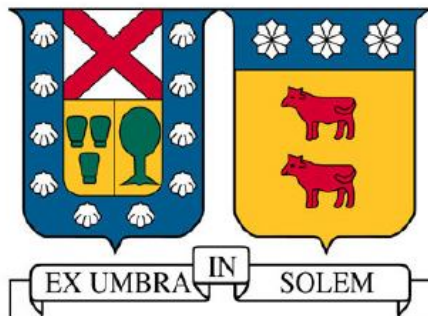


UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
DEPARTAMENTO DE INDUSTRIAS
VALPARAÍSO – CHILE



ANÁLISIS DE DATOS EN SERVICIO DE
CONFIABILIDAD PRESTADO A UNA PLANTA DE
REMOCIÓN DE RIPIOS

MATÍAS PATRICIO DÍAZ VALENZUELA

MEMORIA DE TITULACIÓN PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO
CIVIL INDUSTRIAL

PROFESOR GUÍA: **FREDY KRISTJANPOLLER RODRÍGUEZ**
PROFESOR CORREFERENTE: **MÓNICA LÓPEZ CAMPOS**
TUTOR EMPRESA: **HUMBERTO LÓPEZ CAUSA**

AGOSTO - 2016

INDICE

Problemática	4
Tema	4
CAPÍTULO I OBJETIVOS.....	5
1.1 Objetivo general.....	5
1.2 Objetivos específicos.....	5
1.3 Alcance	6
1.3.1 Rango de acción	6
1.3.2 Tipo.....	6
CAPÍTULO II ANTECEDENTES	7
2.1 La ingeniería de confiabilidad en la industria.....	7
2.2 Descripción de las empresas	8
2.2.1 Bureau Veritas.....	8
2.2.2 Codelco	9
2.3 Ubicación de la planta	9
2.4 Equipos principales de la planta de remoción ripios.....	10
2.4.1 Rotopala Recuperadora.....	10
2.4.2 Correa Rotopala Recuperadora 210-ME-01	11
2.4.3 Tolva Móvil Correa 210-BM-05	12
2.4.4 Correa Recuperadora Móvil con Tolva Móvil 210-CV-05	13
2.4.5 Tolva Móvil Correa 210-BM-06.....	14
2.4.6 Correa Recuperadora Fija con Tolva Móvil 210-CV-06.....	15
2.4.7 Correa Transferencia Ripio 220-CV-01	15
2.4.8 Correa de Alimentación Ripios 220-CV-02	16
2.4.9 Tripper Correa de Alimentación Ripios 220-BM-02	17
2.4.10 Correa de Alimentación Ripios 220-CV-03.....	18
2.4.11 Correa Apiladora Móvil Ripios 220-CV-04	18
2.4.12 Tripper Correa Apiladora Móvil Ripios 220-BM-04	19
2.4.13 Correa Repartidora Ripios 220-CV-05	20

CAPÍTULO III	MARCO TEÓRICO	22
3.1	Introducción	22
3.2	Teoría de la confiabilidad	22
3.3	Mantenibilidad	26
3.4	Disponibilidad	27
3.5	Ley de Weibull.....	28
3.6	Diagrama Jack Knife	31
3.7	Configuraciones lógicas de seguridad de funcionamientos.....	34
3.8	Registro de datos y adquisición de datos.....	35
3.9	Ajustes de curvas y ciclo de vida	36
3.10	Indicadores de mantenimiento	36
3.11	Análisis de criticidad	37
3.12	Oportunidades de mejora.....	37
3.12.1	Mejoras en la gestión	37
3.12.2	Mejoras a través de proyectos	38
CAPÍTULO IV	METODOLOGÍA DE ANÁLISIS	39
4.1	Determinación de la configuración lógica funcional del sistema	39
4.2	Validación de datos	39
4.3	Obtención de parámetros, ciclo de vida e indicadores de mantenimiento	39
4.4	Focos de acción mediante diagrama Jack Knife	40
4.5	Flujo del análisis de datos que aporta a la gestión de activos.....	40
CAPÍTULO V	CONFIGURACIÓN LÓGICA FUNCIONAL DE SEGURIDAD	41
5.1	Flujo del proceso de la planta	41
5.2	Equipos críticos.....	43
CAPÍTULO VI	ANÁLISIS DE DATOS POR EQUIPOS	45
6.1	Correa Recuperadora Móvil con Tolva Móvil210CV05.....	45
6.1.1	Estimación de los parámetros de Weibull.....	45
6.2	Correa Recuperadora Fija con Tolva Móvil210CV06	47
6.2.1	Estimación de los parámetros de Weibull.....	47
6.3	Rotopala recuperadora.....	49
6.3.1	Estimación de los parámetros de Weibull.....	49

6.4 Modelamiento del comportamiento de los equipos evaluados	51
6.4.1 Confiabilidad modelada	51
6.4.2 Mantenibilidad modelada	54
6.4.3 Tasa de falla modelada	57
6.4.4 Disponibilidad	59
CAPÍTULO VII OPORTUNIDADES DE MEJORAS EN EQUIPOS CRÍTICOS....	61
7.1 Priorización de focos de acción	61
7.1.1 Diagrama Jack Knife correa 210CV05.....	61
7.1.2 Diagrama Jack Knife correa 210CV06.....	63
7.1.3 Diagrama Jack Knife Rotopala	65
7.2 Medidas correctivas.....	67
7.2.1 Medidas correctivas correa 210CV05	68
7.2.2 Medidas correctivas correa 210CV06	70
7.2.3 Medidas correctivas correa Rotopala	71
7.3 Seguimiento de las medidas correctivas propuestas en el 2013	72
CAPITULO VIII DESCRIPCIÓN DE ACTIVIDADES DEL SERVICIO.....	76
8.1 Necesidad de contar con la descripción del servicio	76
8.2 Ciclo de trabajo del mantenimiento Minera Sur	77
8.3 Flujo de análisis de datos para el ciclo del servicio de Confiabilidad.....	80
CAPITULO IX CONCLUSIONES	85
CAPITULO X BIBLIOGRAFÍA.....	87
CAPITULO XI ANEXOS.....	88
11.1 Anexo 1.....	88
11.2 Anexo 2.....	92
11.3 Anexo 3.....	95
11.4 Anexo 4.....	97
11.5 Anexo 5.....	102
11.6 Anexo 6.....	106
11.7 Anexo 7.....	110
11.8 Anexo 8.....	112
11.9 Anexo 9.....	114

Problemática

La empresa Bureau Veritas se encuentra administrando el contrato de confiabilidad para la planta de tratamientos de minerales de pila de Minera Sur Codelco Chuquicamata desde el año 2010, y bien es sabido que prestar servicios eficientes y eficaces aumentan la probabilidad de que se mantengan en el tiempo contratados, inclusive puede llevar a poder participar en otras licitaciones, ya que se puede contar con buenas referencias del servicio prestado.

El servicio de confiabilidad no ofrece técnicas adecuadas basadas en probabilidades y estadística, por lo cual incorporarlas aportaría una nueva gran virtud a los servicios ya prestados por la empresa, esto acompañado de una descripción de los pasos a seguir, el cual pueda ser transmitido por Bureau Veritas en las licitaciones que se presente, ilustrando seriedad y orden a la oferta.

Tema

Análisis RAM (Reliability, Availability, Maintainability) y focos de acción a implementar en un servicio de confiabilidad de Bureau Veritas, prestado para una planta de remoción de ripios perteneciente a Minera Sur Codelco.

CAPÍTULO I OBJETIVOS

1.1 Objetivo general

Realizar proceso de análisis RAM, esto en conjunto a una propuesta descriptiva de los pasos a seguir en el servicio de confiabilidad que presta Bureau Veritas a Codelco Chuquicamata, para la planta de remoción de ripios perteneciente a Minera Sur, obteniendo mejoras para el contrato y de la gestión de los activos.

1.2 Objetivos específicos

- Identificación de los equipos en donde se realizara el análisis, además de la configuración lógica de seguridad de funcionamiento
- Obtener y analizar datos históricos de fallas en los equipos, para poder determinar parámetros de la ley de Weibull e indicadores de mantenimiento.
- Construir gráficos de la mantenibilidad, confiabilidad y tasa de fallas, para posteriormente inferir del comportamiento de los equipos
- Identificar focos de acción en equipos críticos mediante diagrama Jack Knife.
- Concluir sobre análisis realizado y destacar posibilidades de mejoras a implementar.
- Proponer descripción del servicio propuesto, detallando pasos a seguir y metodología en cada uno de los pasos.

1.3 Alcance

1.3.1 Rango de acción

El rango de acción es de carácter departamental, ya que este estudio está directamente relacionado con el área de confiabilidad.

Aplicado a una planta de remoción de ripios donde se apilan los desechos del proceso perteneciente a Minera Sur Codelco, la información utilizada es real basándose en datos del año 2013 tales como; tiempos para reparar, tiempos entre falla, causas de fallas, con estos datos se logra la base del cálculo a través de un análisis basado en estadística mediante técnicas de mantenimiento centrado en confiabilidad.

1.3.2 Tipo

Se han realizado estudios previos de confiabilidad y políticas de mantenimiento en variadas compañías por lo cual es un análisis descriptivo de los resultados del proceso.

La información recopilada es proporcionada directamente por el administrador de contrato de confiabilidad la cual viene recopilada por el personal que se encuentra trabajando directamente con los equipos como lo son los mantenedores y supervisores, luego es integrada al ERP (SAP), con los datos históricos se puede llegar a un análisis de cada equipo como lo son; correas transportadoras, trippers, tolvas móviles, chutes de traspaso, rotopala, etc. y proponer cambios en su estructura y forma de mantener para luego entregar propuestas como cambio en los planes de mantenimiento e identificación detallada de componentes críticos entre otras.

CAPÍTULO II ANTECEDENTES

2.1 La ingeniería de confiabilidad en la industria

La actividad industrial está sujeta a competencias crecientes globalizadas, y no menor es el caso de la minería la cual en Chile representa ingresos importantes para el país y los proyectos planteados hacia el futuro siguen en aumento, esto obliga a la búsqueda permanente de fórmulas de competitividad, las cuales abarcan la reducción de costos y la consecución de calidad.

El efecto de los costos propios del mantenimiento, asociados con la mano de obra, materiales, repuestos y terceros, pueden superar el 30% de los costos de producción en empresas intensivas en activos físicos, sin considerar aquellos otros inducidos como los costos de la improductividad, de la no calidad, del lucro cesante, etc., que pueden llegar a duplicar los costos propios del mantenimiento en sistemas de producción críticos, debido a una inadecuada gestión y mantenimiento de los activos que afectan la seguridad de funcionamiento de los equipos e instalaciones.

En este complejo entorno un enfoque que contribuye a alcanzar la excelencia empresarial es la Confiabilidad Operacional, que es la capacidad de la empresa, a través de los procesos, las tecnologías y las personas, para cumplir con su propósito dentro de los límites del diseño y de las condiciones operacionales.

La adecuada gestión y mantenimiento de los activos, principalmente en actividades industriales intensivas en el uso de los equipos, tiene un rol significativo en la Confiabilidad Operacional. Su efecto sobre la competitividad, no siempre está asumido al interior de las empresas debido fundamentalmente por una cultura organizacional que aún se caracteriza por considerar el mantenimiento como una unidad de costos más que una alternativa para mejorar los resultados del negocio.

En la actualidad, gran parte de las grandes empresas a nivel mundial están cambiando su visión de la gestión y el mantenimiento de los activos, superando su mirada parcial y

de corto plazo de considerarlo sólo como un costo para visualizarlo como una importante oportunidad para mejorar la Confiabilidad Operacional, por lo que la participación de la Ingeniería de Confiabilidad en la gestión y en el desarrollo de nuevos proyectos es algo que está siendo cada vez más considerada.

No necesariamente la ingeniería de Confiabilidad ha sido bien interpretada, implementada y desarrollada en las empresas, debido fundamentalmente a que las competencias de los mantenedores ha estado tradicionalmente limitada a ejecutar mantenimiento más que al cómo evitarlo a través de una lógica en la que prevalezca la prevención y el mejoramiento genético de equipos y sistemas.

La gestión del mantenimiento debe profesionalizarse cada vez más, se debe abandonar el concepto de *problema asumido* para pasar a los permanentes análisis de *reingeniería* de mantenimiento, los cuales cuestionan de forma permanente los problemas que se presentan en una planta para indagar la forma de evitar su aparición o al menos estudiar la mejora de la eficiencia, quizás no tan firmemente para disminuir los costos directos, sino para reducir la incidencia en la producción como lo son los costos por indisponibilidad [1].

En particular la Empresa Bureau Veritas ha extendido su contrato con Codelco en confiabilidad para Minera Sur, es por ello que la inquietud por ir mejorando el manejo y control de sus actividades se ha hecho una necesidad a mediano plazo, no solo se pretende entregar indicadores de los procesos sino más bien ir introduciendo nuevas propuestas las cuales consoliden esta unión en el tiempo y aporten una retroalimentación para con Bureau Veritas.

2.2 Descripción de las empresas

2.2.1 Bureau Veritas

Bureau Veritas fue fundada en Amberes, Bélgica en 1828, la Oficina de Información para Seguros Marítimos (Nombre hasta 1829) nació para dar a las aseguradoras

marítimas información actualizada sobre las primas vigentes en los principales centros mercantiles y facilitar información precisa acerca del estado de los buques y su equipamiento. Actualmente la empresa se encuentra presente en 140 países y realiza amplias actividades en diversas áreas como lo son los servicios gubernamentales, el comercio exterior, la certificación de productos, la construcción, energía y procesos, transporte y logística, bienes de consumo y minería entre otras [2].

2.2.2 Codelco

La Corporación Nacional del Cobre (CODELCO) es una empresa del gobierno de Chile, su negocio principal es la exploración, desarrollo y explotación de recursos mineros de cobre y subproductos, es número uno en toneladas producidas de cobre a nivel mundial y posee el 9% de las reservas mundiales del metal rojo. La compañía ejecuta sus operaciones a través de seis divisiones mineras más la Fundición y Refinería Ventanas, además participa en la propiedad de importantes empresas mineras [3].

2.3 Ubicación de la planta

El complejo minero de Chuquicamata está ubicado a 15 [km] de la ciudad de Calama en la región de Antofagasta, Chile, a 2870 [m] sobre el nivel del mar, cuenta con dos minas donde el tipo de explotación es a rajo abierto, “Chuquicamata” y “Mina Sur”, la planta de tratamiento de minerales de pila (PTMP) se encuentra a pocos metros de la Mina Sur.



Figura 2.1 Imagen satelital del complejo minero Chuquicamata

Fuente: Codelco

2.4 Equipos principales de la planta de remoción ripios

Es necesario identificar cada equipo que posee la planta para que sean analizados de forma particular antes de comenzar a emitir juicios, más tarde se puede determinar la criticidad de cada uno de ellos en el proceso, a continuación se enumeran los equipos relevantes de la planta.

2.4.1 Rotopala Recuperadora

Equipo que da comienzo al proceso de remoción de ripios de la planta al extraer el ripio de las pilas ya utilizadas hacia las correas transportadoras, esto mediante la rotación de su estructura circular en la cual van insertos capachos, removiendo el material de las pilas y transportándolo al siguiente equipo.



Imagen 2.1 Rotopala Recuperadora

Fuente: Propia

2.4.2 Correa Rotopala Recuperadora 210-ME-01

Una vez la rotopala extrae el ripio de las pilas este es conducido inmediatamente hacia la correa que acompaña a la rotopala, cabe mencionar que el sistema rotopala - correa rotopala recuperadora son móviles como se puede apreciar en la imagen 5.2, esto por un sistema de orugas los cuales desplazan el conjunto direccionándolo horizontalmente a una velocidad adecuada para remover el ripio de las pilas a su ancho en sincronización con el siguiente equipo el cual también posee la habilidad de desplazarse.



Imagen 2.2 Correa Rotopala Recuperadora

Fuente: Propia

2.4.3 Tolva Móvil Correa 210-BM-05

Una vez la correa recuperadora de la rotopala recibe el ripio éste es dirigido por ella hacia la tolva móvil (Hopper), la cual direcciona la caída del ripio hacia el siguiente equipo para continuar con el proceso de remoción, esta tolva es independiente al movimiento que posee el conjunto rotopala – correa recuperadora, por lo cual es sincronizada mediante GPS para mantener el mismo desplazamiento, por otra parte cabe mencionar que se desplaza a través del puente mediante línea de rodados de acero (rieles).



Imagen 2.3 Tolva móvil correa

Fuente: Propia

2.4.4 Correa Recuperadora Móvil con Tolva Móvil 210-CV-05

La correa recuperadora móvil como su nombre lo indica tiene la habilidad de desplazarse de forma horizontal para dejar sincronizado el traspaso de material entre la rotopala y la tolva móvil que circula por el puente de la correa (puente recuperador), ésta es una estructura soportada en orugas la cual necesita de altura en diferencia de las correas normales para poder trabajar junto a la rotopala en la remoción de ripios que dejan las pilas de lixiviación ya utilizadas, las cuales fueron apiladas en el proceso anterior de chancado y apilamiento.



Imagen 2.4 Correa Recuperadora Móvil con Tolva Móvil

Fuente: Propia

2.4.5 Tolva Móvil Correa 210-BM-06

La tolva móvil con correa, cumple la función de seguir la culata del puente anterior recibiendo la descarga del material removido desde las pilas de ripio, ésta también tiene la capacidad de desplazarse pero mediante sistema de rodados de acero, este desplazamiento lo realiza sobre la correa que sigue para poder descargar sobre ella de forma eficiente el material removido a lo largo de la correa.



Imagen 2.5 Tolva Móvil Correa

Fuente: Propia

2.4.6 Correa Recuperadora Fija con Tolva Móvil 210-CV-06

La correa recuperadora fija es una de las correas más extensas del proceso, es la cual recibe el material descargado de la tolva móvil en cualquier ubicación que se encuentre la rotopala removiendo material, tiene la función de trasladar el material hacia un costado del territorio asignado para el acopio del material, ésta incluso pasa por túneles para así evitar los desniveles del terreno eliminando las inclinaciones y así aprovechar de mejor forma la energía utilizada en ella para su funcionamiento.



Imagen 2.6 Correa Recuperadora Fija con Tolva Móvil

Fuente: Propia

2.4.7 Correa Transferencia Ripio 220-CV-01

Una vez el material llega a la culata de la correa recuperadora fija con tolva móvil es depositado mediante un buzón de traspaso hacia la correa de transferencia ripios, la cual se encarga de desplazar el ripio a lo ancho del terreno en donde se encuentran las pilas cumpliendo una función similar a la de la correa anterior en el traslado de material hasta su acopio final.



Imagen 2.7 Correa Transferencia Ripio

Fuente: Propia

2.4.8 Correa de Alimentación Ripios 220-CV-02

La correa de alimentación ripios se encarga de transportar el material a lo largo del terreno en donde se acopia el ripio de forma final, sobre todo el largo de la correa se desplaza un tripper, el cual recibe el material a acopiar para traspasarlo a las correas finales, la longitud de esta correa al igual que la correa recuperadora fija con tolva móvil es bastante extensa en comparación a las demás correas, esto debido a que debe acompañar al puente spreader en todo su desplazamiento para poder acopiar el material removido de las pilas.



Imagen 2.8 Correa de Alimentación Ripios

Fuente: Propia

2.4.9 Tripper Correa de Alimentación Ripios 220-BM-02

El tripper correa de alimentación ripios es el cual se desplaza mediante línea de rodados por todo el largo de la correa de alimentación ripios, su función principal es traspasar desde esta correa el material hacia el puente spreader para luego ser depositado en el acopio final, esta correa es una de las más extensas en el proceso por lo cual también con gran cantidad de componentes propensos a fallar.



Imagen 2.9 Tripper Correa de Alimentación Ripios

Fuente: Propia

2.4.10 Correa de Alimentación Ripios 220-CV-03

La correa de alimentación ripios es el medio de transferencia de material entre el tripper correa de alimentación ripios y el puente spreader, es necesaria su existencia debido a la inclinación que existe en el terreno y el paso de vehículos que necesita el área, esta correa es una de las más cortas de todo el proceso remoción ripios.



Imagen 2.10 Correa de Alimentación Ripios

Fuente: Propia

2.4.11 Correa Apiladora Móvil Ripios 220-CV-04

La correa apiladora móvil ripios se encuentra sobre una estructura metálica llamada puente spreader o apilador, la cual también cuenta con orugas que transforman a esta estructura en un equipo móvil, cabe destacar que cada oruga se puede desplazar de forma independiente y todas ellas sincronizadas a la vez, este equipo cumple la función de transportar material hacia el acopio del botadero y a su vez de sostener el tripper apilador de material, ya que también cuenta con línea de rodado sobre su estructura por la cual circula el tripper apilador, cabe mencionar que a pesar de que es una estructura móvil, su longitud no es despreciable, por lo cual la sincronización de sus orugas al desplazarse se transforma en un tema realmente relevante.



Imagen 2.11 Correa Apiladora Móvil Ripios

Fuente: Propia

2.4.12 Tripper Correa Apiladora Móvil Ripios 220-BM-04

El tripper correa apiladora móvil ripios es el encargado de formar el botadero desplazándose a lo largo del puente spreader, dirigiendo la caída de la carga a través de la última correa apiladora. El tripper se desplaza a través del puente spreader a través de línea de rodados de acero a una velocidad de 2 [km/h] aproximadamente dependiendo de las necesidades del operador, a diferencia de la tolva móvil del puente recuperador, este equipo no viaja sincronizándose con el equipo que lo sigue en el proceso, sino más bien lo soporta.



Imagen 2.12 Tripper Correa Apiladora Móvil Ripios

Fuente: Propia

2.4.13 Correa Repartidora Ripios 220-CV-05

La correa repartidora ripios se encuentra sobre el tripper de correa apilador móvil ripios, recibiendo desde un buzón de descarga el material a apilar en el botadero, esta correa cumple la función de cambiar el sentido de desplazamiento de la carga en 90 grados para que esta se descargue en el acopio del material por gravedad, tal como se observa en la imagen anterior, es la correa de menor longitud del proceso, pero no por ello menos importante, ya que es el último equipo el cual culmina con la remoción de ripio.



Imagen 2.13 Correa Repartidora Ripios

Fuente: Propia

CAPÍTULO III MARCO TEÓRICO

3.1 Introducción

La confiabilidad comprende variadas teorías con modelos matemáticos y estadísticos, acompañados de procedimientos y prácticas para los procesos que ayudan de forma óptima al análisis de datos, para luego estudiar los componentes y sistemas, y así llegar a las estrategias de mantenimiento adecuadas para cada equipo, con esto se puede diseñar un programa de mantenimiento eficiente decidiendo por la mejor alternativa que minimiza los costos de las instalaciones.

Mediante la teoría de la confiabilidad podremos predecir el comportamiento operacional, ayudando a decidir por aquellas mejores soluciones, ya sea a nivel de desarrollo del proyecto como durante el ejercicio de este.

3.2 Teoría de la confiabilidad.

Las fallas presentes en los equipos pueden ser tanto asignables como no, las fallas asignables pueden ser solucionadas a través del control de las causas que las originan en cambio las no asignables son propias del componente por lo cual necesitan un análisis más complejo e individual, ya que su variabilidad es propia.

