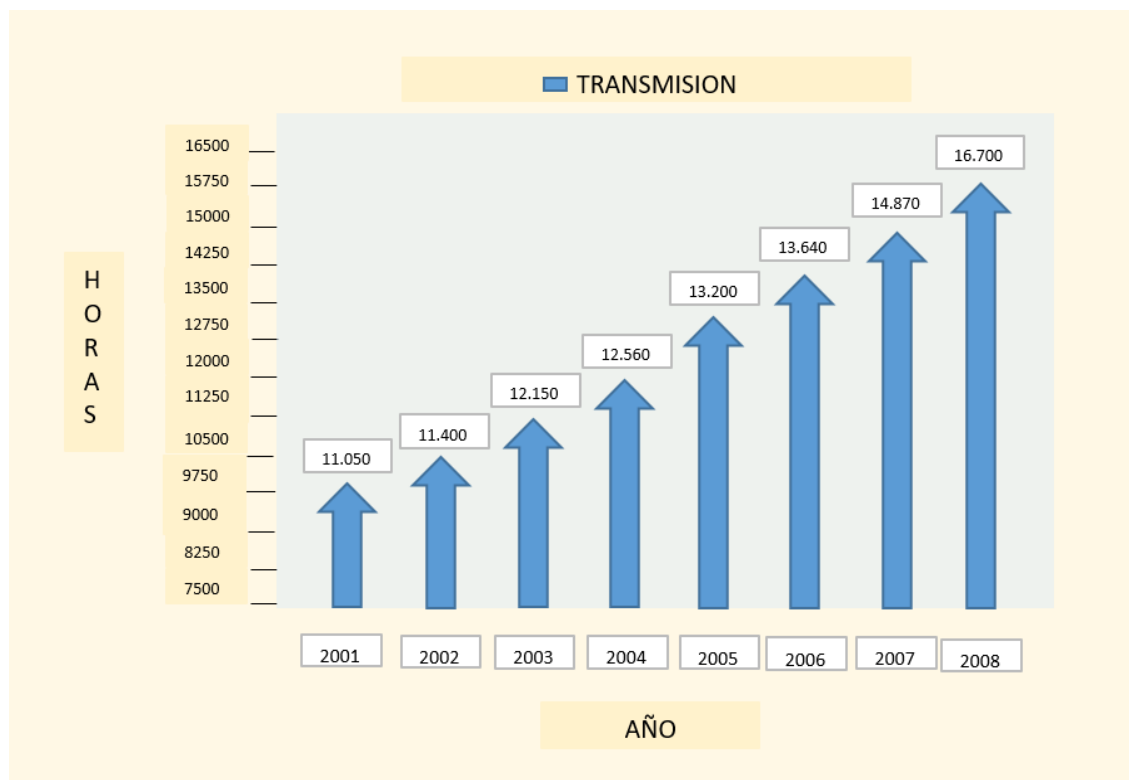
<b>Rango de partículas (cantidad por ml.)</b>		<b>Código ISO</b>
40.000	80.000	23
20.000	40.000	22
10.000	20.000	21
5.000	10.000	20
2.500	5.000	19
1.300	2.500	18
640	1.300	17
320	640	16
160	320	15
80	160	14
40	80	13
20	40	12
10	20	11
5	10	10
2.5	5	9
1.3	2.5	8
0.64	1.3	7
0.32	0.64	6
0.16	0.32	5
0.08	0.16	4
0.04	0.08	3
0.02	0.04	2
0.01	0.02	1

Fuente: Minera Escondida

Se recomienda en la industria de la maquinaria vial y minera que se utilicen los dos últimos valores de tamaño de partículas, (mayores a 6  $\mu\text{m}/\text{ml}$  y mayores a 14  $\mu\text{m}/\text{ml}$ ) ya que el otro valor es requerido generalmente por otras industrias como la aeroespacial, electro-hidráulica, farmacéutica, etc.