Debido a que el tiempo en el cual un elemento falla puede ser modelado como una variable aleatoria, es posible identificar la confiabilidad como:

“La probabilidad de que un elemento va a funcionar a un nivel de uso (o tipo), sin fallar, durante un tiempo determinado y bajo condiciones preestablecidas”.

Dentro de las posibilidades que existen para incrementar la confiabilidad está la de adquirir mejores equipos o la modificación en la genética de los equipos que mejoren la continuidad de operación de las instalaciones. Estas posibles soluciones traen consigo

nuevas inversiones pero a la vez por el aumento en la confiabilidad una disminución en los costos asociados a las fallas y su vez se requieren menor cantidad de repuestos y se disminuye la probabilidad de la escasez de producción, por lo cual en el largo plazo termina siendo conveniente cuando las decisiones han sido las acertadas.

La función de falla “f(t)” representa “la probabilidad de que un elemento falle en un momento de tiempo “t” cualquiera”, esta función constituye la probabilidad acumulada de falla “F(t)”, la cual cuantifica la probabilidad que el equipo (o sistema) falle en un intervalo de tiempo [0,t], y además muestra el área de la curva que representa, gráficamente, la confiabilidad “R(t)”.

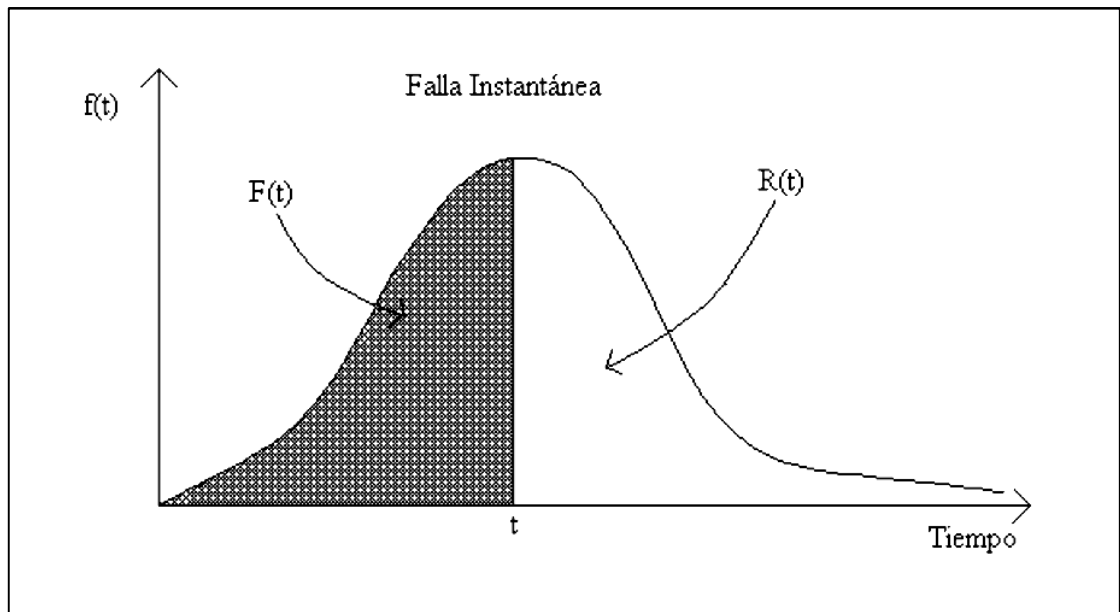


Figura 3.1 Representación de función de densidad probabilística de falla
 Fuente: A. Arata, R. Stegmaier, *Apuntes de Ingeniería de Plantas Industriales*

De la Figura 3.1, matemáticamente se representa la probabilidad acumulada de falla como:

$$F(t) = \int_0^t f(t)dt \quad [3.1]$$

Además la confiabilidad queda expresada como:

$$R(t) = \int_t^{\infty} f(t)dt = 1 - \int_0^t f(t)dt = 1 - F(t) \quad [3.2]$$

Otro indicador importante de la seguridad de funcionamiento de un sistema es el tiempo medio entre fallas para equipos reparables o tiempo medio hasta la falla para los no reparables. Por definición el MTTF (*Mean Time To Failure*) o MTBF (*Mean Time Between Failure*) viene dado por.

$$MTBF \text{ (o } MTTF) = \int_0^{\infty} t \cdot f(t)dt = \int_0^{\infty} R(t)dt \quad [3.3]$$

La confiabilidad puede ser traducida a través de modelos de probabilidad, el tipo de modelo dependerá de la etapa de vida en que se encuentre el equipo, elemento o componente. La siguiente imagen ilustra las distintas Fases en la vida de los equipos, elementos o componentes.

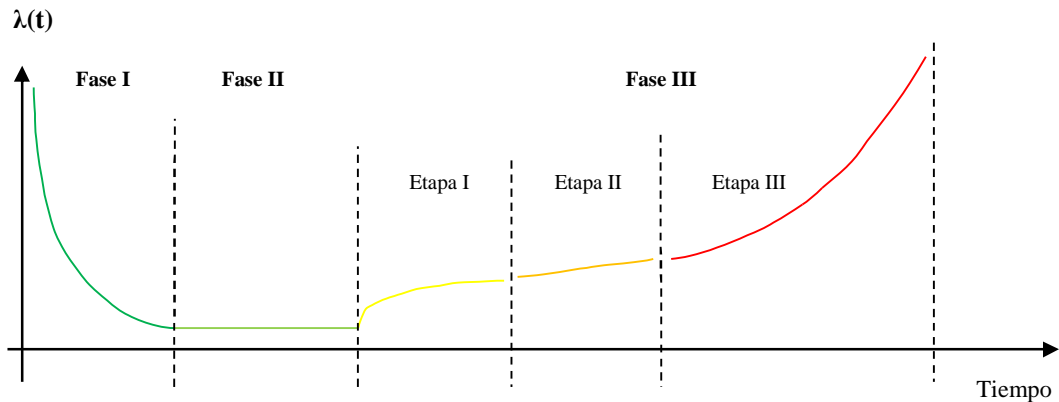


Figura 3.2 Ciclo de vida del equipo, elemento o componente

Fuente: Propia

En donde cada fase representa:

- Fase I, de rodaje o mortalidad infantil, fallas normalmente debido a defectos de materiales, diseños deficientes, montajes inadecuados, mantenimientos incorrectos, calidad deficiente en elementos y repuestos, etc.
- Fase II, de madurez o de vida útil, las fallas en esta fase se originan básicamente por operación indebida en los equipos, sobrecarga en la capacidad de producción, cambios constantes en las condiciones de funcionamiento, etc. En general se deben a causas inmediatas o básica causadas por condiciones técnicas de equipos o de recursos humanos.
- Fase III, de envejecimiento, las fallas en esta fase se fundamentan en el desgaste de los elementos, envejecimiento o la pérdida de funcionalidad. Son causadas por el exceso de uso, desuso o abuso, se generan por las inclemencias del entorno. Es la fase de sustitución o reposición de los dispositivos y máquinas que llegan a la parte derecha de la curva cuando su mantenimiento es más costoso que reemplazarlos o cuando su funcionalidad es más cara que sustituirlos por nuevos.

También de la figura anterior representa la tasa de falla o “ $\lambda(t)$ ” o también conocida como tasa de riesgo de falla, como función de la etapa en que se encuentra el elemento. La tasa de falla se define como:

“La probabilidad de tener una falla del sistema o del elemento entre los instantes t y $(t+\Delta t)$ a condición que el sistema haya sobrevivido hasta el tiempo t ” [4].

El comportamiento a nivel instantáneo de la tasa de fallase expresa a nivel matemático de la siguiente forma:

$$\lambda(t)dt = \frac{F(t + dt) - F(t)}{R(t)} = \frac{dF(t)}{1 - F(t)} \quad [3.4]$$

Luego al integrar y aplicar la constante “e” (número de Euler) se obtiene:

$$e^{-\int_0^t \lambda(t)dt} = 1 - F(t) \quad [3.5]$$

Utilizando las ecuaciones [3.2] y [3.5] la confiabilidad queda expresada como:

$$R(t) = e^{-\int_0^t \lambda(t)dt} \quad [3.6]$$

Por lo cual la probabilidad acumulada de falla es:

$$F(t) = 1 - e^{-\int_0^t \lambda(t) dt} \quad [3.7]$$

A su vez la función de falla resulta ser:

$$f(t) = \lambda(t) \cdot e^{-\int_0^t \lambda(t) dt} \quad [3.8]$$

De la ecuación anterior queda en manifiesto la tasa de falla como:

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} \quad [3.9]$$

En definitiva conociendo una de las cuatro funciones anteriores, $R(t)$, $F(t)$, $f(t)$ o $\lambda(t)$, es posible encontrar las demás. Por otra parte en virtud del ciclo de vida del equipo es posible modelar el comportamiento de cada etapa de la tasa de falla a través de modelos de probabilidad que se ajustan de mejor forma para cada una de estas fases, como lo son la distribución *Weibull*, *Exponencial Negativa* y la *Normal* entre otras.

3.3 Mantenibilidad

La mantenibilidad está definida por “*la probabilidad de que un elemento, máquina o dispositivo, puedan regresar nuevamente a su estado de funcionamiento normal después de una avería, falla o interrupción productiva (funcional o de servicio), mediante una reparación que implica realizar unas tareas de mantenimiento, para eliminar las causas inmediatas que generan la interrupción*”. La normalidad del sistema al restaurarse su funcionalidad se refiere a su cuerpo y a su función [5].

No debe confundirse mantenibilidad con MTTR (Mean Time to Repair) que es el tiempo medio para reparar, esto debido a que en este concepto se olvida la variabilidad que concentran los esfuerzos por dejar el sistema operativo nuevamente como lo son:

- Tiempo de reparación
- Tiempo de localización de la falla

- Tiempo de desmontaje
- Tiempo de obtención de las piezas y materiales necesarios
- Tiempo de reparación propiamente tal
- Tiempo de ajuste y de calibración
- Tiempo de montaje
- Tiempo de comprobación del buen funcionamiento del sistema reparado
- Tiempo de limpieza

La mantenibilidad responde a condiciones clásicas de variabilidad, lo que permite su caracterización a través de distribuciones de probabilidad conocidas (*Weibull*, *Exponencial Negativa*, *Log normal*), por lo cual la variabilidad en los tiempos de reparación queda expresada como sigue.

$$MTTR = \int_0^{\infty} Tr \cdot f(Tr) dTr \quad [3.10]$$

En caso contrario a MTBF (o MTTF) no se utilizan los tiempos de buen funcionamiento, sino los tiempos utilizados para que el equipo o elemento pase de la no funcionalidad a la funcionalidad (tiempos de reparación). Para este estudio se decide evaluar la mantenibilidad con la distribución Weibull, teniendo en consideración que la distribución Log Normal es la más representativa.

3.4 Disponibilidad

La disponibilidad se define matemáticamente como “razón que se establece en el tiempo en que el sistema está, realmente, disponible para el funcionamiento y el tiempo total, que incluye el tiempo anterior más el tiempo de reparación”. Por ende la disponibilidad se obtiene de la siguiente forma.

$$Disponibilidad = \frac{UP}{UP + DT} \quad [3.11]$$

Donde UP (up time) corresponde al tiempo de buen funcionamiento del sistema o equipo y DT (down time) corresponde al tiempo de no funcionamiento del sistema o equipo.

Considerando los conceptos de MTBF y MTTR ya mencionados es posible también determinar una disponibilidad esperada o inherente, la cual se obtiene después de varios ciclos de operación, esta disponibilidad esperada se obtiene como sigue a continuación.

$$\text{Disponibilidad Esperada} = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \quad [3.12]$$

Cabe mencionar que existen variadas formas de obtener disponibilidad como lo son la disponibilidad alcanzada, la disponibilidad operacional, la disponibilidad operacional generalizada y otras de las cuales no se hará mención.

3.5 Ley de Weibull

La distribución Weibull es la más utilizada por la alta representación que entrega de los elementos en todo su ciclo de vida, es por esto que será ella la que se tomara en cuenta para realizar los siguientes cálculos de los parámetros de la ley.

Confiabilidad:

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\alpha}\right)^\beta} \quad [3.13]$$

Función de densidad de probabilidad:

$$f(t) = \frac{\beta}{\alpha} \cdot \left(\frac{t-\gamma}{\alpha}\right)^{(\beta-1)} \cdot e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\alpha}\right)^\beta} \quad [3.14]$$

Tasa de falla:

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} = \frac{\beta}{\alpha} \cdot \left(\frac{t-\gamma}{\alpha}\right)^{(\beta-1)} \quad [3.15]$$

Esperanza en tiempo de buen funcionamiento:

$$E(t) = \gamma + \alpha \cdot \Gamma \cdot \left(\frac{\beta + 1}{\beta}\right) = MTBF \quad [3.16]$$

Donde:

α = Es la constante de escala, alargamiento de la distribución en el eje del tiempo.

β = Es la constante de forma; este parámetro controla la forma de la distribución.

Sí: $\beta < 1$, $\lambda(t)$ es decreciente

$\beta = 1$, $\lambda(t)$ es constante

$\beta > 1$, $\lambda(t)$ es creciente

γ = La constante de localización, es expresada en las mismas unidades de t y define el punto de partida o el origen de la distribución.

Γ = Función gamma

t = Tiempo de buen funcionamiento

Antes de comenzar a obtener los valores de los parámetros de la función de Weibull es necesario construir la función de falla acumulada utilizando el método de rangos promedios a través de la aproximación de *Bernard*.

$$F(t_j) = \frac{K_j + 0,3}{N_o - 0,4} \quad [3.17]$$

Donde:

$F(t_j)$ = Probabilidad de fallas acumulada al tiempo t_j

K_j = Número de eventos (fallas) que han ocurrido hasta t_j

N_o = Número total de eventos

Una vez obtenida la probabilidad de fallas acumulada es posible también obtener la confiabilidad del equipo, elemento o sistema de la forma ya mencionada.

$$R(t) = 1 - F(t) \quad [3.18]$$

Seguidamente, ahora es posible obtener los parámetros de Weibull como ya se ha mencionado, aun así antes es necesario construir la función en su forma lineal desde la distribución acumulada de falla aplicando logaritmo natural a ambos lados de la ecuación.

$$F(t) = 1 - R(t) \quad [3.19]$$

$$\ln(1 - F(t)) = - \left(\frac{t}{\alpha}\right)^\beta \quad [3.20]$$

$$\ln\{\ln [1 - F(t)]\} = \beta \cdot \ln \left(\frac{t}{\alpha}\right) \quad [3.21]$$

$$\ln\{-\ln [1 - F(t)]\} = -\beta \cdot \ln(\alpha) + \beta \cdot \ln(t) \quad [3.22]$$

Lo cual es equivalente a la ecuación de la recta de la siguiente forma:

$$y = \ln\{-\ln [1 - F(t)]\} \quad [3.23]$$

$$a = -\beta \cdot \ln(\alpha) \quad [3.24]$$

$$b = \beta \quad [3.25]$$

$$x = \ln(t) \quad [3.26]$$

Cabe mencionar que existe el método de del ranking ajustado con datos censurados a la derecha, el cual describe el comportamiento de un elemento que fue reemplazado o reparado (mantenimiento preventivo) por lo cual no fue operado hasta la falla, lamentablemente el contrato de confiabilidad no cuenta con esta información de forma certera por lo cual se omitirá este procedimiento.

Ahora para obtener el valor del MTTR se procede de forma similar al que se ha descrito anteriormente, con la diferencia de que se utilizan los tiempo de no funcionamiento por falla para el cálculo, en vez de los tiempos de funcionamiento.

Se comienza enlistando la duración de los eventos de reparación desde la fecha más antigua a la más nueva, para luego ordenarlos de menor a mayor, más tarde se procede a aplicar la aproximación de *Bernard* obteniendo la probabilidad de que el equipo pase de la no funcionalidad a la funcionalidad según la cantidad de eventos. Al igual como se realizó anteriormente se debe linealizar la función para obtener los mismos parámetros buscados de la función Weibull con los datos de tiempos de no funcionamiento ya ordenados de menor a mayor.

A diferencia de la búsqueda del MTBF con parámetro gamma igual a cero, en este caso podremos buscar el valor de gamma más adecuado, esto se realiza maximizando el valor de la correlación de los datos linealizados cambiando el valor de gamma, usando como restricción que el valor de tiempo menor de reparación sea mayor al valor de gamma encontrado, todo esto se realiza mediante la herramienta de Excel de optimización SOLVER.

Finalmente con los parámetros encontrados, se prosigue a calcular la probabilidad de pasar el equipo de no funcionamiento a funcionamiento para un tiempo determinado.

3.6 Diagrama Jack Knife

La herramienta Jack Knife será utilizada para clasificar las fallas causantes de detenciones en equipos y con ello analizar comparativamente la criticidad de las causas, determinando de forma adecuada como cada una de ellas inciden en la mantenibilidad, confiabilidad y disponibilidad del equipo.

Es necesario contar con los siguientes datos para su realización:

1. Tipo de falla o componente dañado

2. Frecuencia de detenciones acumuladas durante un periodo de tiempo determinado
3. Tiempo fuera de servicio acumulado

Luego con la información recopilada se procede a construir tablas con la siguiente información:

Tipo de falla	Frecuencia de detenciones acumuladas	TFS acumulado	TFS	Frecuencia	Indisponibilidad
			α	β	$\gamma = \alpha \cdot \beta$

Tabla 3.1 Parámetros a graficar

Fuente: Propia

Promedio	
TFS	
Frecuencia	
Indisponibilidad	

Tabla 3.2 Parámetros a graficar

Fuente: Propia

De las tablas ya construidas se procede a graficar un diagrama de dispersión con el TFS (tiempo fuera de servicio) en el eje de las ordenadas y la frecuencia en el eje de las abscisas, el grafico debe ser en escala logarítmica debido a la dispersión de los datos.

Una vez construido el grafico se procede a incorporar un eje vertical que representara la confiabilidad y un eje horizontal que representa la mantenibilidad, ambos ejes basados en los promedios de la frecuencia y tiempos fuera de servicio respectivamente, por último se agrega una curva de indisponibilidad la cual se construye mediante el promedio de la indisponibilidad dividida por la frecuencia más baja y así encontrar su

punto más alto y para su punto más bajo la misma indisponibilidad promedio dividida por la frecuencia más alta según la siguiente ilustración.

La interpretación del diagrama se basa en la ubicación en los cuadrantes de los puntos determinados por la dispersión entre los TFS y su frecuencia, aquellos puntos que se encuentren sobre el eje de la mantenibilidad indicaran las fallas que inciden sobre ella, aquellos puntos que se encuentren a la derecha del eje de confiabilidad serán las fallas que empeoren esta probabilidad, y los puntos que se encuentren por sobre la línea de la indisponibilidad serán los que afecten la disponibilidad de los equipos en mayor medida.

Los cuadrantes también ofrecen una caracterización de las fallas, siendo los que se encuentren en el primer cuadrante fallas crónica y agudas, el segundo cuadrante representa a las fallas aguda, y en el cuarto cuadrante quedarán determinadas las fallas crónica por si solas.

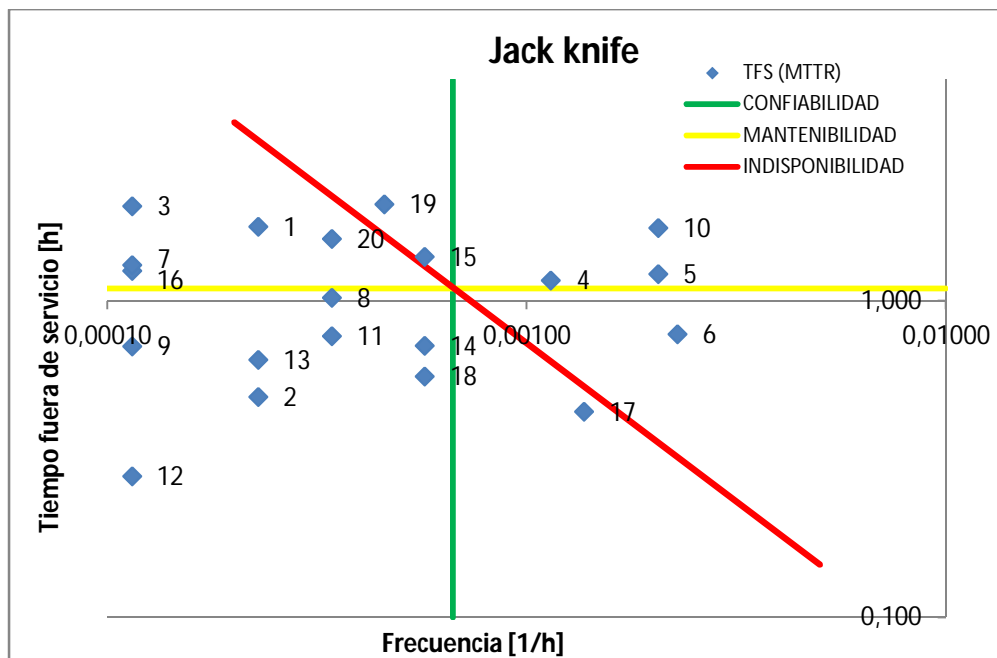


Gráfico 3.1 Diagrama Jack Knife

Fuente: Propia

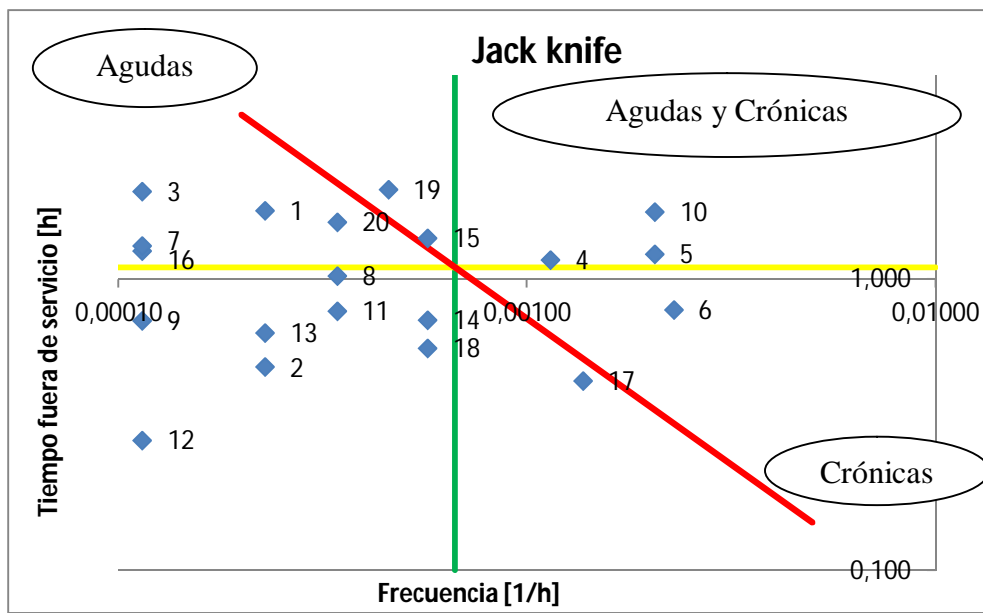


Gráfico 3.2 Cuadrantes diagrama Jack Knife
Fuente: Propia

3.7 Configuraciones lógicas de seguridad de funcionamientos

La configuración lógica del sistema permite determinar con antelación variadas variables, como lo son equipos críticos y el aporte de cada equipo en los indicadores a la hora de fallar, entre otras, además ilustra fielmente la seguridad operacional del proceso, dentro de las configuraciones más representativas están.

1. Serie: la falla de cualquier equipo provoca una detención del sistema, esta es la configuración más crítica, por la consecuencia inmediata.
2. Paralelo: las fallas simultáneas de todos los equipos provocan una detención del sistema, a mayor cantidad de equipos, asegura de mejor forma el proceso.
3. Stand by: las fallas simultáneas de todos los equipos provoca la detención del sistema, solo un equipo operando, el otro está a la espera de una falla.
4. Fraccionario: la falla de un equipo provoca una pérdida de capacidad en el sistema, proporcional a su nivel de impacto.

5. Redundancia parcial: se requiere una fracción del total de equipos para un correcto funcionamiento del sistema.

3.8 Registro de datos y adquisición de datos

El registro de actividades de mantenimiento es fundamental para el análisis de confiabilidad, y no tan solo para esta área en particular, también pueden sacar utilidad de esta actividad otras áreas (finanzas, por ejemplo). El registro de datos en mejor medida se realiza en algún ERP (Enterprise resource planning) como SAP, MAXIMO, etc.

La adquisición de datos, por la gran envergadura de estos, si son adquiridos de un ERP, debe ser acotada a información relevante para análisis de confiabilidad, como son los campos:

1. Fecha de inicio
2. Hora de inicio
3. Fecha de termino
4. Hora de termino
5. Duración
6. Equipo
7. Planta
8. Especialidad
9. Tipo de aviso
10. N° de aviso
11. Costo
12. Causa
13. Modo de falla
14. Descripción

Si bien no todos los campos son determinantes, si es considerado básico, la duración del evento, su descripción, modo de falla (o parte dañada), y el equipo en cuestión (conociendo con antelación su configuración en el proceso).

3.9 Ajustes de curvas y ciclo de vida

Una vez se cuenten con la cantidad de datos históricos de un periodo, es posible ajustar curvas como lo son la confiabilidad, mantenibilidad, y tasa de falla, probabilidades importantes a la hora de realizar análisis estadísticos del comportamiento de los equipos, para más tarde determinar el ciclo de vida de los equipos, infiriendo si se encuentran en etapa de rodaje, vida útil o desgaste.

3.10 Indicadores de mantenimiento

Los indicadores de mantenimiento son obtenidos a través de la reportabilidad de las actividades de mantenimiento, en este caso el aporte está en el cálculo de indicadores como lo son la confiabilidad, la mantenibilidad y la disponibilidad esperada, también es posible obtener el MTBF y el MTTR. Todos estos indicadores son calculables a través de los tiempos de detención y la cantidad de averías mediante la ley de Weibull.

Son estos indicadores los que deben ser controlados; la confiabilidad, la mantenibilidad, el MTBF y la disponibilidad esperada son necesariamente deseados altos en el tiempo, en cambio el MTTR es requerido a la baja en el tiempo.

No necesariamente se pueden obtener indicadores de mantenimiento a través de la ley de Weibull, también es posible mediante proporciones (fracciones), cálculos que actualmente realiza bureau Veritas para ser expuestos.

3.11 Análisis de criticidad

Los análisis de criticidad se realizan a partir de los indicadores, siendo los equipos críticos los que representen mediante sus averías, la destrucción del negocio, a través de:

- a) Bajas en la producción
- b) Altos costos de ineficiencia
- c) Daños al medio ambiente o personas
- d) Otros

3.12 Oportunidades de mejora

Es en los equipos críticos en donde se deben buscar las oportunidades de mejora, estas oportunidades pueden ser seleccionadas mediante distintas metodologías, siendo una de ellas el diagrama Jack Knife, el cual prioriza modo de fallas, para luego determinar la viabilidad de la propuesta de mejora.

Las mejoras no solo pueden referirse a la disminución de fallas, también es posible realizar mejoras respecto a los procesos, personas, gestión de repuestos, etc.

3.12.1 Mejoras en la gestión

Las mejoras en la gestión pueden referirse en mayor medida a definiciones de políticas, gestión de repuestos o competencias laborales.

Las políticas de mantenimiento ayudan a estandarizar y alinear a los involucrados, en las acciones a seguir según la política adoptada.

La gestión de repuestos comprende variados beneficios, como la de asegurar la funcionalidad de los equipos, mediante la disposición de repuestos críticos, hasta la disminución en costos, en la búsqueda de proveedores.

Las competencias laborales también son influentes en la misión de mejorar, ya que el conocimiento aporta directamente a mejorar la mantenibilidad de los equipos, tanto en la ejecución de trabajos como en la gestión de ellos.

3.12.2 Mejoras a través de proyectos

Las mejoras a través de proyectos abarcan tanto a nivel de plantas (la planta en su totalidad o subproceso) como a nivel de equipo. Las mejoras a nivel de plantas se enfocan principalmente a la configuración de los equipos en un sistema, realizando los estudios pertinentes según el comportamiento histórico del sistema y la viabilidad económica de realizar cambios en el sistema, por ejemplo con redundancia de equipos. Las mejoras a nivel de equipos vienen dadas de mayor forma en el análisis de sus fallas, ayudando a disminuir sus tiempos de improductividad por causales del área mantenimiento, estas mejoras (medidas correctivas) son transmitidas por la empresa Bureau Veritas a la empresa mandante (Codelco) a través de informes de falla, los cuales se realizan mediante investigación de estos sucesos, hasta llegar a la causa raíz, para luego recomendar las mejoras y gestionar su implementación. Cabe destacar que las mejoras en los equipos también pueden ser influenciadas a través de todas las otras mejoras mencionadas anteriormente.

CAPÍTULO IV METODOLOGÍA DE ANÁLISIS

4.1 Determinación de la configuración lógica funcional del sistema

Para determinar la configuración lógica funcional del sistema es necesario conocer la dependencia de cada equipo con los demás y cuál es su aporte respecto en producción a plena carga (capacidad del equipo en el flujo del proceso), para ello se dará a conocer el Flow Sheet (diagrama de flujo) del proceso, del cual se inferirá la ya mencionada configuración lógica. El diagrama ilustrará fácilmente el tipo de dependencia entre equipos tales como; serie, paralelo, stand by, redundancia parcial y fraccionaria.

4.2 Validación de datos

Mediante el ERP SAP (donde se registran los datos) que utiliza minera sur, se extraerán los eventos que han ocasionado pérdida de producción a través del campo tipo de aviso (elegir opción avería), para luego filtrar los eventos que correspondan a especialidades de mantenimiento, como lo son mecánico, eléctrico, instrumentación, vulcanización, etc., estos datos son validados semanalmente por los distintos jefes de área antes de ser utilizados para calcular los indicadores.

Con estos datos se realizará un diagrama de Pareto el cual tenga como variable dependiente las horas de indisponibilidad, luego de los equipos que presenten la mayor cantidad de horas indisponibles, se realizará el estudio en mayor medida, ya que se tomarán como equipos críticos del proceso, dada la falta de información respecto a costos de ineficiencia.

4.3 Obtención de parámetros, ciclo de vida e indicadores de mantenimiento

Con los datos ya validados será factible obtener los parámetros de la ley de Weibull, para más tarde poder modelar el comportamiento de equipos. Al modelar a través de la

ley de Weibull se realizarán comparaciones en el tiempo de los equipos evaluados referidas a confiabilidad, mantenibilidad y tasa de fallas (ajustes de curvas), y así determinar el ciclo de vida en el cual se encuentran los equipos, además, con los datos de las horas de indisponibilidad también se podrá obtener la disponibilidad esperada, MTBF y MTTR como indicadores de mantenimiento.

4.4 Focos de acción mediante diagrama Jack Knife

Con los equipos clasificados como críticos por su mayor cantidad de horas de indisponibilidad por avería, se construirá un diagrama de Jack Knife, logrando obtener focos de acción para mejorar la confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad de estos equipos, cada foco de acción debe ser analizado de forma particular, para también ver la factibilidad de ejecutar las mejoras planteadas.

4.5 Flujo del análisis de datos que aporta a la gestión de activos

Del análisis realizado se planteará un procedimiento esquemático de los pasos a seguir, con la idea de ser planteado ante las diferencias que se generan a la hora de tomar medidas de acción, las cuales han sido solicitadas de forma aleatoria, y con este procedimiento tendrán un orden al cual seguir, según los eventos catalogados como críticos, o que perjudiquen en mayor medida la confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad.

CAPÍTULO V CONFIGURACIÓN LÓGICA FUNCIONAL DE SEGURIDAD

5.1 Flujo del proceso de la planta

A través del flujo del proceso es posible determinar la configuración lógica de la línea y la dependencia que hay entre un equipo y otro, por lo cual contar con esta información se hace imprescindible a la hora de aplicar las técnicas RCM y así obtener resultados acertados del análisis.

Con la descripción de los equipos ya realizada se puede concluir que la configuración lógica del proceso es en serie, no existiendo a nivel de equipos fraccionamientos, redundancia o equipos en stand by, por lo cual la detención de cualquiera de ellos implicara la detención de la planta en su totalidad, ahí la relevancia de mantener una alta disponibilidad de equipos y mantenibilidad de estos para poder cumplir con las producciones meta esperadas por la gerencia.

A continuación se ilustra el flujo del proceso de remoción ripios, indicando los equipos y su dependencia con el equipo predecesor, el cual confirma la configuración lógica en serie de toda la línea productiva.

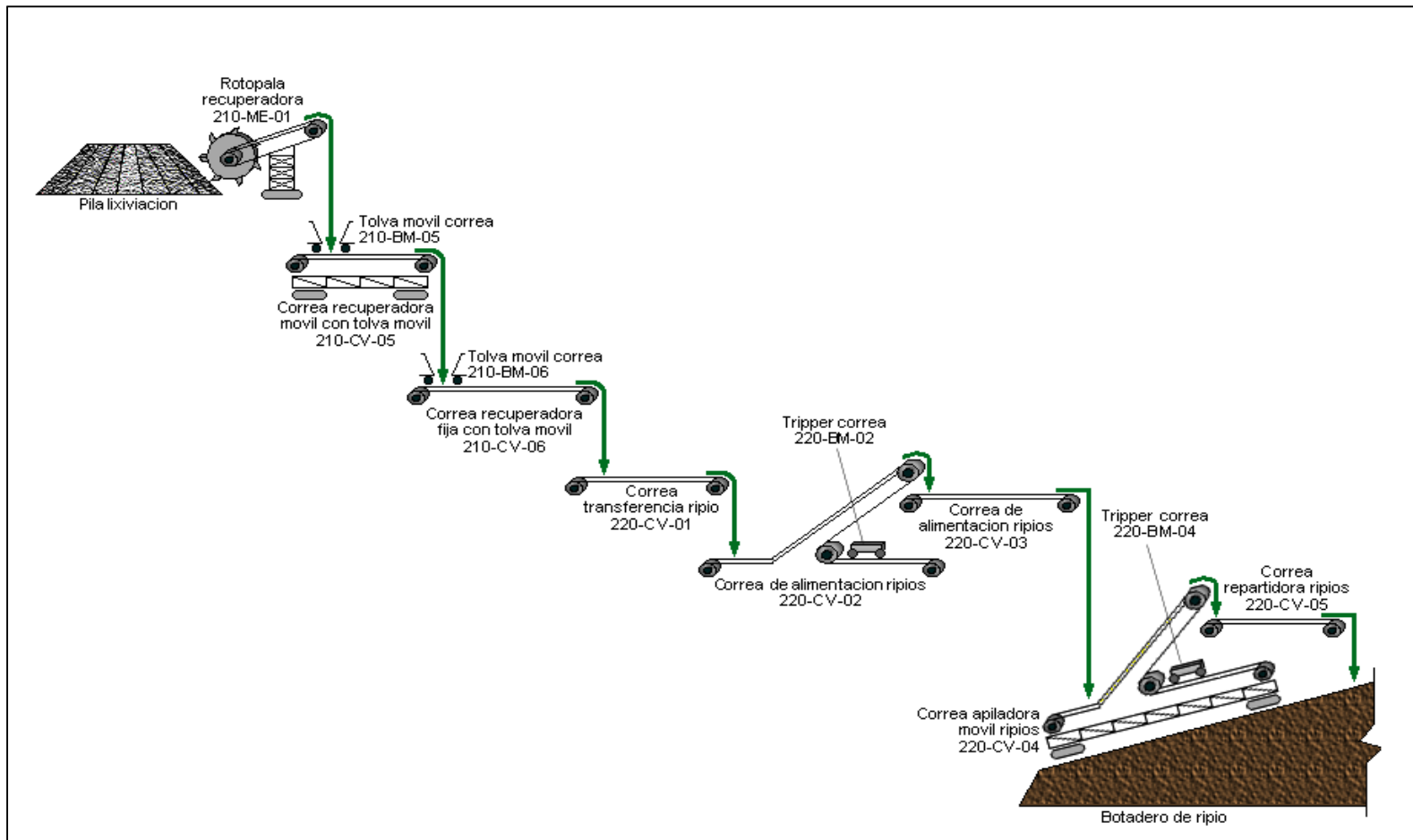


Figura 5.1 Planta remoción ripios

Fuente: Codelco

5.2 Equipos críticos

La criticidad de los equipos puede ser discutida dependiendo de la visión de confiabilidad que se posea, siendo una de ellas el mayor número de detenciones y horas de detención del proceso, la disponibilidad en sus variantes, o más allá, la destrucción del negocio como visión más amplia. Así como los criterios varían, también varían las metodologías para identificar estos equipos a los cuales se les debe prestar más recursos en forma particular.

El personal de Bureau Veritas en estos momentos se encuentra detectando los equipos críticos a través de la construcción de gráficos de Pareto, como variable predominante a graficar están las horas de fallas que detienen el proceso y por ende la producción, ocasionando pérdidas. Cabe mencionar que debido a que la configuración lógica del sistema es en serie, es válido como criterio de criticidad la indisponibilidad, dado que todos los equipos están en serie.

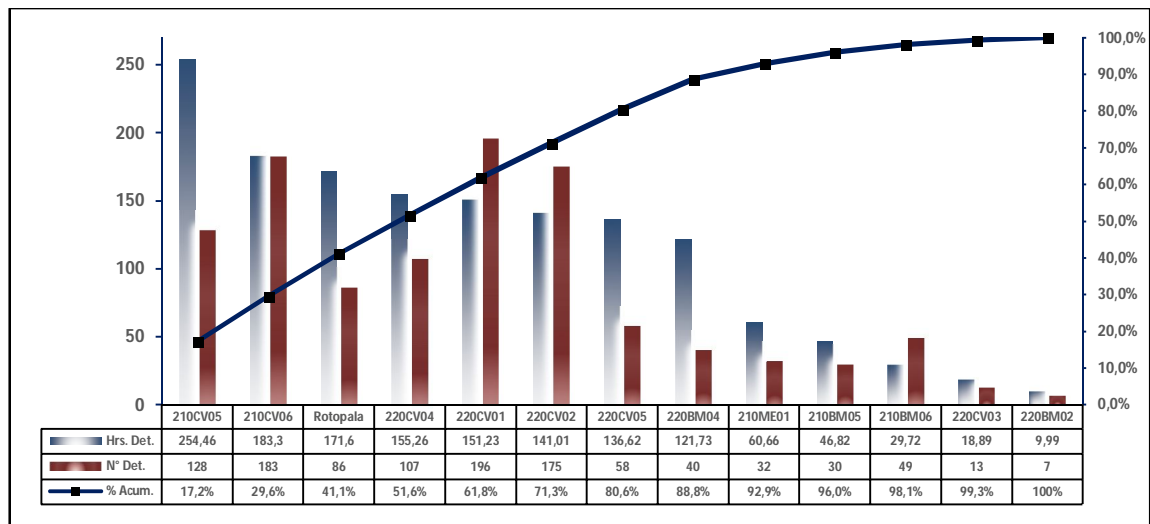


Gráfico5.1 Gráfico de Pareto Equipos Remoción Ripios Año 2013

Fuente: Propia

Con esta grafica se puede indicar que los tres equipos críticos del año 2013 fueron la correa 210CV05, correa 210CV06 y la Rotopala, esta decisión solo por horas de impacto en la producción, olvidando otras variables, y es de estos tres equipos de donde se realizara el análisis estadístico, entregando focos de acción y medidas correctivas que conlleven a mejorar la disponibilidad, aumentando el tiempo medio entre fallas y disminuyendo el tiempo medio para reparar.

Muy importante es resaltar que las medidas correctivas que nazcan de los análisis deben ser implementadas y controladas, el no ejecutar lo mencionado anteriormente ocasiona que el análisis y el trabajo previo no tengan un impacto según lo esperado.

CAPÍTULO VI ANÁLISIS DE DATOS POR EQUIPOS

6.1 Correa Recuperadora Móvil con Tolva Móvil210CV05

6.1.1 Estimación de los parámetros de Weibull

Para poder estimar los parámetros de Weibull se procede a obtener la base de datos del año 2013 desde SAP CODELCO para las averías del equipo en cuestión (*ver anexo N°1*), no olvidando que lo ideal es desde que el equipo ha comenzado a operar, pero aun así el procedimiento quedara demostrado. Al ser datos obtenidos de SAP, los cuales son ingresados por el personal de CODELCO, están sujetos a variabilidad en algunos campos, por ejemplo en los tiempos.

Acompañados de la descripción de cada aviso se encuentran las fechas de inicio y fin con su respectivo horario de inicio y fin, de ellos es posible obtener los tiempos de buen funcionamiento del equipo, para luego ordenarlos y eliminar los tiempos cero y los trasladados, incluso los delta por traslape de averías, a continuación proceder a construir la función de falla acumulada utilizando el método de rangos promedios a través de la aproximación de *Bernard*, formula [3.17], y posteriormente los demás parámetros que se ilustran en la tabla, tal como se mencionó anteriormente, formulas [3.18], [3.23] y [3.26] (*ver anexo N°2*).

Ahora con los parámetros obtenidos para cada tiempo de buen funcionamiento, es posible obtener los parámetros de la distribución Weibull con las formulas ya mencionadas, alfa despejando de [3.24], beta de [3.25], gamma se asume cero a modo de simplificar los cálculos, y MTBF de [3.16], antes de obtener estos parámetros se debe realizar una regresión lineal entre “x” [3.26] e “y” [3.23], por ejemplo en Excel, obteniendo los valores de “a” [3.24] y “b” [3.25] de la ecuación de la recta.

Intersección eje “a”	-2,640208216
Pendiente “b”	0,676267796
Correlación	0,985835716

ALFA	49,60476317
BETA	0,676267796
GAMMA	0
MTBF	64,96878935

Tabla 6.1 Parámetros de la distribución Weibull respecto a tiempos de buen funcionamiento

Fuente: Propia

Otro de los indicadores que nos interesa obtener es el tiempo medio para reparar el cual está ligado directamente con la mantenibilidad del equipo, es posible obtener este indicador con los tiempos utilizados para reparar el equipo, es decir de los mismos lapsos de tiempo de cada avería obtenidos de SAP (*ver anexo N°1*), para luego ser ordenados de menor a mayor enumerando cada evento.

Acompañados de la descripción de cada aviso se encuentran las fechas de inicio y fin con su respectivo horario de inicio y fin, de ellos es posible obtener los tiempos para reparar el equipo, para luego ordenarlos y eliminar los tiempos cero y los traslapados, incluso los delta por traslape de averías, además los tiempos repetidos son censurados en beneficio del cálculo, a continuación proceder a construir la función de falla acumulada utilizando el método de rangos promedios a través de la aproximación de *Bernard*, fórmula [3.17], y posteriormente los demás parámetros que se ilustran en la tabla, tal como se mencionó anteriormente, fórmulas [3.19], [3.26] y [3.23].

Con los valores del *anexo N°3* es posible calcular los valores de los parámetros de la función Weibull con un gamma asumido de cero y con un valor de gamma máximo obtenido de la herramienta de Excel SOLVER al maximizar la correlación de los datos linealizados modificando el valor de gamma, siendo este último menor al menor valor de tiempo de reparación como restricción.

inter eje	-0,357	inter eje	-0,171
pendiente	0,847	pendiente	0,713
R2	0,891	R2	0,964
ALFA	1,524	ALFA	1,271
BETA	0,847	BETA	0,713
GAMMA	0,000	GAMMA	0,083
MTTR	1,661	MTTR	1,665

Tabla 6.2 Parámetros de la distribución Weibull respecto a tiempos para reparar

Fuente: Propia

6.2 Correa Recuperadora Fija con Tolva Móvil210CV06

6.2.1 Estimación de los parámetros de Weibull

Para poder estimar los parámetros de Weibull se procede a obtener la base de datos del año 2013 desde SAP CODELCO (*ver anexo N°4*) para las averías del equipo en cuestión, no olvidando que lo ideal es desde que el equipo ha comenzado a operar, pero aun así el procedimiento quedara demostrado. Al ser datos obtenidos de SAP, los cuales son ingresados por el personal de CODELCO, están sujetos variabilidad en campos.

Acompañados de la descripción de cada aviso se encuentran las fechas de inicio y fin con su respectivo horario de inicio y fin, de ellos es posible obtener los tiempos de buen funcionamiento del equipo, para luego ordenarlos y eliminar los tiempos cero y los traslapados, incluso los delta por traslape de averías, a continuación proceder a construir la función de falla acumulada utilizando el método de rangos promedios a través de la aproximación de *Bernard*, formula [3.17], y posteriormente los demás parámetros que se ilustran en la tabla, tal como se mencionó anteriormente, formulas [3.18], [3.26] y [3.23] (*ver anexo N°5*).

Ahora con los parámetros obtenidos para cada tiempo de buen funcionamiento es posible obtener los parámetros de la distribución Weibull con las formulas ya mencionadas, alfa despejando de [3.24], beta de [3.25], gamma se asume cero a modo de simplificar los cálculos, y MTBF de [3.16], antes de obtener estos parámetros se debe realizar una regresión lineal entre “x” [3.26] e “y” [3.23], por ejemplo en Excel, obteniendo los valores de “a” [3.24] y “b” [3.25].

Intersección eje "a"	-2,379410914
Pendiente "b"	0,647971272
Correlación	0,996460666
ALFA	39,33415484
BETA	0,647971272
GAMMA	0
MTBF	53,9287417

Tabla 6.3 Parámetros de la distribución Weibull respecto a tiempos de buen funcionamiento

Fuente: Propia

Otro de los indicadores que nos interesa obtener es el tiempo medio para reparar el cual está ligado directamente con la mantenibilidad del equipo, es posible obtener este indicador con los tiempos utilizados para reparar el equipo, es decir de los mismos lapsos de tiempo de cada avería obtenidos del SAP (*ver anexo N°4*), para luego ser ordenados de menor a mayor, enumerando cada evento.