Dentro de la investigación realizada, se obtienen documentos los cuales indican que en el año 2001 la vida útil de una transmisión era de 11050 horas, a medida que va pasando el tiempo se comienza a crear concientización en la manipulación de los aceites, de esta manera se aumenta la vida útil en 350 horas, llegando a 11400 horas de vida útil del componente, lo cual lleva a generar una búsqueda en la mejora de la calidad del aceite. En el año 2003 se realiza la implementación de un sistema de control de contaminantes exhaustivo, llegando así a las 12150 horas. En el año 2006 el sistema de lubricación sufre una modificación en sus componentes, principalmente con la creación de filtros de Ultra Alta Eficiencia (capacidad de filtrado máxima de 5 $\mu\text{m}$ ), pudiendo obtener 13640 horas de vida útil. En el año 2008 se logra llegar al gran número de 16700 horas de vida útil, todo gracias a un programa de concientización en los trabajadores de lo dañino que pueden llegar las partículas contaminantes, por muy pequeñas que estas sean, y a la utilización de equipos de filtrado externo (dializadoras) cada vez que el equipo ingresa a taller (ver gráfico 03)

Gráfico N°03. Proceso de diálisis.



Fuente: Minera escondida.

#### 4.2.2. Equipo de diálisis

El equipo de diálisis a utilizar es fabricado por Schoeder industries, modelo L-2979, el cual cuenta con dos filtros de partículas de alto rendimiento con un rango de filtración ISO16889; filtro de remoción de agua, contador de partículas con un monitor laser para la medición de la contaminación de partículas, el cual emite un reporte (en intervalos de 90 segundos) y también códigos de limpieza ISO 4406:1999; y un sensor de agua el cual monitorea el contenido de agua disuelta en el fluido del sistema y muestra mediciones como porcentaje de saturación de fluido.

### 4.2.3. Seguimiento del equipo

Se realiza un seguimiento al equipo en estudio TK 293, en las cual se puede observar (ver tabla 05) el valor de las muestras de aceite SAE 10 y SAE30. Donde se aprecia como se ha perdido la calidad del aceite posterior a 2 ciclos de mantenimiento sin realizar microfiltrado de partículas por quiebre de stock de los filtros durante septiembre y octubre de 2024.

Tabla N°05. TK293

#### MUESTRAS ACEITE SISTEMA DIRECCION 30-10-2024

Muestras CAT-ESC																
id_sample	unidad	compo	fecha_anal	pm	hierro	cobre	silicio	visc_4t	visc_1t	tan	tbn	pq	greate1	greate2	greate3	codigo
800010809	TKD0293	DIR	2024-10-30		20	4	5	305,91	0	0	0	9	5404,54	771,93	26,68	20/17/12
800007994	TKD0293	DIR	2024-10-05	Paso 2	6	4	12	70,1	0	0	0	7	18067,7	8147,9	416,87	21/20/16
800007822	TKD0293	DIR	2024-10-04	Paso 2	6	3	20	75,3	0	0	0	9	35084,6	14997,9	855,55	22/21/17
800005624	TKD0293	DIR	2024-09-15	DI	1,3	0	10	96,9	0	0	0	12	27974,2	11633	446,89	22/21/16

#### MUESTRAS ACEITE SISTEMA HIDRÁULICO 30-10-2024

Muestras CAT-ESC																
id_sample	unidad	compo	fecha_anal	pm	hierro	cobre	silicio	visc_4t	visc_1t	tan	tbn	pq	greate1	greate2	greate3	codigo
800010808	TKD0293	SH	2024-10-30		15	7	16	43,4	0	1,75	0	8	32375,5	9341,38	440,22	22/20/16
800007993	TKD0293	SH	2024-10-05	Paso 2	12	9	17	44,6	0	1,8	0	9	23732,6	9885,1	616,97	22/20/16
800005623	TKD0293	SH	2024-09-15	DI	10	11	14	41,4	0	1,74	0	6	15751,5	5552,77	206,77	21/20/15

Fuente: Minera escondida.

En el caso del aceite hidráulico presenta una mejoría considerable pasando desde un código rojo 21/17 a una muestra aceptable con código 20/17 debido al uso del filtrado de partículas realizado en PM paso 2 el 04 de octubre de 2024.

### 4.2.4. Componentes intercambiados periodo 2021-2024

Según la información recopilada desde Minera escondida los componentes intercambiables para el año 2021 fueron de 45 componentes Figura N°10.

Figura N°10. Componentes intercambiados 2021

Years (Basic Start Date)	2021						
ACCION	CAMBIO						
Cuenta de Basic Start Date	Etiquetas de columna						
Etiquetas de fila	FRENOS	LEVANTE	MOTOR	TREN_DE_FUERZA	Total general		
BOMBA_ACEITE_TRANSMISION				5	5		
BOMBA_DE_COMBUSTIBLE			2		2		
BOMBA_DE_FRENO	5				5		
BOMBA_DE_LEVANTE		15			15		
BOMBA_DE_LUBRICACION			1		1		
CONVERTIDOR_DE_TORQUE				6	6		
TRANSMISION				8	8		
VALVULA_CONTROL_DE_LEVANTE		3			3		
<b>Total general</b>	<b>5</b>	<b>18</b>	<b>3</b>	<b>19</b>	<b>45</b>		

Fuente: Minera escondida.

Según la información recopilada desde Minera escondida los componentes intercambiables para el año 2022 fueron de 42 componentes Figura N°11.

Figura N°11. Componentes intercambiados 2022

Años (Basic Start Date)	2022						
ACCION	CAMBIO						
Cuenta de Basic Start Date	Etiquetas de columna						
Etiquetas de fila	DIRECCION	FRENOS	LEVANTE	MAQUINA	MOTOR	TREN_DE_FUERZA	Total general
BOMBA_DE_ACEITE_TRANSMISION						4	4
BOMBA_DE_COMBUSTIBLE					1		1
BOMBA_DE_DIRECCION	3						3
BOMBA_DE_FRENO		6					6
BOMBA_DE_LEVANTE			9				9
BOMBA_DE_LUBRICACION					1		1
BOMBA_DE_TRANSFERENCIA					1		1
BOMBA_HIDRAULICO_VENTILADOR					1		1
CONVERTIDOR_DE_TORQUE						8	8
TRANSMISION						7	7
VALVULA_CONTOL_DE_LEVANTE			1				1
<b>Total general</b>	<b>3</b>	<b>6</b>	<b>10</b>	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>19</b>	<b>42</b>

Fuente: Minera Escondida

Según la información recopilada desde Minera escondida los componentes intercambiables para el año 2023 fueron de 46 componentes Figura N°12

Figura N°11. Componentes intercambiados 2023

Año		2023						
Año Basic Start Date	(Varios elementos)	▼						
ACCION	CAMBIO	▼						
<b>Cuenta de Basic Start Date</b>	<b>Etiquetas de columna</b>	▼						
<b>Etiquetas de fila</b>	<b>DIRECCION</b>		<b>FRENOS</b>	<b>LEVANTE</b>	<b>MOTOR</b>	<b>TREN_DE_FUERZA</b>	<b>Total general</b>	
BOMBA_COMBUSTIBLE					1		1	
BOMBA_DE_ACEITE_TRANSMISION						8	8	
BOMBA_DE_FRENO			9				9	
BOMBA_DE_LEVANTE				4			4	
BOMBA_DIRECCION			1				1	
CONVERTIDOR_DE_TORQUE						9	9	
TRANSMISION						8	8	
<b>Total general</b>			<b>1</b>	<b>9</b>	<b>4</b>	<b>1</b>	<b>25</b>	<b>40</b>

Fuente: Minera escondida

Según la información recopilada desde Minera escondida los componentes intercambiables para el año 2024 fueron de 26 componentes Figura N°13.