Acompañados de la descripción de cada aviso se encuentran las fechas de inicio y fin con su respectivo horario de inicio y fin, de ellos es posible obtener los tiempos para reparar el equipo, para luego ordenarlos y eliminar los tiempos cero y los traslapados, incluso los delta por traslape de averías, además los tiempos repetidos son censurados en beneficio del cálculo, a continuación proceder a construir la función de falla acumulada utilizando el método de rangos promedios a través de la aproximación de *Bernard*, fórmula [3.17], y posteriormente los demás parámetros que se ilustran en la tabla, tal como se mencionó anteriormente, fórmulas [3.19], [3.26] y [3.23].

Con los valores del *anexo N°6* es posible calcular los valores de los parámetros de la función Weibull con un gamma asumido de cero y con un valor de gamma máximo obtenido de la herramienta de Excel SOLVER al maximizar la correlación de los datos linealizados modificando el valor de gamma, siendo este último menor al menor valor de tiempo de reparación como restricción.

inter eje	0,2903	inter eje	0,4479
pendiente	0,6244	pendiente	0,5011
R2	0,8834	R2	0,9754
ALFA	0,6282	ALFA	0,4091
BETA	0,6244	BETA	0,5011
GAMMA	0,0000	GAMMA	0,0996
MTTR	0,8992	MTTR	0,9145

Tabla 6.4 Parámetros de la distribución Weibull respecto a tiempos para reparar

Fuente: Propia

6.3 Rotopala recuperadora

6.3.1 Estimación de los parámetros de Weibull

Para poder estimar los parámetros de Weibull se procede a obtener la base de datos del año 2013 desde SAP CODELCO para las averías del equipo en cuestión (*ver anexo N°7*), no olvidando que lo ideal es desde que el equipo ha comenzado a operar, pero aun así el procedimiento quedara demostrado. Al ser datos obtenidos de SAP, los cuales son ingresados por el personal de CODELCO, están sujetos a variabilidad en campos.

Acompañados de la descripción de cada aviso se encuentran las fechas de inicio y fin con su respectivo horario de inicio y fin, de ellos es posible obtener los tiempos de buen funcionamiento del equipo, para luego ordenarlos y eliminar los tiempos cero y los trasladados, incluso los delta por traslape de averías, a continuación proceder a construir la función de falla acumulada utilizando el método de rangos promedios a través de la aproximación de *Bernard*, formula [3.17], y posteriormente los demás parámetros que se ilustran en la tabla, tal como se mencionó anteriormente, formulas [3.18], [3.26] y [3.23] (*ver anexo N°8*).

Ahora con los parámetros obtenidos para cada tiempo de buen funcionamiento es posible obtener los parámetros de la distribución Weibull con las formulas ya mencionadas, alfa despejando de [3.24], beta de [3.25], gamma se asume cero a modo de simplificar los cálculos, y MTBF de [3.16], antes de obtener estos parámetros se debe realizar una regresión lineal entre “x” [3.26] e “y” [3.23], por ejemplo en Excel, obteniendo los valores de “a” [3.24] y “b” [3.25].

intersección eje "a"	-2,664998942
Pendiente "b"	0,613461154
Correlación	0,988879641
ALFA	77,03051374
BETA	0,613461154
GAMMA	0
MTBF	112,6659437

Tabla 6.5 Parámetros de la distribución Weibull respecto a tiempos de buen funcionamiento

Fuente: Propia

Otro de los indicadores que nos interesa obtener es el tiempo medio para reparar el cual está ligado directamente con la mantenibilidad del equipo, es posible obtener este indicador con los tiempos utilizados para reparar el equipo, es decir de los mismos lapsos de tiempo de cada avería obtenidos del SAP (*ver anexo N°9*), para luego ser ordenados de menor a mayor, enumerando cada evento.

Acompañados de la descripción de cada aviso se encuentran las fechas de inicio y fin con su respectivo horario de inicio y fin, de ellos es posible obtener los tiempos para reparar el equipo, para luego ordenarlos y eliminar los tiempos cero y los traslapados, incluso los delta por traslape de averías, además los tiempos repetidos son censurados en beneficio del cálculo, a continuación proceder a construir la función de falla acumulada utilizando el método de rangos promedios a través de la aproximación de *Bernard*, fórmula [3.17], y posteriormente los demás parámetros que se ilustran en la tabla, tal como se mencionó anteriormente, fórmulas [3.19], [3.26] y [3.23].

Con los valores del *anexo N°9* es posible calcular los valores de los parámetros de la función Weibull con un gamma asumido de cero y con un valor de gamma máximo obtenido de la herramienta de Excel SOLVER al maximizar la correlación de los datos linealizados modificando el valor de gamma, siendo este último menor al menor valor de tiempo de reparación como restricción.

inter eje	-0,532	inter eje	-0,292
pendiente	0,964	pendiente	0,770
R2	0,936	R2	0,986
ALFA	1,736	ALFA	1,461
BETA	0,964	BETA	0,770
GAMMA	0,000	GAMMA	0,098
MTTR	1,764	MTTR	1,802

Tabla 6.6 Parámetros de la distribución Weibull respecto a tiempos para reparar

Fuente: Propia

6.4 Modelamiento del comportamiento de los equipos evaluados

6.4.1 Confiabilidad modelada

Al haber obtenido los parámetros de la distribución de probabilidad de Weibull es posible modelar el comportamiento de los equipo a través del tiempo, comenzando de forma aleatoria se representara la confiabilidad según formula [3.13]. A continuación en la siguiente tabla se calculan estos valores para un tiempo determinado en cada equipo.

Funcionamiento horas	210CV05 R(t)	210CV06 R(t)	Rotopala R(t)
0	1,0000	1,0000	1,0000
0,1	0,9851	0,9794	0,9832
0,2	0,9763	0,9679	0,9744
0,3	0,9689	0,9584	0,9673
0,4	0,9623	0,9501	0,9611
0,5	0,9563	0,9426	0,9555
0,6	0,9507	0,9357	0,9504
0,7	0,9455	0,9291	0,9456
0,8	0,9405	0,9230	0,9411
0,9	0,9357	0,9171	0,9368
1	0,9311	0,9116	0,9328
2	0,8922	0,8649	0,8990
3	0,8607	0,8280	0,8724
4	0,8334	0,7966	0,8497
5	0,8091	0,7689	0,8296
6	0,7869	0,7440	0,8115
7	0,7664	0,7213	0,7948
8	0,7474	0,7003	0,7794
9	0,7296	0,6808	0,7650
10	0,7128	0,6625	0,7514

20	0,5822	0,5246	0,6458
30	0,4908	0,4321	0,5708
40	0,4212	0,3639	0,5122
50	0,3659	0,3109	0,4644
60	0,3207	0,2686	0,4241
70	0,2830	0,2339	0,3895
80	0,2512	0,2051	0,3593
90	0,2240	0,1809	0,3328
100	0,2006	0,1603	0,3092
120	0,1624	0,1274	0,2691
130	0,1468	0,1142	0,2519
140	0,1330	0,1026	0,2363
150	0,1208	0,0925	0,2220
160	0,1099	0,0836	0,2089
170	0,1002	0,0756	0,1969
180	0,0916	0,0686	0,1858
190	0,0838	0,0624	0,1755
200	0,0767	0,0568	0,1660
250	0,0505	0,0363	0,1276
300	0,0341	0,0240	0,1000
350	0,0236	0,0162	0,0796
400	0,0165	0,0112	0,0641
450	0,0118	0,0078	0,0522
500	0,0085	0,0056	0,0428

Tabla 6.7 Confiabilidad por equipo respecto al tiempo de funcionamiento

Fuente: Propia

Ahora con los valores obtenidos para cada tiempo determinado es posible ilustrar la confiabilidad de cada equipo según la gráfica de sigue.

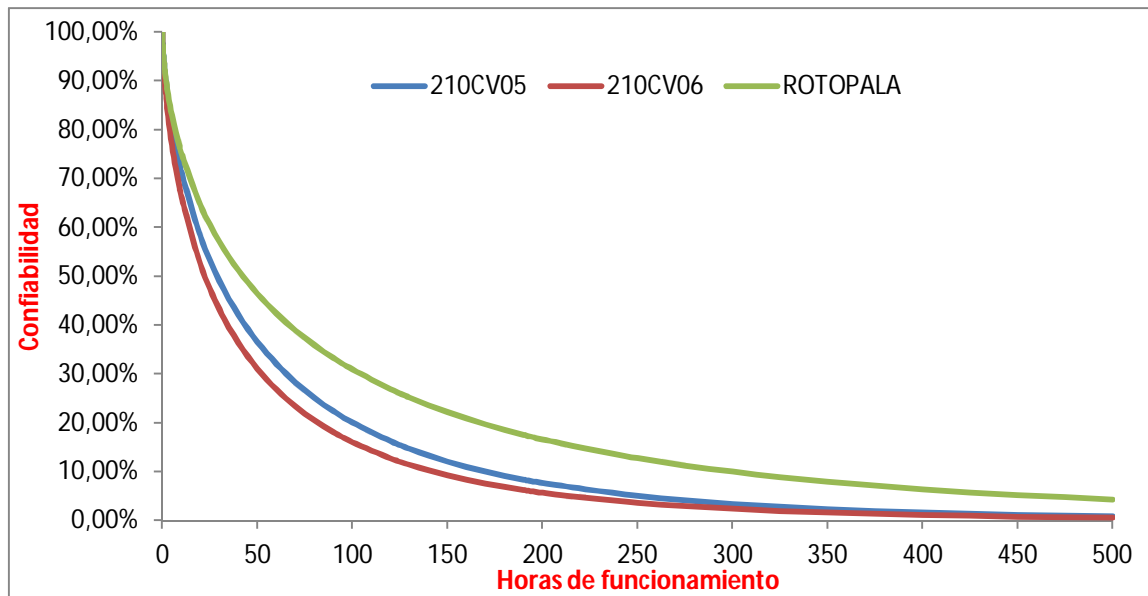


Gráfico 6.1 Confiabilidad por equipo V/S tiempo de funcionamiento

Fuente: Propia

La confiabilidad de cada equipo es similar hasta la primera hora de funcionamiento, siendo de 93,11% para el equipo “210CV05”, 91,16% para el equipo “210CV06” y de un 93,28% para la rotopala, al avanzar el tiempo de funcionamiento cada equipo va disminuyendo su confiabilidad, se puede destacar a la rotopala sobre los otros dos equipos, la cual mantiene una mejor confiabilidad en todo el tiempo evaluado, otro punto a mencionar es que el equipo “210CV05” siendo el equipo crítico de la planta de remoción de ripios no es el equipo que tiene la menor confiabilidad a lo largo del tiempo evaluado, sino el equipo “210CV06” de lo cual se volverá a hacer mención una vez que se grafique la mantenibilidad de cada equipo.

Esta información es muy útil a la hora de requerir conocer la probabilidad de que el equipo deje de cumplir su función en un tiempo determinado, y para otros tipos de consultas que nacen de la ingeniería de confiabilidad, las cuales no son aplicables al menos para el servicio prestado, mediante este trabajo queda demostrado que es factible obtener al menos la respuesta de cuál es la confiabilidad de equipos en particular, si llama la atención la baja confiabilidad que poseen estos equipos que no llegan a tener un

50% de probabilidades de buen funcionamiento pasadas las 50 horas aproximadamente según el lapso de tiempo estudiado (1 año), teniendo presente además que este análisis está basado solo en detenciones que tienen como causa mantenimiento.

6.4.2 Mantenibilidad modelada

Luego con los parámetros obtenidos es posible calcular la mantenibilidad de cada equipo para tiempos de reparación determinados, esto de igual forma como se obtiene el valor de la formula [3.19], *se debe recordar que se decidió modelar la mantenibilidad con la ley de Weibull, lo que finalmente termina otorgando esta probabilidad a la formula [3.19] ($M_{(t)} = F_{(t)} = 1 - R_{(t)}$), pero utilizando los tiempos para reparar y no los tiempos entre reparaciones.*

Reparación horas	210CV05 M(t)	210CV06 M(t)	Rotopala M(t)
0	0,0000	0,0000	0,0000
0,1	0,1508	0,3896	0,1192
0,2	0,2349	0,5028	0,1946
0,3	0,3006	0,5752	0,2560
0,4	0,3552	0,6280	0,3085
0,5	0,4022	0,6691	0,3547
0,6	0,4433	0,7023	0,3959
0,7	0,4799	0,7299	0,4331
0,8	0,5128	0,7533	0,4669
0,9	0,5425	0,7734	0,4977
1	0,5696	0,7909	0,5261
1,1	0,5943	0,8063	0,5523
1,2	0,6171	0,8200	0,5765
1,3	0,6381	0,8322	0,5990
1,4	0,6575	0,8431	0,6200
1,5	0,6755	0,8530	0,6395
1,6	0,6922	0,8620	0,6577
1,7	0,7078	0,8702	0,6748
1,8	0,7224	0,8777	0,6909
1,9	0,7360	0,8845	0,7059
2	0,7488	0,8908	0,7200
2,5	0,8020	0,9160	0,7794
3	0,8418	0,9337	0,8244
3,5	0,8723	0,9467	0,8589

4	0,8960	0,9565	0,8859
4,5	0,9147	0,9640	0,9071
5	0,9296	0,9700	0,9240
5,5	0,9416	0,9747	0,9375
6	0,9513	0,9785	0,9484
6,5	0,9592	0,9817	0,9573
7	0,9657	0,9842	0,9645
7,5	0,9711	0,9864	0,9704
8	0,9755	0,9882	0,9753
8,5	0,9792	0,9897	0,9793
9	0,9823	0,9910	0,9826
9,5	0,9849	0,9921	0,9853
10	0,9871	0,9930	0,9876
11	0,9905	0,9945	0,9911
12	0,9929	0,9956	0,9936
13	0,9947	0,9965	0,9954
14	0,9960	0,9972	0,9966
15	0,9970	0,9977	0,9975
16	0,9977	0,9981	0,9982
17	0,9982	0,9985	0,9987

Tabla 6.8 Mantenibilidad por equipo respecto al tiempo de reparación

Fuente: Propia

Con los valores ya obtenidos se grafica la mantenibilidad de cada equipo como se ilustra en la siguiente imagen.

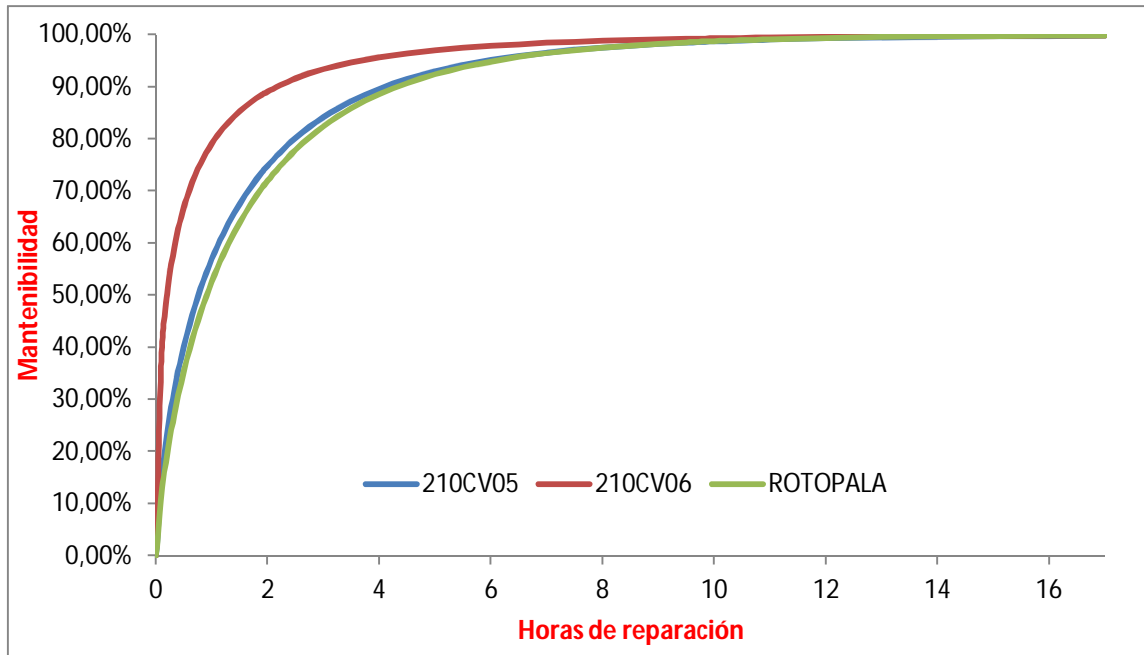


Gráfico 6.2 Mantenibilidad por equipo V/S tiempo de funcionamiento

Fuente: Propia

La mantenibilidad del equipo “210CV06” es muy superior a la del equipo “210CV05” y la rotopala, notándose la diferencia desde las 0,1 horas, esto quiere decir que su capacidad de volver a la funcionalidad después de una falla es mejor, en cambio los últimos dos equipos mencionados respectivamente poseen una mantenibilidad muy similar, alcanzando el 80% para ambos a contar de las 3 horas aproximadamente.

Ahora volviendo a analizar la mantenibilidad en conjunto con la confiabilidad se puede obtener el siguiente análisis; el equipo “210CV06” es quien tiene la menor confiabilidad a través del tiempo, y aun así no es el equipo crítico de la planta de remoción ripios, esto se puede justificar porque el equipo “210CV06” tiene la mejor mantenibilidad, entonces independiente de que este equipo sea el que tenga la menor probabilidad de buen funcionamiento en el tiempo, tiene la mejor probabilidad de volver en funcionamiento en caso de avería en el tiempo.

Del equipo crítico podemos decir que tiene una confiabilidad tan baja como el equipo “210CV06” y además una mala mantenibilidad, casi como la rotopala, por lo cual se valida su condición de equipo más crítico por cantidad de horas de indisponibilidad.

Otro punto a destacar es la buena mantenibilidad de los equipos, sobre pasando todos ellos el 50% de probabilidad de recuperar su función al pasar una hora aproximadamente, muy probable es que esto se deba a la gran cantidad de sensores instalados que permiten detectar a tiempo una anomalía que pudiera terminar concluyendo en una avería más compleja o más difícil de reparar.

Nuevamente es importante mencionar que graficar la mantenibilidad de estos equipos no es determinante en el aporte que se requiere impulsar en mayor medida mediante el análisis de datos, sino más bien demostrar que este tipo de incógnitas pueden ser respondidas mediante análisis, recordando que se modeló la mantenibilidad con la Ley de Weibull con esta finalidad, pero es recomendable utilizar la distribución Normal Logarítmica.

6.4.3 Tasa de falla modelada

Luego con los parámetros obtenidos es posible calcular la tasa de falla de cada equipo para tiempos determinados, esto de igual forma como se obtiene el valor de la formula [3.15].

Tiempo horas	210CV05 tasa falla	210CV06 tasa falla	Rotopala tasa falla
0,1	0,10167708	0,13496447	0,10397563
0,2	0,08124001	0,10574218	0,07953747
0,3	0,0712465	0,09167672	0,06799949
0,4	0,06491078	0,08284705	0,06084319
0,5	0,06038707	0,07658821	0,0558152
0,6	0,05692597	0,07182702	0,05201707
0,7	0,05415488	0,06803316	0,04900816
0,8	0,05186373	0,06490914	0,04654277
0,9	0,04992338	0,06227284	0,0444713
1	0,04824928	0,06000545	0,04269654

2	0,03855119	0,04701317	0,03266126
3	0,03380892	0,04075964	0,02792331
4	0,03080241	0,03683395	0,02498464
5	0,02865575	0,03405126	0,02291995
6	0,02701334	0,03193443	0,02136029
7	0,02569836	0,03024767	0,0201247
8	0,02461113	0,02885872	0,01911232
9	0,02369037	0,02768662	0,01826169
10	0,02289595	0,02667854	0,01753291
20	0,01829387	0,02090214	0,01341202

Tabla 6.9 Tasa de falla por equipo respecto al tiempo

Fuente: Propia

Con los valores ya obtenidos se grafica la tasa de falla de cada equipo como se ilustra en la siguiente imagen.

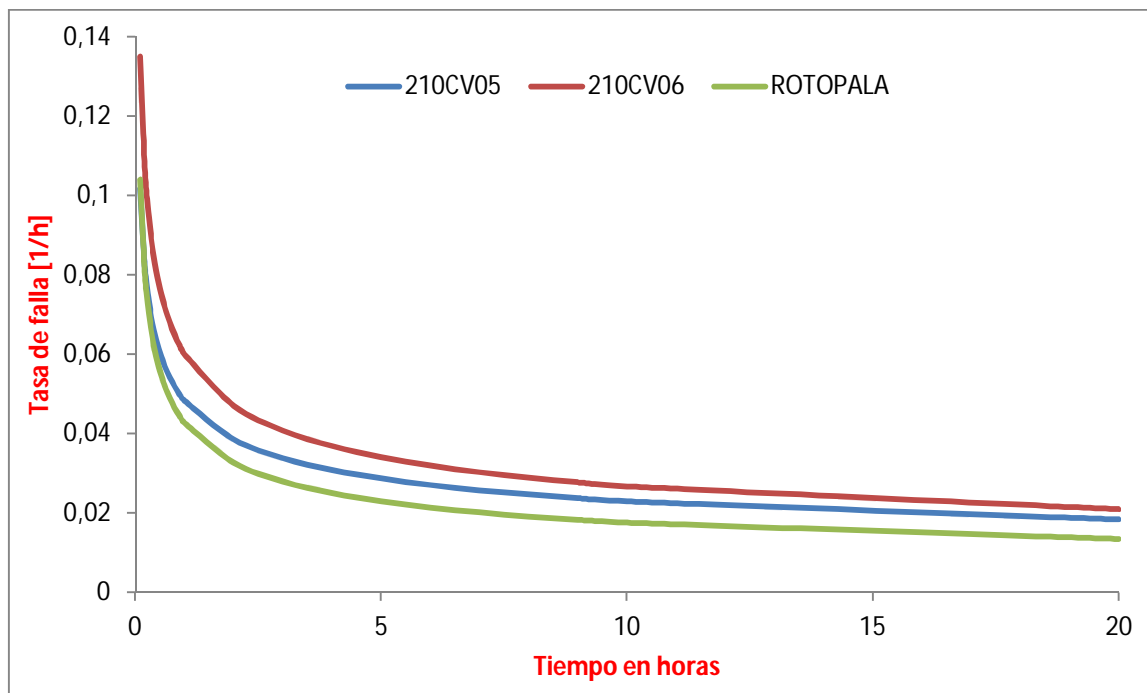


Gráfico 6.3 Tasa de falla por equipo V/S tiempo

Fuente: Propia

Al observar la gráfica de la tasa de falla es posible inferir que los equipo se encuentra operando en su etapa de vida útil normal por lo cual la inclusión de mantenimientos predictivos de alto costo aun no son necesarios (si no son parte del plan de mantenimiento actual), es más importante estar preparados para corregir averías y aprender de ellas, la intensificación en mantenimientos preventivos tampoco se justifica al estar los equipo en esta etapa, aun así siempre se deben tomar medidas para mejorar la operación, mantenibilidad, disponibilidad y confiabilidad de los equipos.