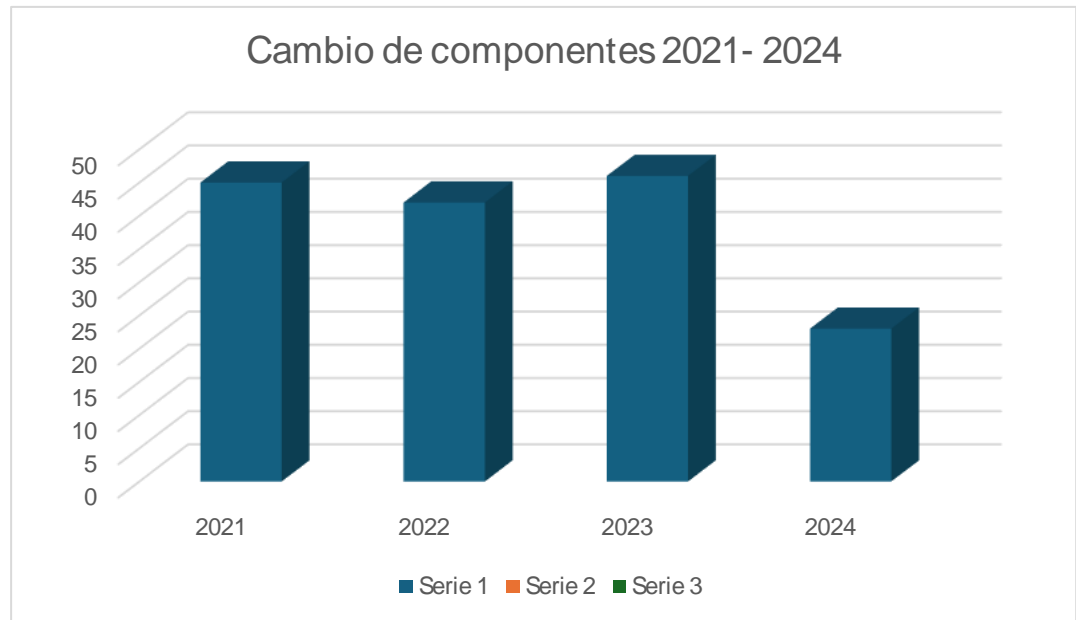
Figura N°12. Componentes intercambiados 2024

Año		2024						
Years	(Varios elementos)	▼						
ACCION	CAMBIO	▼						
<b>Cuenta de Basic Start Date</b>	<b>Etiquetas de columna</b>	▼						
<b>Etiquetas de fila</b>	<b>DIRECCION</b>		<b>FRENOS</b>	<b>LEVANTE</b>	<b>MOTOR</b>	<b>TREN_DE_FUERZA</b>	<b>Total general</b>	
BOMBA_ACEITE_TRANSMISION						3	3	
BOMBA_DE_LUBRICACION					1		1	
BOMBA_DE_DIRECCION			1				1	
BOMBA_DE_FRENO			4				4	
BOMBA_DE_LEVANTE				4			4	
BOMBA_ENFRIAMIENTO			1				1	
CONVERTIDOR_DE_TORQUE						1	1	
TRANSMISION						5	5	
VALVULA_CONTROL_DE_LEVANTE				3			3	
<b>Total general</b>			<b>1</b>	<b>5</b>	<b>7</b>	<b>1</b>	<b>9</b>	<b>23</b>

Fuente: Minera escondida

En síntesis la reducción de componentes intercambiables de aprecia en el grafico N°04.

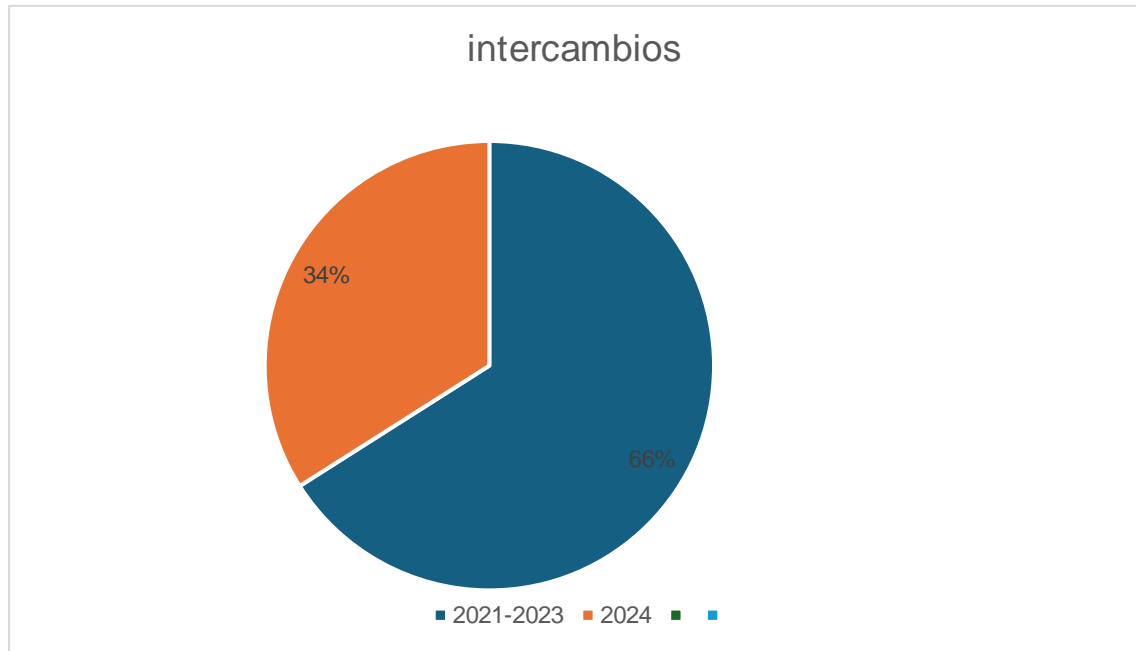
Gráfico n°4 Cambio de Componentes 2021-2024



Fuente: Elaboración propia.

Esta reducción corresponde a un 34% menor de intercambios a la media de 44 componentes intercambiadas comprendida para los periodos de los años 2021, 2022, 2023.

Gráfico N°5 Porcentaje de componentes periodo 2021-2024



Fuente: Elaboración Propia.

Respecto a los costos que implica intercambiar estos componentes de detallan en la tabla N°7.

Tabla N°06. Detalle de costo de intercambios

1	Componente	Valor	Cant. De personal	Tiempo de recambio
2	Transmision	us 90011	3 mec.	24 hrs.
3	Convertidor	us 64396	3 mec.	18 hrs.
4	Bomba de levante	us 8375	2 mec.	12 hrs.
5	bomba de frenos	us 2807	2 mec	8 hrs.
6	Bomba de direccion	us 9830	2 mec.	15 hrs.
7	Control levante y freno	us 24310	2 mec.	24 hrs.
8	Control de direccion	us 5901	2 mec.	8 hrs.
9	Bomba de direccion	us 8482	2 mec.	8 hrs.
10	Bomba de direccion	us 8179	2 mec.	8 hrs.

Fuente: Elaboración Propia.

### 4.3. Costos de la propuesta

Los costos asociados a la propuesta se pueden apreciar en la tabla N°8. El costo total de la propuesta de mejora de sistema de diálisis es de US 14.214 dólares. Donde el valor de la maquina dializadora tiene un precio de US 6.990 dólares, según los datos consignados con el fabricante la vida útil de la maquina es de 15 años, en total se necesitarían dos de estas máquinas.