De los tres equipos evaluados quien posee una mejor tasa de falla es la correa con designación “210CV06” seguida de la correa con designación “210CV05”, por último la rotopala es quien posee una tasa de falla inferior a los demás equipos evaluados, es decir, la rotopala es el equipo que tiene una menor frecuencia de falla.

Ahora el haber modelado la tasa de falla de estos equipos, nuevamente viene a demostrar las posibilidades que entrega el análisis de datos para la toma de decisiones, pero se reitera que no es determinante respecto a la mejora que está buscando el servicio por el momento.

6.4.4 Disponibilidad

Si bien la confiabilidad nos entrega la probabilidad de que un equipo falle en un tiempo determinado, y la mantenibilidad nos otorga la probabilidad de que un equipo vuelva al funcionamiento después de una falla, es de vital importancia poseer la disponibilidad de los equipos, indicador más usado para evaluar el comportamiento de los equipos, tanto también como para una planta o configuración general de equipos (móviles o fijos).

Bureau Veritas está a cargo de la obtención de los indicadores de mantenimiento mediante la norma ASARCO, pero demostrar que también es posible con el análisis estadístico es parte del estudio, la disponibilidad que se obtendrá tiene un nombre diferente, dado que se obtiene de un MTBF y MTTR adquirido mediante una

distribución de probabilidad, y no de una proporción directamente, el nombre que recibe es disponibilidad esperada o inherente

Ahora con los parámetros obtenidos logramos calcular el MTBF y el MTTR para los equipos críticos en estudio, y de ello se accederá a la disponibilidad inherente (esperada) de los equipos según su comportamiento histórico mediante la fórmula [3.12].

Para la correa 210CV05 el resultado es el siguiente:

$$\text{Disponibilidad esperada o inherente} = \frac{64,96}{64,96 + 1,6650} = 0,9750$$

Para la correa 210CV06 el resultado es el siguiente:

$$\text{Disponibilidad esperada o inherente} = \frac{53,92}{53,92 + 0,9145} = 0,9833$$

Para la Rotopala recuperadora de ripio el resultado es el siguiente:

$$\text{Disponibilidad esperada o inherente} = \frac{112,66}{112,66 + 1,8020} = 0,9843$$

Del equipo crítico correa 210CV05 ilustrado en gráfica de Pareto imagen [5.1], es del que se obtiene la menor disponibilidad “97,5%”, y así sucesivamente con los equipos que siguen en el ranking por indisponibilidad.

Cabe mencionar que el cálculo de la disponibilidad esperada es mucho más útil para resolver o dar respuestas a análisis probabilísticos que terminan concluyendo en viabilidad económica de proyectos de mejora, que en indicadores de mantenimiento a informar periódicamente, pero mediante este estudio queda demostrada la posibilidad de obtener este indicador mediante probabilidades. Informar indicadores mediante la norma ASARCO, es una buena medida a la falta de software de análisis de datos en el servicio.

CAPÍTULO VII OPORTUNIDADES DE MEJORAS EN EQUIPOS CRÍTICOS

7.1 Priorización de focos de acción

7.1.1 Diagrama Jack Knife correa 210CV05

Para poder priorizar los eventos que han influido en los indicadores de mantenimiento, y por ende en costos de ineficiencia, se utilizará el diagrama de Jack Knife, el cual ilustra gráficamente el evento (tipo de falla en un elemento del equipo) que representa de forma más contundente una oportunidad de mejora al ser eliminado.

Antes de poder ilustrar gráficamente los eventos ocurridos en el lapso de tiempo estudiado, es necesaria la construcción de una tabla, en donde se agrupan datos, los cuales ya han sido mencionados en el capítulo III, punto 3.6.

A continuación se ilustra la tabla para la correa 210CV05, de la cual se obtienen los eventos que han ocurrido con sus respectivos valores, según variables necesarias para la gráfica Jack Knife.

N° falla	Tipo de Falla (en el elemento)	Frecuencia Detenciones Acumuladas [Detenciones/Año]	TFS acumulado [h/Año]	Y TFS [h/Detenciones]	X Frecuencia [1/h]	Indisponibilidad
1	Sensor velocidad	19	8,992	0,473	0,002168950	0,001026446
2	Tripmultilink	3	4,392	1,464	0,000342466	0,000501332
3	Acoplamiento Hidr.	2	0,633	0,317	0,000228311	0,000072298
4	Polín	7	4,417	0,631	0,000799087	0,000504186
5	Acoplamiento Equipos	2	6,333	3,167	0,000228311	0,000722983
6	Polea	6	14,842	2,474	0,000684932	0,001694254
7	Oruga	20	19,555	0,978	0,002283105	0,002232306
8	Cinta	37	204,792	5,535	0,004223744	0,023378076
9	Stringpot	1	1,000	1,000	0,000114155	0,000114155
10	GPS	3	3,050	1,017	0,000342466	0,000348174
11	Sensor resbalamiento	7	3,400	0,486	0,000799087	0,000388128
12	Carro tensor	4	1,850	0,463	0,000456621	0,000211187
13	Sensor T°	2	2,183	1,092	0,000228311	0,000249239
14	Puente	3	3,400	1,133	0,000342466	0,000388128
15	Comunicación	2	0,617	0,308	0,000228311	0,000070396
16	Sistema Tensor	2	6,050	3,025	0,000228311	0,000690639
17	Motor	1	0,217	0,217	0,000114155	0,000024734

18	Sensor corte correa	1	0,217	0,217	0,000114155	0,000024734
19	Externa	1	1,050	1,050	0,000114155	0,000119863
20	Trip resbalamiento	5	4,183	0,837	0,000570776	0,000477549

Tabla 7.1 Parámetros a graficar para la correa 210CV05

Fuente: Propia

De la tabla anterior se logra graficar cada evento, identificando según su posición en los cuadrantes, de qué forma ha impactado en el proceso (confiabilidad, mantenibilidad o disponibilidad), identificándose así, como un evento agudo, como un evento grave, o una combinación de ambos, siendo este último el de mayor gravedad.

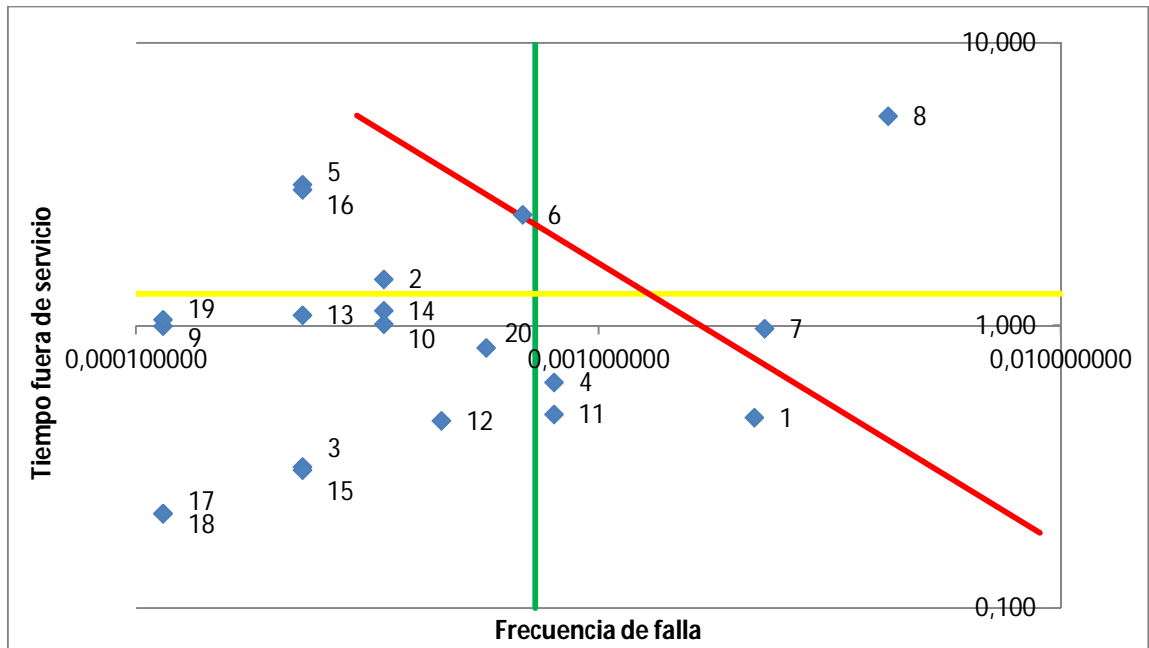


Gráfico 7.1 Parámetros a graficar para la correa 210CV05

Fuente: Propia

Según la gráfica, el evento número ocho, que guarda relación con las fallas que ha sufrido la cinta de esta correa, es la clara oportunidad de mejora que se obtiene de la

gráfica, ocurriendo 37 eventos durante el 2013, provocando 204,8 [h] de indisponibilidad.

Analizar los eventos que afectaron la cinta es posible mediante la metodología RCA (análisis de causa raíz), estudio que en mayor medida realiza el servicio prestado por Bureau Veritas, el formato a entregar ya se encuentra establecido y validado por Minera Sur, pero ahora saber que la cinta es el principal foco de acción es una información de la cual no se contaba con anterioridad, por lo general los informes de RCA son solicitados aleatoriamente, lo cual puede claramente desviar la atención de donde realmente están las oportunidades de mejora.

7.1.2 Diagrama Jack Knife correa 210CV06

Al igual que para la correa 210CV05, a continuación se muestra una tabla con los principales eventos ocurridos durante el 2013, y sus respectivos valores necesarios para lo obtención de la gráfica Jack Knife.

N° Falla	Tipo de Falla (en el elemento)	Frecuencia Detenciones Acumuladas [Detenciones/Año]	TFS Acumulado [h/Año]	Y TFS [h/Detenciones]	X Frecuencia [1/h]	Indisponibilidad
1	Comunicación	6	1,98	0,331	0,000685	0,0002264
2	Sensor velocidad	1	0,63	0,633	0,000114	0,0000723
3	Acoplamiento Hidr.	15	34,48	2,298	0,001712	0,0039357
4	Sensor atollo	6	1,52	0,253	0,000685	0,0001731
5	Polines	10	5,57	0,557	0,001142	0,0006355
6	Pullcord	4	4,11	1,027	0,000457	0,0004690
7	Trip metales	81	23,07	0,285	0,009247	0,0026332
8	Pesometro	1	0,20	0,200	0,000114	0,0000228
9	Polea	4	19,73	4,933	0,000457	0,0022527
10	Contrapeso	2	30,83	15,417	0,000228	0,0035198
11	Estructura	1	1,00	1,000	0,000114	0,0001142
12	Sensor resbalamiento	2	1,25	0,625	0,000228	0,0001427
13	Cinta	27	59,37	2,199	0,003082	0,0067770
14	Motor	9	8,76	0,974	0,001027	0,0010005
15	Tripmultilink	6	4,37	0,728	0,000685	0,0004985
16	Raspador	3	1,72	0,572	0,000342	0,0001960

17	Sala eléctrica	1	0,72	0,717	0,000114	0,0000818
18	Sensor corte correa	3	0,63	0,211	0,000342	0,0000723
19	Motor	1	0,33	0,333	0,000114	0,0000381

Tabla 7.2 Parámetros a graficar para la correa 210CV06

Fuente: Propia

Con la obtención de datos de la tabla anterior es posible graficar el diagrama Jack Knife, el cual entregará focos de acción según el elemento que este presentando mayor cantidad de problemas de indisponibilidad, afectando la confiabilidad y la mantenibilidad.

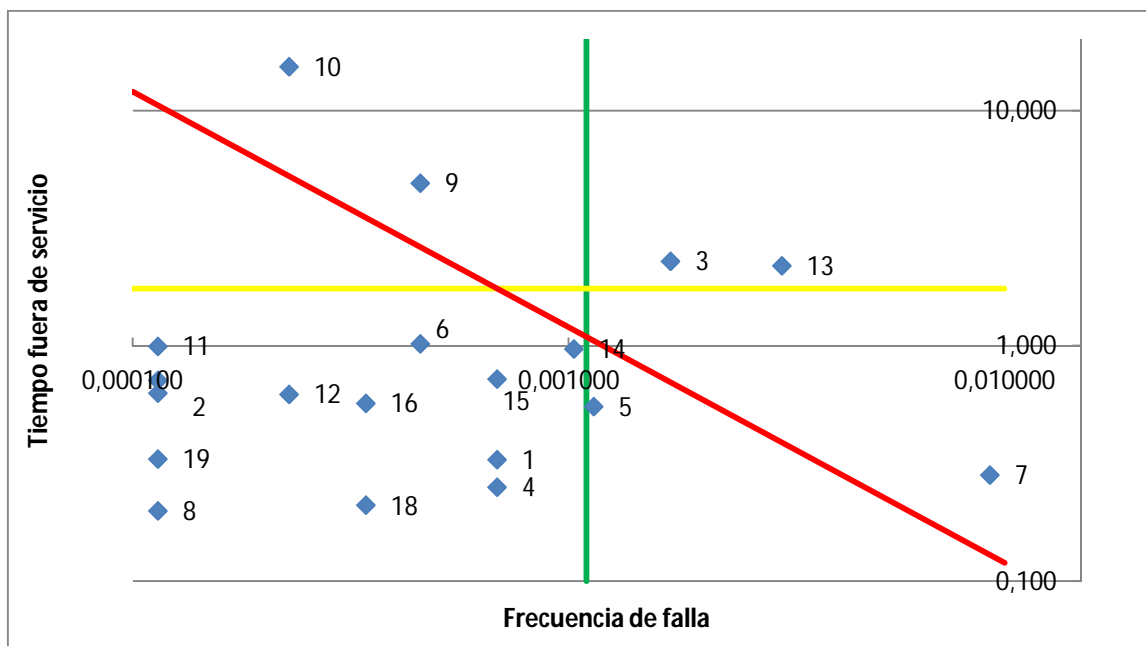


Gráfico 7.2 Parámetros a graficar para la correa 210CV06

Fuente: Propia

Al graficar se observa que el punto número trece es el foco de acción a evaluar, el cual pertenece a la cinta transportadora, teniendo 27 ocurrencias en el 2013, provocando un total de 59,4 [h] de indisponibilidad para la correa.

Como se comentó anteriormente, con esta información queda establecido el verdadero foco de acción a mejorar, pudiendo rebatir en donde deberán apuntarse en realidad los mayores esfuerzos para realizar cambios en diferentes ámbitos, resultados que se obtendrán mediante los análisis RCA que se deberán informar para cada evento en particular, velando además por el fiel cumplimiento de sus medidas correctivas, la no implementación de ellas, perjudicará completamente este análisis y no terminará aportando en aumentar el indicador de disponibilidad.

7.1.3 Diagrama Jack Knife Rotopala

Para la rotopala se realiza el mismo ejercicio que para las correas construyendo una tabla con los principales eventos ocurridos durante el 2013, y sus respectivos valores necesarios para lo obtención de la gráfica Jack Knife.

N° Falla	Tipo de Falla (en el elemento)	Frecuencia Detenciones Acumuladas [Detenciones/año]	TFS Acumulado [h/año]	Y TFS [h/Detenciones]	X Frecuencia [1/h]	Indisponibilidad
1	Comunicación	14	18,31666667	1,308333333	0,001598174	0,002090944
2	Orugas	37	87,85	2,374324324	0,004223744	0,010028539
3	Disco	6	10,28527778	1,714212963	0,000684932	0,001174118
4	Unidad hidráulica	15	40,06666667	2,671111111	0,001712329	0,00457382
5	Sala eléctrica	1	0,583333333	0,583333333	0,000114155	6,65906E-05
6	GPS	8	11,29333333	1,411666667	0,000913242	0,001289193
7	Capacho	3	3,166666667	1,055555556	0,000342466	0,000361492
8	Bomba	2	0,340277778	0,170138889	0,000228311	3,88445E-05

Tabla 7.3 Parámetros a graficar para la Rotopala

Fuente: Propia

Con la obtención de datos de la tabla anterior es posible graficar el diagrama Jack Knife, el cual entregará focos de acción según el elemento que este presentando mayor cantidad de problemas de indisponibilidad, afectando la confiabilidad y la mantenibilidad.

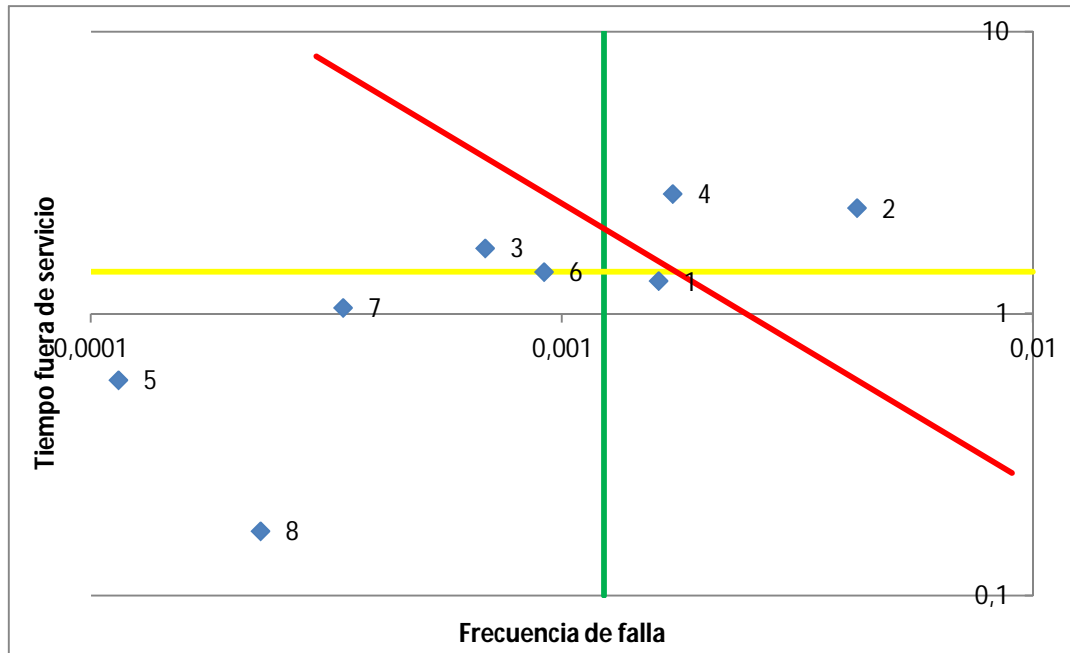


Gráfico 7.3 Parámetros a graficar para la Rotopala

Fuente: Propia

Al graficar se observa que el punto número dos es el foco de acción a evaluar, el cual pertenece a las orugas de la rotopala, teniendo 37 ocurrencias en el 2013, provocando un total de 87,85 [h] de indisponibilidad para la correa.

Este análisis al igual que para las dos correas ya estudiadas, viene a determinar matemáticamente donde se encuentran las oportunidades de mejora, y así, desde ahora en adelante, no dejar pasar eventos que tienen que ver con las orugas, a lo que construcción de informes de RCA se refiere, inclusive plasmará la incertidumbre de la correcta implementación de las medidas correctivas que se han informado como ejecutadas por cada responsable.

Otra ventaja que tiene el análisis Jack Knife, es la posibilidad de observar en la gráfica como se mueven en el tiempo las diferentes variables estudiadas (en este caso partes dañadas), pudiendo inferir sobre si han mejorado o empeorado en el tiempo.

7.2 Medidas correctivas

Ya estando identificados los focos de acción de cada equipo es posible realizar las mejoras correspondientes, entre ellas existen variadas posibilidades, que en mayor medida dependerán del modo de falla que se quiera eliminar, de forma global están descritas en el capítulo N°3, punto 3.12., enmarcándose principalmente en mejoras de gestión y a nivel de proyectos.

La experiencia en el área de confiabilidad de Bureau Veritas destaca las siguientes acciones como fundamentales en la eliminación de modos de fallas:

- Revisión de planes de mantenimientos
 - Modificación de planes de mantenimiento
 - Creación de planes de mantenimiento
 - Control de frecuencias de planes de mantenimiento
 - Incorporación de nuevas tareas en los planes de mantenimiento

- Revisión de procedimientos operacionales
 - Modificación de procedimientos operacionales
 - Creación de Procedimientos operacionales

- Revisión de repuestos
 - Creación de repuestos no existentes “Ficha Técnica”
 - Modificaciones de Stock de seguridad
 - Modificación de ROP
 - Búsquedas de proveedores y/o fabricantes

- Competencias laborales
 - Capacitaciones de mantenimiento de equipos
 - Capacitación de montaje y desmontaje de equipos
 - Capacitación de utilización del ERP

- Capacitación en inspecciones

- Modificación de elementos y componentes
 - Protocolos de pruebas
 - Soluciones de proveedores
 - Análisis de laboratorios “Peritajes”
 - Cambios en la genética de los equipos

La búsqueda de estas medidas correctivas deben ser realizadas por personal calificado, buscando información de los sucesos por medio de diferentes formas, reuniendo personas tanto internas como a externas a la empresa de ameritar, concluyendo finalmente sobre una probable causa raíz, para luego obtener las descritas medidas correctivas a implementar. Está en la tarea que en planta deben ejecutar los Ingenieros de Confiabilidad o los Ingenieros de Mantenimiento.

7.2.1 Medidas correctivas correa 210CV05

Al tener presente que el foco de acción en la correa 210CV05 es la cinta, se revisa historial de averías, de ellas se puede apreciar claramente que la cinta en mayor medida ha interrumpido el proceso productivo por daño en ella, estos daños son producidos por diversas causas, estando dentro de las principales las siguientes:

- Daño por empalmes mal confeccionados
- Daño por fricción con polines
- Daño por fricción con material acumulado

Los cortes de cinta analizados mediante RCA realizados durante el 2013 proporcionan las siguientes medidas correctivas:

1. *Habilitar definitivamente el sistema de control automático del tonelaje*
2. *Formalizar programa periódico eficaz de limpieza en cintas transportadoras*
3. *Evaluar el funcionamiento correcto de la protección de desalineamiento instalada, para asegurar su operación cuando corresponda*
4. *Preparar un plan de mejoramiento continuo para lograr que la descarga de la 210ME01 no desalinee la cinta en correa 210CV05*
5. *Presentar instructivo de comunicación y coordinación para disminuir los tiempos de respuesta para la reparación de cintas*
6. *Realizar demarcación de los límites de trabajo de los bastidores en todos los contrapesos gravitacionales, el objetivo es para descartar que la longitud total de la cinta sea menor o mayor a la establecida*
7. *Enviar información semanal de estado de todas las cintas, es decir las que se encuentren disponibles en planta en caso de emergencia (tipo y longitud)*
8. *Instalar bisagras en portalón para realizar con mayor fluidez los trabajos*
9. *Controlar el procedimiento de los protocolos de empalmes, considerando todos los parámetros técnicos necesarios y la ejecución de la actividad, para así asegurar la calidad del trabajo (registros fotográficos y/o data logger)*
10. *Modificar sistema de guías de contrapesos en altura*
11. *Mejorar y/o modificar sistema de descarga para eliminar derrames de material*
12. *Seguir implementando raspadores neumáticos en las distintas correas de la planta*
13. *Crear plan de medición de espesores de las cintas para verificar estimar su cambio*
14. *Crear Protocolo de entrega de conformidad en la confección de empalmes*

Si bien estas medidas correctivas fueron adoptadas he informadas como ejecutadas por los responsables, cabe destacar que algunas de ellas deben ser perpetuas en el tiempo, sobre todo las que tienen una periodicidad, como lo son la limpieza de estructuras periódica por acumulación de material, inspección de polines para programar cambios, medición de espesores de cintas según frecuencia, y más importante aún, el

procedimiento de empalme, el cual llama la atención que sea una mejora, esto dado que existe una empresa que se adjudicó un contrato por este tipo de reparaciones.

7.2.2 Medidas correctivas correa 210CV06

Al igual que en la correa 210CV05 el foco de acción en la correa 210CV06 es la cinta, revisando su historial de fallas, todo apunta en daño en ella, nuevamente se repiten los casos de problemas en empalmes, desgaste y/o cortes.

Los RCA del año 2013 para esta correa que hacen referencia a la cinta proponen las mismas medidas correctivas que para la correa 210CV05, tal como se indica a continuación:

- 1. Controlar el procedimiento de los protocolos de empalmes, considerando todos los parámetros técnicos necesarios y la ejecución de la actividad, para así asegurar la calidad del trabajo (registros fotográficos y/o data logger)*
- 2. Modificar sistema de guías de contrapesos en altura*
- 3. Mejorar y/o modificar sistema de descarga para eliminar derrames de material*
- 4. Seguir implementando raspadores neumáticos en las distintas correas de la Planta*
- 5. Crear plan de medición de espesores de las cintas para verificar estimar su cambio*
- 6. Crear Protocolo de Entrega de Conformidad en la confección de Empalmes*

Esto demuestra la existencia de una problemática de las cintas en esta planta de remoción de ripios, que si bien posee una empresa que presta el servicio de reparaciones, no está otorgando, al menos con los empalmes, la eficiencia que se espera, no logrando demostrar algunos puntos exigidos en el procedimiento como lo son:

- Datos de productos para empalmes utilizados, en referencia a vigencia
- Registro de productos perecibles no mayor a 3 meses
- Almacenaje a temperatura ambiente

Aun así, independiente de lo indicado anteriormente, existen otras variables que se han informado como abordadas, pero que siguen apareciendo en el tiempo, como lo son la falta de limpieza de las estructuras que aportan en el roce cinta con material, polines dañados que terminan rasgando la cinta y por consecuencia en lonjas que accionan los sensores de corte.

Todo esto termina finalmente aumentando las probabilidades de daño en las cintas, teniendo en consideración que existe una parada programada por limpieza diaria de 4 horas en toda la línea, dado esto comienza a aparecer la incertidumbre de si realmente las medidas correctivas adoptadas fueron implementadas, o si se están llevando a cabo de una forma correcta.

7.2.3 Medidas correctivas correa Rotopala

La Rotopala como tercer equipo en el ranking por horas de indisponibilidad, tiene oportunidades de mejora en sus orugas, que vienen dadas por los reiterativos problemas en el avance de ellas. Los RCA concluyeron en las siguientes medidas correctivas.

- 1. Crear instructivo para proceder cuando interfieren varias disciplinas (hidráulicas, eléctricas, electrónicas), cuando se realice el cambio de un componente, ya sea a la falla o preventivamente.*
- 2. Citar a empresa TECHNE para la normalización del sistema hidráulico de Rotopala, además de la capacitación y orientación al momento de intervenir un componente*
- 3. Crear Procedimiento de Operación de Rotopala*
- 4. Generar Plan Matriz a Orugas de Rotopala*

5. *Crear Protocolo de revisión del estado de herramientas que se utilizan en el apriete de tapones del sistema de lubricación de los planetarios de las orugas*
6. *Generar procedimiento para los cambios de los flexibles, considerando la aplicación correcta en la instalación de las bridas*

Como se puede apreciar de las medidas correctivas para disminuir las probabilidades de falla en las orugas de la rotopala, se recomiendan acciones de diversa índole, como las planteadas en el punto 7.2, llama la atención la falta de planes de mantenimiento para estas orugas, los que quizás si están en los manuales del equipo, pero no han sido incorporados al ERP (SAP), para poder emitir OT's según frecuencias con los respectivos procedimientos y check list.

La correcta ejecución de los mantenimientos necesarios es clave para la continuidad operacional de los equipos, esto queda demostrado tanto en la rotopala como en las dos correas analizadas, la falta de planes de mantenimiento y su control mediante el sistema SAP es claramente necesaria.

7.3 Seguimiento de las medidas correctivas propuestas en el 2013

Si analizamos cuantitativamente las medidas correctivas adoptadas durante el año 2013, podremos observar la cantidad de análisis de causa raíz realizados (metodología de la cual nacen las medidas correctivas), ellos deberían apuntar directamente a los equipos más críticos de la planta, y especialmente a sus focos, situación que no se está dando según el análisis que viene a continuación. En la tabla siguiente se ilustra un cuadro comparativo ordenado por equipos críticos (cantidad de horas de indisponibilidad), también se indica cantidad de RCA realizados, cantidad de medidas correctivas que nacieron de ellos y el porcentaje de cumplimiento en la implementación de las medidas correctivas.

Ranking Criticidad	Equipo	Cantidad de M. Correctivas	Cantidad de RCA	Horas de Detención	Cantidad de Detenciones	Medidas Correctivas Cerradas	Cumplimiento
1	210-CV-05	18	5	254,46	128	16	89%
2	210-CV-06	13	4	183,3	183	5	38%
3	Rotopala	6	4	171,6	86	3	50%
4	220-CV-04	20	9	155,26	107	15	75%
5	220-CV-01	18	5	151,23	196	15	83%
6	220-CV-02	13	5	141,01	175	10	77%
7	220-CV-05	5	2	136,62	58	1	20%
8	220-BM-04	6	3	121,73	40	5	83%
9	210-ME-01	4	2	60,66	32	2	50%
10	210-BM-05	1	1	46,82	30	0	0%
11	210-BM-06	0	0	29,72	49	0	100%
12	220-CV-03	0	0	18,89	13	0	100%
13	220-BM-02	0	0	9,99	7	0	100%

Tabla 7.4 Cuadro Comparativo Equipos Críticos, #RCA y Cumplimiento de M.C.

Fuente: Propia

A continuación se ilustra una gráfica comparativa que demuestra lo mencionado respecto a cantidad de RCA por equipo crítico y el porcentaje de cumplimiento de las medidas correctivas

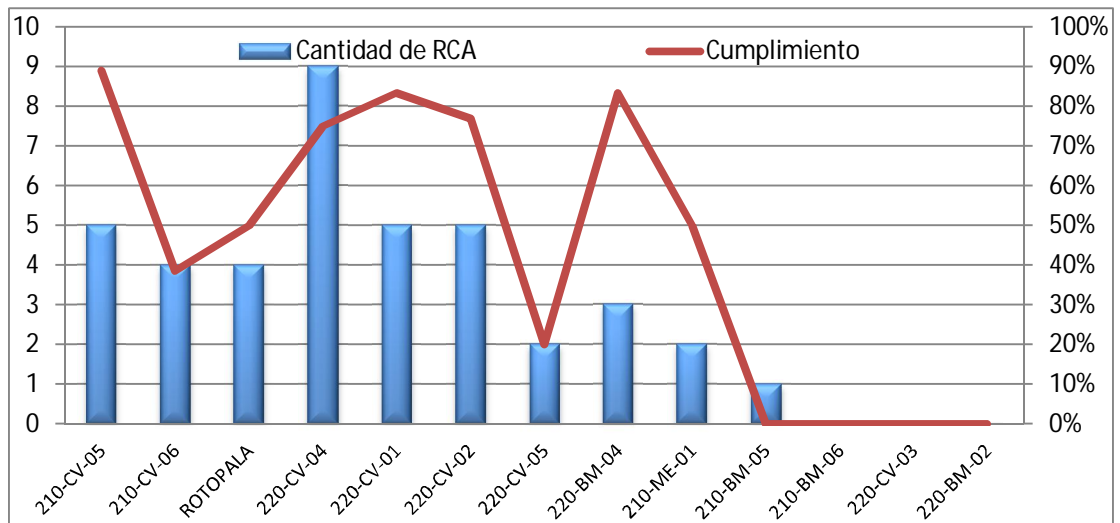


Gráfico 7.4 RCA Realizados v/s Cumplimiento de Medidas Correctivas

Fuente: Propia

De la gráfica anterior se puede inferir rápidamente que los equipos críticos fueron tratados similarmente a los equipos que han tenido menor cantidad de horas de indisponibilidad (menos criticidad), a lo que cantidad de informes RCA se refiere. La grafica del Jack-Knife demostró claramente cuáles son los focos de acción, y si se tomaron medidas correctivas para ellos, se debe velar fielmente por el cumplimiento de estas medidas correctivas.

Si los RCA apuntaran en mayor medida a los equipos más críticos (210CV-05, 210-CV-06 y la Rotopala Recuperadora), habrían mayor cantidad de medidas correctivas, y con el acto seguido de cumplir con las medidas correctivas, esto impactaría directamente en los indicadores y en consecuencia en la continuidad operacional, que es lo que está buscando mejorar el servicio de confiabilidad prestado por Bureau Veritas.

Si analizamos de forma particular la correa 210CV05 en la gráfica, se ha informado un 90% de cumplimiento de las medidas correctivas adoptadas, situación que debería impactar positivamente en la confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad de este equipo, pero se debe tener presente que el control eficiente de la implementación es fundamental para que esto ocurra, por ejemplo, indicar que se generara un protocolo de entrega de conformidad en la creación de empalmes es el primer paso, una vez este creado y validado, la recepción de este trabajo debe ser recepcionada por el supervisor de la empresa mandante, el cual deberá validar formalmente la correcta ejecución del empalme según el protocolo creado, si se vuelven a detectar problemas que nacen de la mala o deficiente creación de empalmes, es necesario comenzar a cuestionar diversas causas del no cumplimiento de la medida correctiva, o de otra medida necesaria para eliminar la causa raíz del problema.

Ahora nuevamente si realizamos en mismo análisis para la correa 210CV06, podemos indicar que de las medidas correctivas que nacieron de los RCA solo se han implementado en un 40%, situación que puede deberse a diversas causas, que terminan perjudicando el ciclo de la confiabilidad o de mejora continua que busca implementar la empresa que adquirió el servicio.

Para la Rotopala ocurre similar situación que para la correa 210CV06, posee un cumplimiento deficiente en la implementación de las medidas correctivas, incumplimiento que afecta la mejora continua que se espera obtener para el mantenimiento. Al observar las medidas correctivas de la problemática de las orugas, llama la atención la falta de un plan matriz para este equipo en el ERP, si bien se realizan actividades que quedan plasmadas en cartas Gantt, la no existencia de esta información en el sistema de administración del mantenimiento, no permite un control exhaustivo de estas actividades, además genera otra situación no menos relevante, la cual es la falta de información respecto a estos equipos para quienes están a cargo de ellos, la creación del plan matriz terminará atrapando el Know How en el sistema.

Finalmente con esta estadística, queda demostrado que poseer un control sobre las medidas correctivas y su cumplimiento respecto a los equipos críticos, acusa la ineficiencia en un ciclo que intenta mejorar finalmente el negocio.

CAPITULO VIII DESCRIPCIÓN DE ACTIVIDADES DEL SERVICIO

8.1 Necesidad de contar con la descripción del servicio

La necesidad de describir las actividades del servicio con la mejora en el análisis de datos nace de la inquietud de agregar valor al negocio por parte de Bureau Veritas, contribuyendo al orden mediante procedimientos, los cuales mejoren la gestión y la toma de decisiones respecto a medidas correctivas, por lo general se tiene bastante desconocimiento por los trabajadores de la empresa del aporte real que la confiabilidad puede lograr, y cuál es su alcance, por ende la ilustración de la confiabilidad en el ciclo de trabajo no solo clarificaría estas dudas, además proporcionaría una mejor forma de presentar el servicio a la empresa mandante, y a futuras empresas que requieran del servicio.

Como se mencionó en capítulos anteriores el registro de eventos es el primer paso, registros que Codelco lleva de una forma aceptable con códigos de averías, posteriormente estos eventos son extraídos para análisis de datos, logrando obtener de ellos indicadores; además de los indicadores, es posible hacer un análisis de oportunidades de mejora como se ilustro anteriormente, a través de la gráfica Jack Knife, estos focos de acción u oportunidades de mejora deben ser evaluados para más tarde adoptar medidas correctivas, las cuales se debe procurar su implementación, logrando aumentar la disponibilidad y por ende la continuidad operacional, todo esto termina siendo un aporte al plan maestro de gestión de activos. Antes de terminar indicando en que parte del flujo del proceso de mantenimiento de Minera Sur está el servicio de confiabilidad y sus actividades a seguir mediante un diagrama, se mencionará el ciclo de trabajo ya establecido, expresando más tarde la posición en el, la alimentación que se requiere, y la salida que se obtendrá.

- Ejecución correspondiente

El segundo, definido como Ciclo de Mejoramiento Continuo, agrega al ciclo habitual dos nuevas actividades:

- El proceso de análisis de lo ya ejecutado para la búsqueda respectiva de oportunidades de mejora (ej.: modificar el plan de mantenimiento)
- El proceso de identificación de tareas necesarias para implementar las mejoras definidas anteriormente.

Evidentemente, dependiendo del nivel de emergencia con que se requiera implementar la mejora, existirá la posibilidad de hacer un salto directamente al proceso de asignación de trabajo (línea diagonal).

El modelo de gestión del mantenimiento que posee Minera Sur y el de cualquier empresa productiva debe ser eficaz, eficiente y oportuno, es decir, debe estar alineado con los objetivos impuestos en base a las necesidades de la empresa, minimizando los costos indirectos de mantenimiento (asociados con las pérdidas de producción). A su vez, debe ser capaz de operar, producir y lograr los objetivos con el mínimo costo (minimizando los costes directos de mantenimiento), generando a su vez actividades que permitan mejorar los indicadores claves del proceso de mantenimiento, asociados a mantenibilidad y confiabilidad. Además, para generar un modelo de mantenimiento robusto y eficaz se deben considerar factores relacionados con la disponibilidad de recursos y su respectiva gestión [7].

El ciclo de trabajo del mantenimiento expuesto anteriormente, es parte del modelo de gestión, y si bien deja claros los dos ciclos que posee, a continuación se expresará visualmente en que ciclo se encuentra la Confiabilidad.

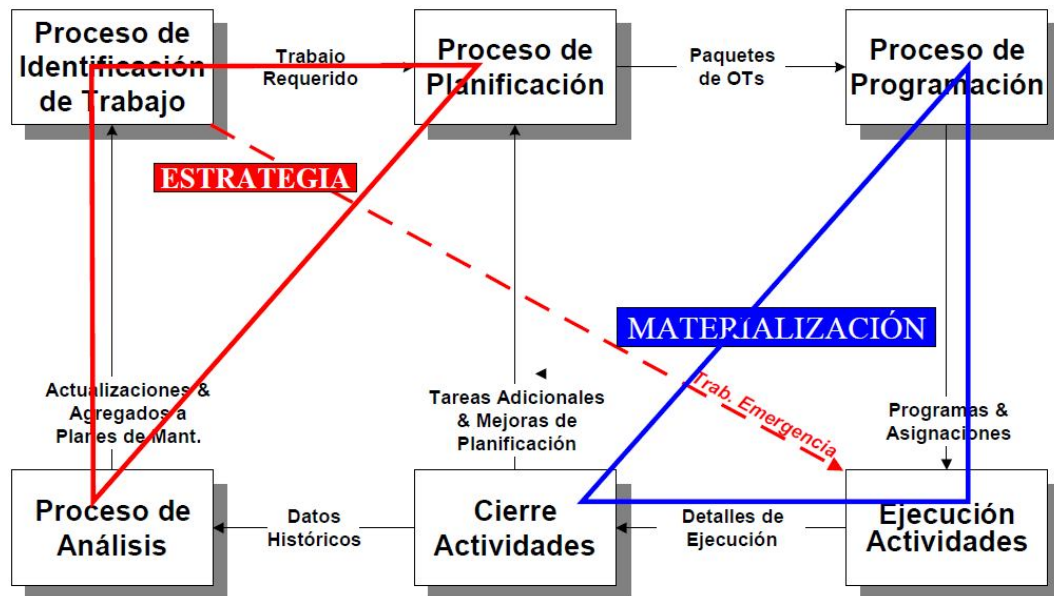


Imagen 8.2 Estrategia y Materialización de la Función Mantenimiento, Minera Sur, Codelco
Fuente: Manual para la Gestión de Mantenimiento, Corporación Nacional del Cobre [6]

Claramente la Confiabilidad se encuentra en el Ciclo de Mejoramiento continuo, recibiendo información desde el “Cierre de Actividades” por datos históricos, para que más tarde esta información se dirija a “proceso de análisis”, con ella estudiada, se logra identificar trabajos de mejoramiento “Proceso de Identificación de Trabajo” para luego alimentar el “Proceso de Planificación”, muy importante es destacar que se deben ejecutar trabajos de emergencia por la criticidad de ellos, pasando directamente hacia “Ejecución de Actividades” en el flujo (adquisición de repuestos por ejemplo).

Como se ilustra en imagen anterior, la Confiabilidad es parte de la “Estrategia”, ella alimenta, y a su vez es alimentada por la “Materialización”, completando el Ciclo de Mejoramiento Continuo. Con lo mencionado, podemos ahora describir los pasos a seguir por el servicio, y dejar en claro de que ciclo de trabajo somos parte (Mejoramiento Continuo), y cuál es nuestro alcance (Estrategia).

8.3 Flujo de análisis de datos para el ciclo del servicio de Confiabilidad.

Existen variadas consultoras de confiabilidad que ilustran sus servicios a través de ciclos y/o flujos, el flujo a ilustrarse a continuación, integra al ciclo habitual del mantenimiento y al ciclo de mejoramiento continuo, logrando abrir este último y, haciendo hincapié en base a la experiencia en puntos en específico, como lo es el seguimiento de medidas correctivas a través de indicadores. Estas tareas por lo general no son abordadas con la importancia que merecen, muchas veces por falta de conocimiento, también son vistas como trabajo irrelevante por los responsables, y tal como se ha mencionado en capítulos anteriores, son fundamentales para el análisis e imprescindibles para el ciclo de mejoramiento continuo.

Con los ciclos descritos anteriormente, y el análisis de datos expresado en este trabajo, se construye el flujo de análisis de datos, que comienza de la siguiente manera:

- I. Datos existentes en el ERP (SAP, MAXIMO, etc.)
 - Registros de averías
 - Planes de mantenimiento
 - Árbol de equipos
 - Otros
- II. Planificación de trabajos alimentados desde el ERP (paquete de OT's)
 - Trabajos correctivos
 - Trabajos preventivos
 - Trabajos Predictivos
 - Otros
- III. Programación de trabajos planificados (programación y asignación)
 - Fechas de comienzo de trabajos
 - Fechas de términos de trabajos
 - Personas a cargo de actividades
 - Otros
- IV. Ejecución de actividades (detalles de ejecución)

- Trabajos mecánicos
- Trabajos eléctricos
- Trabajos de instrumentación
- Otros

V. Cierre de actividades

- Cierre de órdenes de trabajo por parte de ejecución
- Cierre de cartas Gantt por parte de planificación
- Alimentación del ERP
- Otros

Es en este último punto donde el ciclo habitual del mantenimiento vuelve a comenzar, además sucede algo muy importante, la alimentación del ERP, su correcta alimentación permite realizar análisis de datos y da comienzo al ciclo del mejoramiento continuo.

VI. Proceso de análisis

i. Adquisición de datos

El proceso de análisis comienza con la adquisición de datos desde el ERP, para fines de ser utilizados en este trabajo, se extrae el mantenimiento correctivo que ha impactado en la producción (detención del proceso).

ii. Ajuste de curvas

En esta etapa del análisis, se utiliza la ley de Weibull para ajustar curvas probabilísticas de confiabilidad, mantenibilidad y tasa de fallas.

iii. Determinación etapa de ciclo de vida

Con el ajuste de curvas realizado anteriormente es posible determinar en qué etapa se encuentra cada equipo, información que es de utilidad para adoptar políticas de mantenimiento. Construir esta información manualmente no es viable en el tiempo, sobre todo si la línea está constituida por gran diversidad de equipo, es recomendable o necesario poseer un software.

iv. Obtención de indicadores

Dada la adquisición de datos, es posible obtener indicadores de mantenimiento, tales como: Disponibilidad, Tiempo medio entre fallas, tiempo medio para reparar, cantidad de fallas con detención del proceso, etc.

v. Análisis de criticidad

Existen variadas metodologías para determinar criticidad, para el presente trabajo se determinó el flujo del proceso identificando configuración lógica de seguridad de funcionamiento en serie para toda la planta, ello valida que todos los equipos son críticos (la detención de un equipo detiene toda la planta). Para poder jerarquizar, se utilizó el diagrama de Pareto por horas de indisponibilidad, obteniendo un ranking de equipos críticos.

vi. Oportunidades de mejora

Con el ranking de equipos críticos por indisponibilidad, es posible estudiar sus partes averiadas para detectar focos a mejorar en cada equipo, esto mediante el diagrama de Jack Knife.

VII. Proceso de identificación de trabajo

La identificación de trabajo podrá ser abordada en lapsos de tiempo que dependerán de su impacto, determinando si se trata de actividades a implementar de forma inmediata (emergencia), o si es posible realizar un estudio previo antes de su aplicación y/o planificación.

i. Gestión

Con las oportunidades de mejora identificadas, es posible estudiar cada caso para aumentar el tiempo de buen funcionamiento y/o disminuir el tiempo para reparar, uno de los campos a estudiar es la gestión, la cual se puede englobar en competencias laborales, gestión de repuestos y definición de políticas de mantenimiento.

ii. Proyectos

Al igual que en la gestión (punto anterior), es posible estudiar cada caso para aumentar el tiempo de buen funcionamiento y/o disminuir el tiempo para reparar, en estos dos puntos se realizan ACR (análisis causa raíz), obteniendo medidas correctivas tanto a nivel de equipos como a nivel de planta.

iii. Configuración del sistema

Este punto quizás es muy despreciado en las compañías y es muy relevante, la existencia de equipos críticos puede ser analizada mediante estadística, logrando determinar la viabilidad económica de configurar el sistema de una forma distinta, por ejemplo instalando un equipo stand by. Otra forma de apoyar a la planificación y al mejoramiento continuo es la creación de equipos que no estén cargados en el ERP. Este tipo de análisis no fue considerado en este trabajo.

iv. Medidas correctivas

Las medidas correctivas son el conjunto de actividades que nacen de los ACR en mayor medida, pueden abarcar mejoramiento a nivel de equipos, a nivel de planta, en las competencias laborales, en la gestión de repuestos y en la definición de políticas de mantenimiento. Las mejoras abarcadas comúnmente por el servicio prestado por Bureau Veritas están explícitas en el punto 7.2 de este trabajo. Cabe destacar que si ellas son de carácter de emergencia, su ejecución debe ser inmediata.

v. Seguimiento de las medidas correctivas

El seguimiento de las medidas correctivas es fundamental en el ciclo de mejoramiento continuo del mantenimiento, se debe tener presente que es el resultado de todo el análisis anterior, por ende la no implementación de ellas deja el trabajo anterior sin ninguna validez, a lo que mejorar aumentar el tiempo de buen funcionamiento y disminución del tiempo para reparar se refiere. Seguir el cumplimiento de la implementación de las medidas correctivas mediante indicadores es estrictamente necesario.