Tabla N°07. Costos de mejora

COMPONENTE	PRECIO	DETALLE
maquina dializadora	US 6990,56	se necesitan dos, una para cada tipo de aceite
Filtros	US 233,02	por máquina, estos tienen una periodicidad de recambio cada dos meses aprox.
Total de la propuesta	US 14214,14	

Fuente Elaboración Propia

Los filtros tienen a tener una vida útil de 10 camiones, según los datos consignados para este estudio.

Tabla N°08. Reducción de costos asociados al proyecto

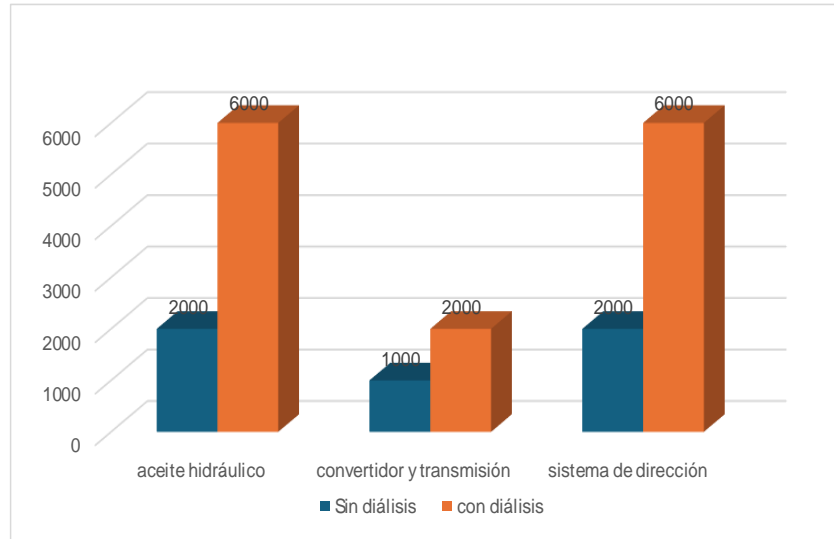
REDUCCIÓN DE COSTOS POR DIÁLISIS		
Aceite 30w	1,63 US X LITRO	(dirección convertidor y transmisión)
Aceite 10w	1,57 us x litros	(frenos y sistema de levante)
Estanque de Sistema de dirección	US 489,6	360 litros
Sistema de levante y frenos	US 2904,5	1850 litros
Sistema de convertidor y transmisión	US 854,08	628 litros
Reducción	4251,38	

Fuente Elaboración Propia

La sustitución del aceite hidráulico sin dializar se realiza cada 2000 hrs. En cambio si se aplica la diálisis este se realizaría cada 6000 hrs.

En el sistema de dirección es lo mismo. En convertidor y transmisión pasa de 1000 hrs, a 2000 hrs.

Gráfico N°04. Aumento de horas proceso de diálisis



Fuente. Elaboración Propia.

Según los datos recopilados desde Minera Escondida la detención de un camiones Caterpillar 797B conlleva los siguientes costos (tabla N°10). El costo por hora de detención es de US 580 dólares, la detención para reponer algún componente en los talleres de mantención es aproximada a 24 horas de mantención, por lo cual una detención promedio es de US 11.600 dólares.

Tabla N°9. Costo promedio de detención camión Carterpillar 797B

Costo hora	Tiempo promedio de mantención	Costo total de la detención
US 580	24 horas	US 11600

Fuente. Elaboración Propia.

Respecto a la reducción de costos asociado a la mejora del sistema de diálisis, la reducción de costos anuales de aprecian en la Tabla N°11. Considerando a los 37 camiones Carterpillar 797B administrados por MEL, la reducción de costos seria de US 337.567 dólares anuales.