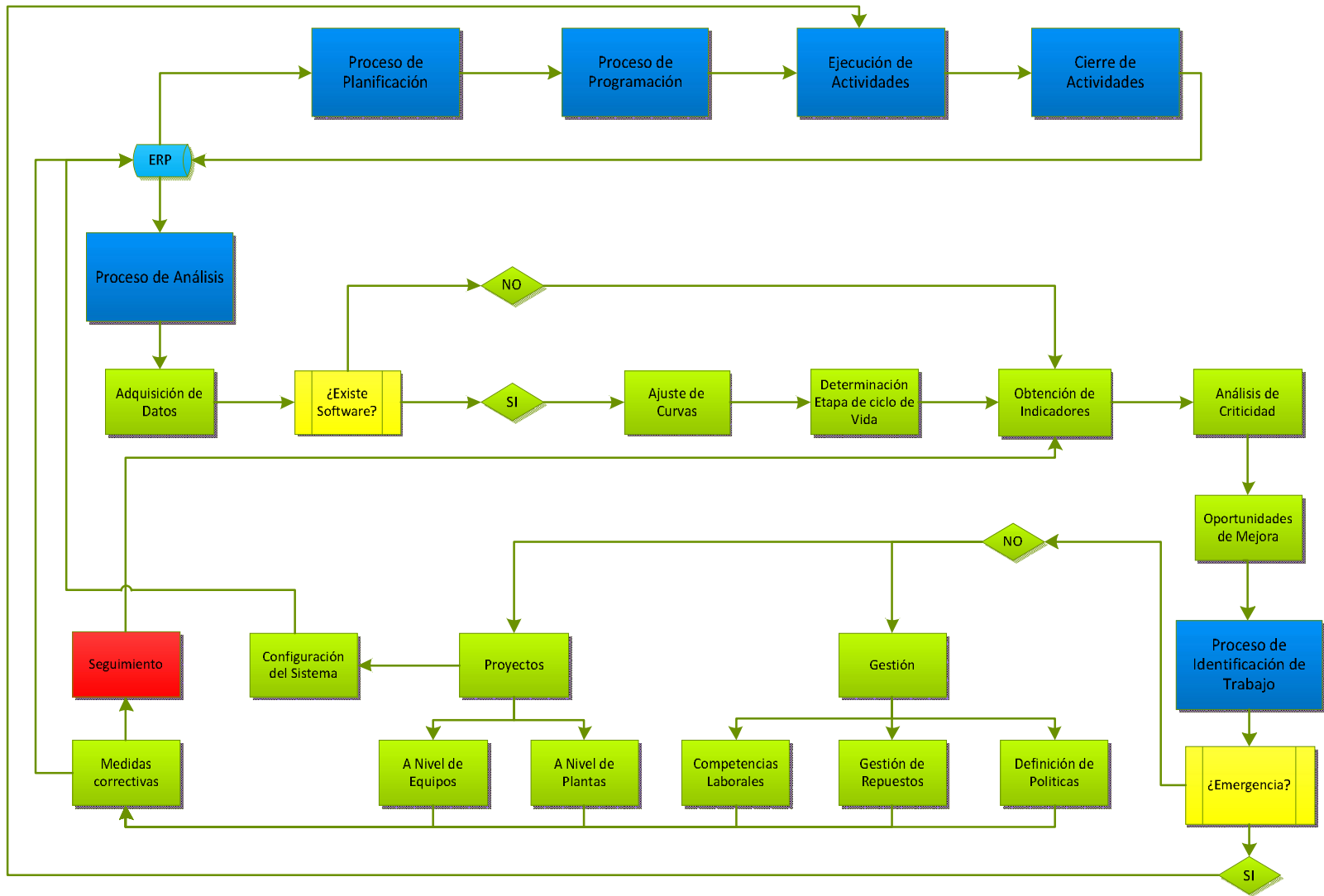


Imagen 8.3 Flujo de análisis de datos del servicio de Confiabilidad

Fuente: Propia

CAPITULO IX CONCLUSIONES

Este trabajo de título se realizó en la planta de remoción de rípios perteneciente a Codelco Chile División Chuquicamata, específicamente en Minera Sur, analizando datos históricos de averías en un lapso de tiempo de un año, con el fin de conocer focos de acción de los equipos críticos de esta unidad productiva, modelando además su confiabilidad, tasa de fallas y mantenibilidad.

Para obtener los datos se consultó en SAP el historial de averías asociados a los equipos críticos del proceso (criticidad por indisponibilidad mediante Pareto dada la configuración en serie de todos los equipos), se procedió a analizar estadísticamente los datos de los tres equipos críticos de la unidad productiva, caracterizando su comportamiento mediante la ley de Weibull, obteniendo como resultado variables importantes a analizar, para más tarde poder inferir sobre ellas y optar por las oportunidades de mejora más claras.

Los focos de acción de los equipos críticos fueron obtenidos mediante el diagrama de Jack Knife, metodología que no era utilizada en el servicio prestado a Codelco, mediante este análisis fue posible detectar las oportunidades de mejora, generando la oportunidad proponer soluciones de diversa índole. Muy importante es recalcar la importancia de las medidas correctivas propuestas mediante RCA, en el sentido de velar por el cumplimiento de ellas, al no implementarlas no se cierra el ciclo que termina aportando al plan maestro de gestión de activos, dejando el trabajo realizado con anterioridad de forma nula o deficiente.

Es muy importante destacar la relevancia que tiene el registro de actividades de mantenimiento, especificando las tareas realizadas, ya que solo así se pueden obtener información desde el ERP y, como ha quedado demostrado en este trabajo, esta información no solo es útil para el cálculo de indicadores, de ella se obtienen análisis que terminan impactando directamente en la producción, a través de mejoras en el mantenimiento, entre otras.

Otro punto a mencionar es el trabajo que conlleva el construir análisis de datos periódicos en el tiempo, sobre todos los más complejos como la Ley de Weibull, esta carga laboral podría ser disminuida y mejorada con la utilización de software. Al menos calcular indicadores sin distribuciones es mucho más factible y completamente necesario, al igual que el diagrama de Jack Knife.

Finalmente, mencionar que mediante este trabajo solo se logra demostrar una de las variadas opciones que posee la ingeniería de confiabilidad de ser un aporte para las compañías, quedan mucho por incorporar en este servicio en lo que a confiabilidad se refiere, lo anterior referido a que no se llega al nivel de evaluar económicamente redundancia de equipos o sistemas, estrategias de mantenimiento, gestión de repuestos a un alto nivel (solo mediante RCA puntuales), revisión masiva de planes de mantenimiento, inclusive el lograr empoderarse del mantenimiento predictivo, entre otros.

CAPITULO X BIBLIOGRAFÍA

- [1] A. Arata, *Ingeniería y Gestión de la Confiabilidad Operacional en Plantas Industriales*, Santiago de Chile, RIL editores, 2009.
- [2] Compañía Bureau Veritas S.A., *Quienes Somos*. [Página Web]
<<http://www.bureauveritas.cl/home/about-us/index.html>>
- [3] Corporación Nacional del Cobre, Chile (CODELCO), *La Corporación*. [Página Web]
<http://www.codelco.com/la-corporacion/prontus_codelco/2011-06-21/164601.html>
- [4] A. Arata, R. Stegmaier, *Apuntes de Ingeniería de Plantas Industriales*, Valparaíso, Universidad Técnica Federico Santa María, 1999.
- [5] Alberto Mora Gutiérrez, *Mantenimiento, Planeación, Ejecución y control*, México, Alfaomega Grupo Editor, 2009
- [6] Corporación Nacional del Cobre, Chile (CODELCO), *Manual para la Gestión del Mantenimiento*, 2013
- [7] P. Viveros, R. Stegmaier, F. Kristjanpoller, L. Barbera, A. Crespo, *Propuesta de un Modelo de Gestión de Mantenimiento y sus Principales Herramientas de Apoyo*, Revista Chilena de Ingeniería, 2013

CAPITULO XI ANEXOS

11.1 Anexo 1

Aviso	Descripción	Parte Dañada
16799370	Sensor de resbalamiento Correa 210 cv-05 (polea deflectora)	Sensor velocidad
16799387	Tripmultilink correa 210 cv-05	Tripmultilink
16809021	Revisión Voith turbo 210 cv-05	Acoplamiento Hidr.
16807766	Se retira estación de polines de retorno entre orugas N° 7 y 8 de la correa 210-CV-05, por estar reventado y generando temperatura con riesgo para la cinta. Estación retirada se deja en CAR del área 200. Problema : Estación de polines reventado generando T°. Sugerencia: Programar y reponer estación de polines retirada.	Polín
16809027	Sensor de resbalamiento Correa 210 cv-05 (polea deflectora)	Sensor velocidad
16809028	Sensor de resbalamiento Correa 210 cv-05 (polea deflectora)	Sensor velocidad
16820342	Se cambia estación de polín recto sector Oruga 1B Correa 210 cv-05 (estaba dañando la cinta).	Polín
16820344	Correa 210 cv-05 trip multilink (no real)	Tripmultilink
16820345	Correa 210 cv-05 se retira base sensor de resbalamiento.	Sensor velocidad
16820347	Se repone sensor de resbalamiento Correa 210 cv-05	Sensor velocidad
16820349	Ajuste sensor de resbalamiento Correa 210 cv-05	Sensor velocidad
16823710	Acoplamiento Pluma Correa 210 cv-05 con Hopper 06.	Acop. Equipos
16823735	Acoplamiento Pluma Correa 210 cv-05 con Hopper 06.	Acop. Equipos
16826187	Correa 210cv05, problema con sensor de resbalamiento, se ajusta.	Sensor velocidad
16826190	Correa 210cv05, problema con sensor de resbalamiento, se ajusta.	Sensor velocidad
16828056	Sensor de Velocidad Cero Polea Deflectora Correa 210 cv-05	Sensor velocidad
16828058	Sensor de resbalamiento Correa 210 cv-05. Se cambia sensor.	Sensor velocidad
16834314	Ruido en polea Culata Correa 210 cv-05	Polea
16836300	Prob. Oruga N° 1A Puente Roto Pala	Oruga
16867223	23:00 – 23:30 falla oruga 1 A puente rotopala, se chequea con PG, indicando "Falla run time". Se resetea queda operativa.	Oruga
16869204	Relleno Aceite Hidráulico Oruga N° 8 Roto Pala	Oruga
16869206	Corte Lonja Correa 210 cv-05	Cinta
16870343	SE ACTIVA PROTECCION SIMOCODE ORUGA 1A, SE ACTIVA FALLO SIMOCODE LED DE FALLA EXTERNA ENCENDIDA PARPADEANDO, SE REALIZA SETEO NA DA CONDICION DE UN TIEMPO DA CONDICION. QUEDA OPERATIVA	Oruga
16870344	SE ACTIVA PROTECCION SIMOCODE ORUGA 1A, SE ACTIVA FALLO SIMOCODE LED DE FALLA ENCENDIDO ELECTYRONICO REALIZA CAMBIO DE CONECTOR PROFIBUS SE HABILITA QUEDA FUNCIONANDO.	Oruga
16870945	Problema Simocode Oruga N° 1A puente Roto Pala	Oruga
16873152	Problema con stringpot Oruga N° 3 Puente Roto Pala	Stringpot
16873155	Mecánicos instalando polines de retorno en Correa 210 cv-05	Polín
16873158	Personal electrónicos normalizando Oruga N° 3 Puente Roto Pala	Oruga
16872331	SE ACTIVA PROTECCION SIMOCODE ORUGA 1A, SE ACTIVA PROTECCION SIMOCODE SE REALIZA SETEO.	Oruga
16872334	SE ACTIVA PROTECCION SIMOCODE ORUGA 1A, SE ACTIVA PROTECCION SIMOCODE SE PROCEDE A CAMBIO DE CONTACTOR, QUEDA OPERATIVO.	Oruga
16881069	1:35 – 21:45 operaciones solicita revisar alumbrado de oruga 6 rotopala, contactor y las líneas de fuerza y control se encuentran sueltas, producto de la vibración.	Oruga
16887378	Se toman temperaturas en Voith turbo del sistema motriz de la correa 210cv-05, al reinicio de la operación	Acoplamiento Hidr.
16896835	Corte de cinta correa 210cv05	Cinta

16904881	Se cambian de posición laines en polea deflectora en motores de transmisión correa 210cv05.	Polea
16939177	Correa 210cv05, trip velocidad cero, queda con bypass.	Sensor velocidad
16955147	Corte Lonja Corra 210 cv-05	Cinta
16964547	Corte capa de cinta Correa 210 cv-05	Cinta
16968260	Reparación cinta Correa 210 cv-05	Cinta
16966273	Planta : Remoción Ripios. Equipo : Correa 210-CV-05. Interv. : Se retira estación de polines de carga entre las orugas 1-B- y N°1, por estar reventado y generando temperatura con riesgo para la correa, estación retirada se deja en CAR, programar su reposición Personal : Un jefe de turno y dos mecánicos. Tiempo hh : Inicio 17:00 hrs a 17:30 hrs Problema : Estación de polines con rodillos reventados generando T°. Sugerencia: Programar su reposición.	Polín
16967931	Retiro estación de polín Recto Oruga 6	Polín
16967934	Rep. Cinta Correa 210 cv-05	Cinta
16967980	Cambio Polín Recto culata, 210 cv-05	Polín
16968157	Normalización Oruga N° 7 Puente Roto Pala.	Oruga
16978265	Falla Oruga N° 7, Rectificación y Mala Calidad GPS (Roto Pala)	Oruga
16978266	Falla Oruga N° 7, Rectificación y Mala Calidad GPS (Roto Pala)	Oruga
16978332	Desalineamiento Correa 210 cv-05. Problema con oruga N° 7.	Cinta
16978336	Desalineamiento Correa 210 cv-05. Problema con oruga N° 7.	Cinta
16986076	Por elongación correa 210cv05, mecánicos turno, corren pasador carro tensor 210cv05.	Cinta
16997572	Prob. GPS Roto Pala y Desalineamiento Correa 210 cv-05	GPS
16997573	Desalineamiento Correa 210 cv-05	Cinta
16997577	Sensor de velocidad Cero Polea Correa 210 cv-05	Sensor velocidad
17000457	Corte empalme Correa 210 cv-05. Reparación con empalme vulcanizado.	Cinta
17005051	Desalineamiento de Correa 210 cv-05.	Cinta
17005079	Corte de lonja Correa 210 cv-05.	Cinta
17018470	Detenido por sensor máxima tensión 210 cv-05.	Cinta
17026011	Correa 210cv05, activación sensor resbalamiento, queda con by-pass.	Sensor resbalamiento
17030099	Ajuste Carro Tensor Correa 210 cv-05.	Cinta
17030143	Prob. Con Carro Tensor Correa 210 cv-05	Carro tensor
17059692	Correa 210cv05, detenida por sensor resbalamiento y T° en motor.	Sensor resbalamiento
17068546	SE DETIENE EN FORMA REITERATIVA ORUGA 7, POR PROBLEMAS EN CABLE DE CONTROL	Oruga
17077131	Retiro polín correa 210cv05.	Polín
17081964	Sensor de Velocidad. Cero Correa 210 cv-05	Sensor velocidad
17081965	Sensor de Velocidad. Cero Correa 210 cv-05	Sensor velocidad
17085915	Desviación Sector Oruga N° 8 (Prob. GPS).	Oruga
17085916	Partidas reiteradas Correa 210 cv-05	Sensor T°
17085994	Quiebre estructural Puente Roto Pala (Falla comunicación Oruga N° 8).	Puente
17097852	210cv05, det. por sensor velocidad cero	Sensor velocidad
17097917	Correa 210cv05, detenida por T° alta y varias alarmas.	Sensor T°
17117206	Sensor de Velocidad. Cero Correa 210 cv-05	Sensor velocidad
17127990	Falla Profibus Correa 210 cv-05	Comunicación
17138354	Planta: Apilamiento. Equipo : Correa 210-CV-05 Interv. : Se abren descansos de la polea de cola en la correa 210-CV-05 por encontrarse con temperatura elevada, se limpia la grasa degradada, se reaprieta manguito de fijación y se engrasan nuevamente. Personal : Un jefe de turno y dos mecánicos Tiempo hh: Inicio 01:40 hrs a 03:00 hrs	Polea

	Problema : Correa se detiene por alarma de T° elevada. Sugerencia: Chequear en turno "A" por persistir ruido anormal en rodamientos.	
17141078	Ajuste Carro Tensor correa 210 cv-05	Sist. Tensor
17142443	14:29 - 14:50 Opera protección multilink por alta T° motor RTD 8, correspondiente a los descansos del motor. Se chequea en terreno con instrumento, esta no es real, por lo que se solicita a electrónico forzar dicha condición (folio forzamiento N°1372).	Motor
17169313	210cv05, trip multilink, correa descentrada, se genera atollo.	Tripmultilink
17179334	Electrónicos reparan Sensor de Velocidad Cero Correa 210 cv-05.	Sensor velocidad
17182876	Desalinamiento culata Correa 210 cv-05	Puente
17195005	210cv05, sensor resbalamiento fuera de posición.	Sensor resbalamiento
17195051	Haciendo Curva S en Oruga 8, Roto Pala se detiene y sigue avanzando puente y se salen faldones en Hopper 05.	Comunicación
17208804	Correa 210cv05, sensor resbalamiento polea motriz.	Sensor resbalamiento
17208805	Correa 210cv05, ajuste sensor de velocidad.	Sensor velocidad
17220903	Prob. Oruga N° 2 fuerte quiebres (apoyo: eléctricos y mecánicos)	Oruga
17220904	Corte Lonja Correa 210 cv-05 (20 cm ancho y 15 m largo) Se cambia cinta OT 98052831	Cinta
17220907	Corte Lonja 210 cv-05. Se cambia cinta OT 98052831	Cinta
17221013	Reparación sensor resbalamiento 210cv05	Sensor resbalamiento
17221227	Corte Lonja Correa 210 cv-05 (20 cm ancho y 15 m largo) MANTENIMIENTO REALIZADO EN LA ORDEN A 98052831	Cinta
17221230	Corte Lonja Correa 210 cv-05 MANTENIMIENTO REALIZADO EN LA ORDEN 98052831	Cinta
17224013	Sensor de resbalamiento correa 210 cv-05	Sensor resbalamiento
17226368	Sensor de resbalamiento correa 210 cv-05	Sensor resbalamiento
17226370	Cilindro tensor presenta fuga. e rellena con aceite hidráulico (20 lts.) cilindro tensor presenta fuga, bota todo el aceite (Correa 210 cv-05 y Oruga 1B puente Roto Pala	Sist. Tensor
17242702	Sensor de Velocidad Cero, 210 cv-05	Sensor velocidad
17274254	Prob. Avance puente, GPS orugas N° 1 - N° 8.	GPS
17274255	Desalineamiento Correa 210 cv-05	Puente
17288961	Reparación empalme correa 210 cv-05	Cinta
17288967	Correa 210cv05, corte correa mecánico.	Sensor corte correa
17289033	Reparación y reseteo GPS Oruga N° 1 y N° 8, sin carga.	GPS
17285365	210 CV 05 Rotura de polea tensora Pos-2. Reparar CT 210CV05 que se cortó por causa de daño en polea deflectora. Se detiene la operación de la planta a las 19:20 horas por rotura en el manto de la polea deflectora en la pluma de la correa. Esta rotura de manto daña la cinta, las correas quedan con carga. Trabajos a ejecutar: Cambio de polea. Reparación de Cinta. Vulca Problema detectado en la semana 38 OT: 98141180	Polea
17287698	Equipo Intervenido: Correa 210CV05 Causa de la intervención: Cambiar polea deflectora Materiales y repuestos utilizados:1 polea Personal que interviene:2 Mecánicos Tiempo dedicado a la intervención:02:50 Observaciones: Correa cortada	Polea
17285342	Reparar CT 210CV05 que se cortó por causa de daño en polea deflectora. -A las 19:50 se recibe llamado de jefe turno operaciones, informando que se cortó la correa. Se acude a evaluar el corte que está entre orugas 1A-1B cerca de polea de cabeza y se programan las actividades en terreno. Personal mecánico cambia polea dañada y procedemos a intentar juntar puntas para hacer empalme mecánico, esto último no es posible por la carga de la correa que tiene combas. Para juntar puntas, se debe agregar un tramo de 7m aprox. y después eliminar. No es necesario agregar tramo, porque el desplazamiento del carro tensor permite acortar en 2,5m. La correa está con carga. -Se pasó tramo de correa sobre polines y se encontró que las puntas estaban separadas en 9,8 m, se comenzó a hacer maniobras con equipo de tiro para poder juntar puntas a 9,5m. Posteriormente se comenzó a preparar punta, pegar, armar equipo superior y vulcanizar. En estos momentos se está vulcanizando y se termina a las 7:30 horas. Turno A debe	Cinta

	retirar equipos.	
17291310	Normalización Correa 210 cv-05	Cinta
17354184	Correa 210 cv-05 no sale (personal electrónicos en SBL)	Externa
17369764	Reparación Cinta Correa 210 cv-05	Cinta
17376632	Rep. Fusible Mecánico Orugas N° 8 y 9.	Oruga
17376639	Prob. Avance Oruga N° 8	Oruga
17383669	10:19 - 11:19 Falla trafo control oruga 8 puente rotopala	Oruga
17386255	Corte cinta Correa 210 cv-05 (Empalme)	Cinta
17385050	Se recibe llamado de Sr. Guillermo Cruces para inspección por corte de correa. Personal de TTM Acude al sector. - Se determina realizar union mecánica para girar la cinta, vaciar y realizar empalme vulcanizado.	Cinta
17388444	Prob. Avance oruga N° 8 Puente Roto Pala	Oruga
17397250	210 cv 05 intervención 05/11/13 planta detenida (continua turno c) 21:00 a 22:30 act: en cinta 210 cv 05 se dio vuelta en dos punto se solicita a operación aseo en sector retorno, y se deshabilita raspadores en cabecera se realiza prueba cinta no sale por estar pillada con carga en Hopper 5, queda pendiente para turno c realizar pruebas	Cinta
17398682	Reparación en frío 210CV06, CAUTEC. Se realiza corte de pequeñas lonjas, en el centro de la cinta (Medallones).	Cinta
17401363	Reparación en frío 210CV05, TTM. Se realiza reparación con fourthane, en zona sin cubierta, afectando en parte a empalme.	Cinta
17403673	Reparación en frío 210CV05, Cautec. Se realiza reparación en frío, en zona de empalme con 4 kit de fourthane y 6 grampas.	Cinta
17406032	Revisión Correa 210 cv-05 empalme dañado	Cinta
17410023	Reparación correa 210CV05 (TTM). Se repara dos daños pasados y uno con desgaste. Se ocupan 8 grapas, 1 kit de fourthane y 1 metro de parche por 30 cms.	Cinta
17410418	Reparación en frío CT 210CV05 TTM. CT 210CV05 Rípios PTMP; se repara daño transversal con grapas y parches / Ejecuta TTM Causa: Daño operacional	Cinta
17411126	Planta : Remoción Rípios Equipo : Correa 210-CV-05. Interv. : Se destensa correa 210-CV-05 por corte longitudinal, el supervisor de turno determina cambiar tramo, se procede a correr el carro tensor y se traslada plataforma y sube al puente para que personal vulca pueda trabajar, además se retiran seis estaciones de polines de carga de la zona del empalme, se trabaja con camión pluma N° 3414. Personal : Un jefe de turno y dos mecánicos. Tiempo : Inicio 15:45 hrs a 21:30 hrs	Cinta
17410420	Cambio de tramo CT 210CV05 TTM. CT 210CV05; Rípios PTMP; cambio de tramo en correa 12 m / Ejecuta TTM Causa: Daño operacional -Del daño reparado horas antes se engancha una grapa en raspador y genera finalmente daño de 20 cm x 1 m de largo. Se determina cambiar tramo. Turno C debe continuar trabajos	Cinta
17414836	Trip Alarma Carro tensor, 210 cv-05	Carro tensor
17414851	Reparación carro tensor 210 cv-05	Carro tensor
17413812	Reparación en frío CT 210CV05, TTM. Se realiza reparación en frío, en desprendimiento de cubierta de retorno, se aplican parches en frío y fourthane.	Cinta
17431395	Corte de lonja CT 210CV05 TTM. -Se corta lonja de 4" de ancho por 12" de largo, lado izquierdo sentido de giro, en zona de empalme	Cinta
17431463	Reparación en frío CT 210CV05 TTM. Reparación con fourthane. 3 kit.	Cinta
17444740	Correa 210cv05, mecánicos corren un espacio en carro tensor.	Carro tensor
17458618	Correa 210cv05, detenida por sensor resbalamiento.	Trip resbalamiento
17458638	Sensor de resbalamiento Correa 210 cv-05	Trip resbalamiento
17458652	Limite carrera Correa 210 cv-05 (correa con carga).	Trip resbalamiento
17461356	Trip de resbalamiento Polea Deflectora, Correa 210 cv-05.	Trip resbalamiento