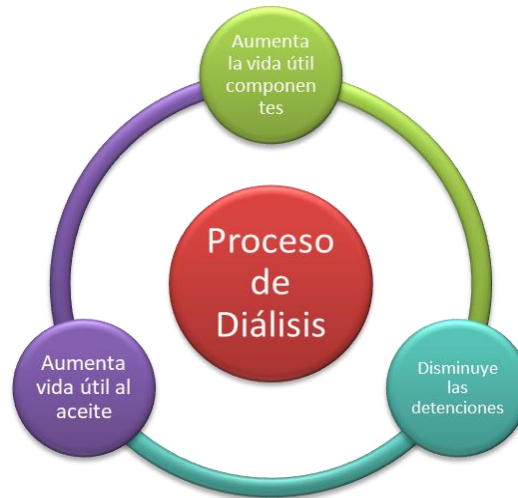
Tabla N°10. Ahorro producto de sistema de diálisis

SISTEMA	ANUAL	FACTOR	AHORRO TOTAL	TOTAL CAMIONES	TOTAL AHORRO
estanque de Sistema de dirección	489,6	2	979	37	36230
sistema de levante y frenos	2904,5	2	5809	37	214933
Sistema de convertidor y transmisión	854,08	4	3416	37	126404
				<b>Total</b>	<b>377567</b>

Fuente. Elaboración Propia.

Con los datos anteriormente expuestos podemos concluir, que existe una relación virtuosa entre las diferentes proceso desarrollados por mantención mina al aplicar el sistema de diálisis. Dado que repercuten en otras áreas de mantención reduciendo las paradas no programadas, como los cambios en los componentes del camión Carterpillar 797B, aumentando la vida útil del aceite con la reducción de costos asociados.

Figura N°13. Círculo virtuoso del proceso de diálisis en camión Carterpillar 797B



Fuente: Elaboración Propia.

#### 4.4. Relación Beneficio-Coste (B/C).

La relación Beneficio-Coste (B/C) compara de forma directa los beneficios y los costes. Para calcular la relación (B/C), primero se halla la suma de los beneficios descontados, traídos al presente, y se divide sobre la suma de los costes también descontados.

Para una conclusión acerca de la viabilidad de un proyecto, bajo este enfoque, se debe tener en cuenta la comparación de la relación B/C hallada en comparación con 1, así tenemos lo siguiente:

$B/C > 1$  indica que los beneficios superan los costes, por consiguiente el proyecto debe ser considerado.

$B/C=1$  Aquí no hay ganancias, pues los beneficios son iguales a los costes.

$B/C < 1$ , muestra que los costes son mayores que los beneficios, no se debe considerar.

Se ha proyectado el sistema de diálisis a 5 años, con una tasa de descuento del 5%.

El desembolso inicial corresponde a 31.456 dólares y para el año 0. Y contempla el costo de la máquina de diálisis y de los filtros

En la tabla N°12 denominada Flujo de ingresos corresponde a los ahorros que provocaría el sistema de diálisis según lo proyectado en la Tabla N°11.

Tabla N°11. Flujo de ingresos

	<b>A</b>
años	ahorro
2024	377567
2025	377567
2026	377567
2027	377567
2028	377567
Total	1887836

Fuente. Elaboración Propia.

Tabla N°12. Flujo de Egresos

	<b>B</b>
años	costos
2024	31456
2025	31456
2026	31456
2027	31456
2028	31456
Total	157281

Fuente. Elaboración Propia

La tabla N°13 denominada **Flujo de Egresos** contempla los costos de la máquinas y filtros anuales.

Tabla N°13. Flujo de efectivo neto

	<b>A-B</b>
años	Valor
2024	346111
2025	346111
2026	346111
2027	346111
2028	346111
Total	1730556

Fuente. Elaboración Propia

La Tabla N°14. Denominada Flujo de efectivo neto corresponde a la resta de las Tabla N°12 y la Tabla N°13.

En base a lo anterior nuestros datos son los siguientes;

Tabla N°14. Formulación de datos

f1=	346111
f2=	346111
f3=	346111
f4=	346111
f5=	346111
n=	5 años
i=	5% de tasa de interés (0,5)
IO	31.456

$$\Sigma i = 1.634.668,56$$

$$\Sigma c = 136.188,62$$

$$\Sigma c + Inversion = 167.644,76$$

Tabla N°15. Índice costo/beneficio.

<b>B/C</b>	<b>9,75</b>
------------	-------------

Fuente. Elaboración Propia

## V. Conclusiones.

En el transcurso de este trabajo de título se ha podido determinar la importancia de la mejora continua en la mantención a nivel de la operación de una planta minera.

Lograr la prevención y predicción es de vital importancia en una industria minera cada vez más competitiva y especializada, donde la producción, rentabilidad y la mejora continua, es el paradigma guía en todo ámbito, en este escenario el rol del ingeniero es central, donde la observación y las herramientas de análisis son sus mejores cartas.

Poner en marcha la propuesta de mejora aquí presentada implica un impacto en diferentes procesos y con ello una rentabilidad a largo plazo, dado que en base a los datos entregados se puede concluir que el proceso de sistema de diálisis repercute directamente en;

- Aumentar la vida útil de los componentes hidráulicos del camión Caterpillar 797B.
- Disminuye los costos asociados al cambio de los componentes del camión Caterpillar 797B.
- Disminuye las detenciones asociadas al sistema hidráulico del camión Caterpillar 797B.
- Mejora los indicadores de mantención de la empresa
- Aumenta la vida útil al aceite del sistema hidráulico del camión Caterpillar 797B.
- Disminuye los costos al aceite del sistema hidráulico del camión Caterpillar 797B.

En base a lo anterior se genera un círculo virtuoso en los que respecta a la mantención del camión Caterpillar 797B, como se ha podido apreciar en la Figura N°14 de esta investigación.

En base a los datos obtenidos se puede concluir que el proceso de sistema de diálisis no solo aumenta la vida útil de los fluidos, sino que aumenta también en la vida

útil de los componentes hidráulicos, y con ello las detenciones no programadas de los camiones Caterpillar 797B.

### **5.1. Conclusiones específicas.**

Respecto al diagnóstico de la situación actual, se concluyó en base al diagrama de Pareto Grafico N°02. En impacto que tenía el sistema hidráulico en las detenciones del camión Caterpillar 797B.

La implementación de la mejora redujo considerablemente el cambio de aceite de los camiones Tabla N°05 Y Tabla N°06, no obstante, también conllevó a la reducción de los intercambios de los componentes de la vida útil del camión. Figura N°12. La cual se redujo a un 36% en comparación al periodo 2021-2023. Disminuyendo las detenciones no programadas.

Respecto a la rentabilidad esta tiende a ser alta producto que los 31.456 dólares que implica la mejora tiene un índice de relación costo beneficio de 9 puntos, según las herramientas utilizadas.

Los anteriormente expuesto repercute directamente en tres áreas de mantenimiento del camión Caterpillar 797B.

## **Bibliografía**

➤ Aprimin. (2017.) PROPUESTAS DE MEJORAMIENTO DE PRODUCTIVIDAD EN LA MINERÍA. CHILE.

➤ Bravo J. (2011). GESTIÓN DE PROCESOS (ALINEADOS CON LA ESTRATEGIA). SANTIAGO DE CHILE, 4ª EDICIÓN.

➤ Mete, Marcos Roberto. (2014). VALOR ACTUAL NETO Y TASA DE RETORNO: SU UTILIDAD COMO HERRAMIENTAS PARA EL ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE PROYECTOS DE INVERSIÓN. Fides et Ratio - Revista de Difusión cultural y científica de la Universidad La Salle en Bolivia, 7(7), 67-85. Recuperado en 26 de noviembre de 2019, de [http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2071-](http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2071-)

➤ Sánchez, Benito (2017) DISEÑO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO MEDIANTE METODOLOGÍA RCM PARA UNA LÍNEA DE VALORIZACIÓN DE PEBD. SEVILLA. ESPAÑA.