17479379	Correa 210cv05, detenida por sensor resbalamiento.	Trip resbalamiento
17491816	Correa 210 cv-05, detenida por sensor polea motriz, paleta quebrada.	Polea

Tabla 10.1 Avisos de averías correa 210CV05

Fuente: SAP PM CODELCO

11.2 Anexo 2

TBF	evento	TBF ordenado	F(t)	R(t)	X ln(t)	Yln(-ln(R(t)))
	1	0,150	0,00586265	0,99413735	-1,897119985	-5,136215636
9,65	2	0,200	0,01423786	0,98576214	-1,609437913	-4,244689425
72,45	3	0,517	0,02261307	0,97738693	-0,660357358	-3,777812895
3,35	4	0,567	0,03098827	0,96901173	-0,567984037	-3,458448385
14,62	5	0,617	0,03936348	0,96063652	-0,48342665	-3,214904301
2,72	6	0,778	0,04773869	0,95226131	-0,251314428	-3,017654822
173,20	7	1,000	0,05611390	0,94388610	-5,82077E-11	-2,851635741
14,48	8	1,008	0,06448911	0,93551089	0,008298803	-2,70811278
7,08	9	1,267	0,07286432	0,92713568	0,236388778	-2,581566972
0,62	10	1,367	0,08123953	0,91876047	0,312374685	-2,468287512
2,50	11	1,506	0,08961474	0,91038526	0,40916197	-2,365659014
24,25	12	1,750	0,09798995	0,90201005	0,559615788	-2,271768666
0,00	13	2,167	0,10636516	0,89363484	0,773189888	-2,185175081
36,17	14	2,267	0,11474037	0,88525963	0,818310324	-2,104765027
1,01	15	2,291	0,12311558	0,87688442	0,829036901	-2,029660759
12,00	16	2,500	0,13149079	0,86850921	0,916290732	-1,959157914
6,18	17	2,681	0,13986600	0,86013400	0,986334902	-1,892682618
119,38	18	2,717	0,14824121	0,85175879	0,999405639	-1,829761083
20,63	19	3,033	0,15661642	0,84338358	1,109662125	-1,769997579
436,62	20	3,167	0,16499162	0,83500838	1,15267951	-1,713058143
9,48	21	3,250	0,17336683	0,82663317	1,178654996	-1,658658333
3,83	22	3,350	0,18174204	0,81825796	1,208960346	-1,606553866
28,26	23	3,833	0,19011725	0,80988275	1,343734747	-1,556533374
1,51	24	4,200	0,19849246	0,80150754	1,435084525	-1,508412719
1,27	25	4,417	0,20686767	0,79313233	1,485385264	-1,462030485
6,95	26	5,067	0,21524288	0,78475712	1,622683139	-1,417244362
5,45	27	5,450	0,22361809	0,77638191	1,695615609	-1,373928224
0,00	28	6,033	0,23199330	0,76800670	1,79729965	-1,331969743
2,29	29	6,167	0,24036851	0,75963149	1,819158443	-1,291268426
0,78	30	6,183	0,24874372	0,75125628	1,8218575	-1,251733986
149,07	31	6,400	0,25711893	0,74288107	1,85629799	-1,21328499
73,75	32	6,950	0,26549414	0,73450586	1,93874166	-1,17584771
124,17	33	7,083	0,27386935	0,72613065	1,957744607	-1,13935517
57,77	34	7,500	0,28224456	0,71775544	2,014903021	-1,103746319
489,60	35	7,567	0,29061977	0,70938023	2,023752636	-1,068965337
130,80	36	7,683	0,29899497	0,70100503	2,039053481	-1,034961033
176,65	37	7,950	0,30737018	0,69262982	2,073171929	-1,001686327

10,00	38	8,817	0,31574539	0,68425461	2,17664387	-0,969097805
2,27	39	9,167	0,32412060	0,67587940	2,215573716	-0,937155327
8,82	40	9,483	0,33249581	0,66750419	2,249535872	-0,905821686
7,68	41	9,650	0,34087102	0,65912898	2,266957915	-0,875062311
23,17	42	9,883	0,34924623	0,65075377	2,290849837	-0,844845003
0,00	43	10,000	0,35762144	0,64237856	2,302585093	-0,815139705
127,80	44	10,500	0,36599665	0,63400335	2,351375257	-0,785918297
1,00	45	11,067	0,37437186	0,62562814	2,403937587	-0,757154411
37,35	46	11,467	0,38274707	0,61725293	2,439444276	-0,728823268
3,03	47	12,000	0,39112228	0,60887772	2,48490665	-0,700901535
96,38	48	12,133	0,39949749	0,60050251	2,495956486	-0,673367194
129,43	49	14,483	0,40787270	0,59212730	2,672998563	-0,646199421
1,75	50	14,617	0,41624791	0,58375209	2,68216243	-0,619378483
10,50	51	14,850	0,42462312	0,57537688	2,697999865	-0,592885639
21,23	52	15,917	0,43299832	0,56700168	2,767366778	-0,566703057
28,98	53	19,738	0,44137353	0,55862647	2,982534453	-0,540813726
14,85	54	20,633	0,44974874	0,55025126	3,026907891	-0,515201391
159,68	55	20,867	0,45812395	0,54187605	3,038152989	-0,489850482
80,88	56	21,233	0,46649916	0,53350084	3,055572274	-0,464746053
25,85	57	22,333	0,47487437	0,52512563	3,106080331	-0,439873723
37,38	58	23,167	0,48324958	0,51675042	3,142714464	-0,415219624
391,38	59	23,767	0,49162479	0,50837521	3,168284039	-0,390770352
124,75	60	24,250	0,50000000	0,50000000	3,188416617	-0,366512921
76,73	61	24,500	0,50837521	0,49162479	3,198673118	-0,342434713
25,98	62	25,850	0,51675042	0,48324958	3,252310601	-0,318523446
0,57	63	25,983	0,52512563	0,47487437	3,257455307	-0,294767125
22,33	64	28,000	0,53350084	0,46649916	3,33220451	-0,271154011
-0,80	65	28,264	0,54187605	0,45812395	3,341584979	-0,247672579
7,57	66	28,983	0,55025126	0,44974874	3,366720952	-0,224311484
154,58	67	29,783	0,55862647	0,44137353	3,393948953	-0,201059527
35,70	68	35,700	0,56700168	0,43299832	3,575150689	-0,177905618
184,95	69	36,167	0,57537688	0,42462312	3,588137884	-0,154838744
124,60	70	37,350	0,58375209	0,41624791	3,620332912	-0,131847933
138,72	71	37,383	0,59212730	0,40787270	3,621224972	-0,108922217
4,20	72	45,533	0,60050251	0,39949749	3,818444658	-0,086050599
79,25	73	50,867	0,60887772	0,39112228	3,92920783	-0,063222016
358,19	74	55,200	0,61725293	0,38274707	4,010962953	-0,040425299
59,43	75	57,775	0,62562814	0,37437186	4,056556156	-0,017649134
80,17	76	59,433	0,63400335	0,36599665	4,084855236	0,00511798
105,92	77	59,517	0,64237856	0,35762144	4,086256385	0,027887776
45,53	78	63,933	0,65075377	0,34924623	4,157840874	0,05067227
134,85	79	72,450	0,65912898	0,34087102	4,282896669	0,073483807
0,15	80	73,750	0,66750419	0,33249581	4,300680995	0,096335121
128,47	81	76,733	0,67587940	0,32412060	4,340336208	0,119239398
6,17	82	79,250	0,68425461	0,31574539	4,372607413	0,14221034
9,88	83	80,167	0,69262982	0,30737018	4,384107801	0,165262242
9,17	84	80,883	0,70100503	0,29899497	4,393007787	0,188410078
55,20	85	85,900	0,70938023	0,29061977	4,453183829	0,211669588
4,42	86	92,567	0,71775544	0,28224456	4,527929106	0,23505739

29,78	87	96,383	0,72613065	0,27386935	4,568333296	0,258591096
23,77	88	105,917	0,73450586	0,26549414	4,662652621	0,282289448
2,17	89	107,493	0,74288107	0,25711893	4,67742883	0,306172476
132,50	90	113,850	0,75125628	0,24874372	4,734881793	0,330261673
383,58	91	119,383	0,75963149	0,24036851	4,782339604	0,354580206
6,03	92	122,150	0,76800670	0,23199330	4,805249798	0,379153157
11,07	93	124,167	0,77638191	0,22361809	4,821624749	0,404007804
5,07	94	124,600	0,78475712	0,21524288	4,825108606	0,429173958
92,57	95	124,750	0,79313233	0,20686767	4,826311735	0,454684359
125,50	96	125,500	0,80150754	0,19849246	4,832305759	0,480575149
-2,67	97	126,683	0,80988275	0,19011725	4,841690534	0,506886441
0,00	98	127,800	0,81825796	0,18174204	4,850466542	0,533663018
0,00	99	128,467	0,82663317	0,17336683	4,855669467	0,560955177
683,52	100	129,433	0,83500838	0,16499162	4,863165948	0,588819778
85,90	101	130,800	0,84338358	0,15661642	4,873669439	0,61732156
63,93	102	132,500	0,85175879	0,14824121	4,886582645	0,646534788
3,17	103	134,850	0,86013400	0,13986600	4,90416305	0,676545371
19,74	104	138,717	0,86850921	0,13149079	4,932433484	0,707453598
113,85	105	149,067	0,87688442	0,12311558	5,004393633	0,739377742
-36,50	106	154,583	0,88525963	0,11474037	5,040733325	0,772458868
3,25	107	159,683	0,89363484	0,10636516	5,073192687	0,8068674
2,68	108	164,750	0,90201005	0,09798995	5,104429173	0,842812255
107,49	109	168,733	0,91038526	0,08961474	5,128319559	0,880553894
24,50	110	173,200	0,91876047	0,08123953	5,154446996	0,920423506
28,00	111	176,650	0,92713568	0,07286432	5,174170374	0,962852195
15,92	112	184,950	0,93551089	0,06448911	5,220085518	1,008417257
59,52	113	241,800	0,94388610	0,05611390	5,488110938	1,057919339
7,95	114	358,192	0,95226131	0,04773869	5,881068225	1,112519476
1,37	115	383,583	0,96063652	0,03936348	5,949556894	1,174003176
0,52	116	391,383	0,96901173	0,03098827	5,969687472	1,245348803
11,47	117	436,619	0,97738693	0,02261307	6,079060707	1,332162153
0,20	118	489,600	0,98576214	0,01423786	6,193588731	1,447354406
6,40	119	683,517	0,99413735	0,00586265	6,52725104	1,636888503
126,68						
12,13						
164,75						
122,15						
50,87						
7,50						
20,87						
241,80						
168,73						

Tabla 10.2 Tiempos de buen funcionamiento, R(t), F(t), X e Y linealizados

Fuente: Propia

11.3 Anexo 3

TTR entero	evento	TTR ordenado	M(t)	1-M(t)	X ln(t)	Yln(-ln(1-M(t)))	X ln(t-gamma max)	Yln(-ln(1-M(t)))
0,47	1	0,083	0,55%	99,45%	-2,484906651	-5,209093266	-7,221698657	-5,209093266
2,15	2	0,092	1,32%	98,68%	-2,383554157	-4,31786539	-4,643968265	-4,31786539
0,30	3							
0,90	4	0,117	2,88%	97,12%	-2,148434413	-3,532233425	-3,379517287	-3,532233425
0,42	5							
0,17	6							
1,30	7	0,133	5,22%	94,78%	-2,01490302	-2,926366835	-2,981226778	-2,926366835
0,38	8	0,150	6,00%	94,00%	-1,897119985	-2,783168278	-2,697151403	-2,783168278
1,22	9	0,161	6,78%	93,22%	-1,825661021	-2,656951579	-2,544550441	-2,656951579
0,18	10							
0,32	11							
3,17	12							
3,17	13							
0,97	14	0,167	10,67%	89,33%	-1,791759469	-2,181869764	-2,476178129	-2,181869764
0,58	15							
0,55	16	0,183	12,23%	87,77%	-1,696449289	-2,036987828	-2,295306044	-2,036987828
0,43	17							
0,80	18							
0,35	19	0,217	14,56%	85,44%	-1,529395205	-1,848958437	-2,009438773	-1,848958437
0,50	20							
0,25	21	0,233	16,12%	83,88%	-1,455287232	-1,738403703	-1,892261403	-1,738403703
0,52	22							
0,82	23							
0,16	24	0,250	18,46%	81,54%	-1,386294361	-1,589383977	-1,787385685	-1,589383977
0,78	25	0,283	19,24%	80,76%	-1,261131218	-1,543424186	-1,605791765	-1,543424186
1,00	26	0,300	20,02%	79,98%	-1,203972805	-1,499067732	-1,526029059	-1,499067732
0,22	27							
0,38	28	0,317	21,57%	78,43%	-1,149905583	-1,414674941	-1,452161151	-1,414674941
0,09	29							
0,97	30	0,333	23,13%	76,87%	-1,098612289	-1,335352438	-1,383376381	-1,335352438
0,17	31							
0,33	32	0,350	24,69%	75,31%	-1,049822124	-1,260412692	-1,319019984	-1,260412692
4,00	33							
0,66	34	0,367	26,25%	73,75%	-1,003302109	-1,18929311	-1,258556088	-1,18929311
0,62	35							
1,55	36							
1,35	37	0,383	28,58%	71,42%	-0,958850346	-1,08877678	-1,201540563	-1,08877678
2,68	38							
0,28	39							
0,50	40	0,400	30,92%	69,08%	-0,916290732	-0,994548258	-1,147601207	-0,994548258
2,77	41							
0,42	42							
1,02	43							
1,60	44							

2,92	45							
0,13	46	0,417	35,59%	64,41%	-0,875468737	-0,821137862	-1,096423005	-0,821137862
5,63	47							
1,12	48							
2,00	49	0,433	37,93%	62,07%	-0,836248024	-0,740488703	-1,047736984	-0,740488703
0,42	50							
0,25	51							
31,02	52							
0,17	53							
0,37	54	0,467	41,82%	58,18%	-0,762140052	-0,613097767	-0,95694635	-0,613097767
0,12	55	0,483	42,60%	57,40%	-0,727048732	-0,588521269	-0,914465997	-0,588521269
1,33	56	0,498	43,38%	56,62%	-0,697601531	-0,564210566	-0,879055149	-0,564210566
0,40	57							
0,77	58	0,500	44,94%	55,06%	-0,69314718	-0,516332729	-0,873716927	-0,516332729
0,17	59	0,517	45,72%	54,28%	-0,660357358	-0,492740036	-0,834563535	-0,492740036
0,35	60							
0,80	61	0,533	47,27%	52,73%	-0,628608659	-0,446186777	-0,796885545	-0,446186777
1,02	62	0,550	48,05%	51,95%	-0,597837001	-0,423203347	-0,76057579	-0,423203347
0,47	63	0,575	48,83%	51,17%	-0,553385238	-0,400400755	-0,708469516	-0,400400755
1,50	64	0,583	49,61%	50,39%	-0,538996501	-0,377768442	-0,691687126	-0,377768442
1,55	65	0,617	50,39%	49,61%	-0,48342665	-0,35529614	-0,627239796	-0,35529614
2,92	66							
0,43	67	0,633	51,95%	48,05%	-0,456758403	-0,310791776	-0,59650959	-0,310791776
0,63	68	0,658	52,73%	47,27%	-0,41804389	-0,288740375	-0,552115505	-0,288740375
0,23	69	0,683	53,50%	46,50%	-0,380772495	-0,266810251	-0,509608763	-0,266810251
0,08	70	0,767	54,28%	45,72%	-0,265703166	-0,244992173	-0,379703954	-0,244992173
3,25	71	0,783	55,06%	44,94%	-0,244196961	-0,223277038	-0,35563183	-0,223277038
0,53	72							
0,22	73	0,800	56,62%	43,38%	-0,223143551	-0,180119689	-0,332125579	-0,180119689
1,86	74	0,819	57,40%	42,60%	-0,199128675	-0,158659701	-0,305382238	-0,158659701
0,40	75	0,900	58,18%	41,82%	-0,105360516	-0,137267059	-0,2016301	-0,137267059
0,17	76	0,917	58,96%	41,04%	-0,087011377	-0,115932945	-0,181445268	-0,115932945
0,42	77	0,967	59,74%	40,26%	-0,033901552	-0,094648528	-0,123225941	-0,094648528
0,53	78	0,972	60,51%	39,49%	-0,028170877	-0,073404932	-0,116961493	-0,073404932
0,12	79	0,996	61,29%	38,71%	-0,00445435	-0,052193217	-0,091071116	-0,052193217
0,15	80							
1,70	81							
2,55	82	1,000	63,63%	36,37%	1,16415E-10	0,011341666	-0,086214719	0,011341666
0,42	83							
0,23	84	1,017	65,19%	34,81%	0,016529302	0,053708421	-0,068210434	0,053708421
0,47	85	1,050	65,97%	34,03%	0,048790164	0,07492405	-0,033146085	0,07492405
0,47	86	1,117	66,74%	33,26%	0,110348057	0,09617478	0,033496567	0,09617478
0,50	87	1,217	67,52%	32,48%	0,196114879	0,11747122	0,125807547	0,11747122
0,63	88	1,300	68,30%	31,70%	0,262364264	0,138824372	0,196715159	0,138824372
5,52	89	1,333	69,08%	30,92%	0,287682072	0,160245671	0,223727829	0,160245671
0,13	90	1,350	69,86%	30,14%	0,300104592	0,181747051	0,23696537	0,181747051
0,37	91	1,417	70,64%	29,36%	0,348306694	0,203341006	0,288229843	0,203341006
0,32	92	1,492	71,42%	28,58%	0,400080265	0,22504066	0,343122696	0,22504066
0,42	93							

0,22	94	1,500	72,98%	27,02%	0,405465108	0,268813198	0,348822251	0,268813198
0,68	95							
7,13	96	1,550	74,53%	25,47%	0,438254931	0,313185561	0,383490238	0,313185561
2,67	97	1,600	75,31%	24,69%	0,470003629	0,335638825	0,416996517	0,335638825
26,42	98							
5,57	99	1,700	76,87%	23,13%	0,530628251	0,381174701	0,480818207	0,381174701
1,05	100	1,858	77,65%	22,35%	0,619680029	0,404299942	0,574211922	0,404299942
2,03	101							
3,50	102							
0,92	103	2,000	79,98%	20,02%	0,693147181	0,475401161	0,650968656	0,475401161
1,00	104	2,017	80,76%	19,24%	0,701445983	0,499773057	0,659623434	0,499773057
36,58	105	2,033	81,54%	18,46%	0,709676483	0,524536406	0,668203949	0,524536406
33,25	106	2,150	82,32%	17,68%	0,765467842	0,54973021	0,726290438	0,54973021
0,58	107	2,550	83,10%	16,90%	0,936093359	0,575398093	0,903163841	0,575398093
1,49	108	2,667	83,88%	16,12%	0,980829253	0,601589133	0,949363312	0,601589133
1,00	109	2,683	84,66%	15,34%	0,987059803	0,628358898	0,95579239	0,628358898
2,00	110	2,767	85,44%	14,56%	1,017643226	0,655770737	0,987332024	0,655770737
1,00	111							
0,40	112	2,917	86,99%	13,01%	1,070441412	0,712823168	1,041711686	0,712823168
4,63	113							
2,02	114	3,167	88,55%	11,45%	1,15267951	0,77348349	1,126248173	0,77348349
6,18	115	3,250	89,33%	10,67%	1,178654996	0,805472934	1,152910187	0,805472934
21,98	116	3,500	90,11%	9,89%	1,252762969	0,838782449	1,228879217	0,838782449
0,47	117	4,000	90,89%	9,11%	1,386294361	0,873617671	1,365427461	0,873617671
0,48	118	4,633	91,67%	8,33%	1,533276551	0,910235093	1,515287783	0,910235093
1,50	119	5,517	92,45%	7,55%	1,707773813	0,948961001	1,692687269	0,948961001
0,18	120	5,567	93,22%	6,78%	1,716796431	0,990220281	1,701846413	0,990220281
2,00	121	5,633	94,00%	6,00%	1,728701333	1,034582105	1,713929552	1,034582105
0,13	122	6,183	94,78%	5,22%	1,8218575	1,082836118	1,808408528	1,082836118
0,38	123	7,133	95,56%	4,44%	1,964778633	1,136127772	1,953131237	1,136127772
0,43	124	21,983	96,34%	3,66%	3,09028459	1,196219187	3,086519995	1,196219187
1,42	125	26,417	97,12%	2,88%	3,273995124	1,266050743	3,270863306	1,266050743
1,70	126	31,017	97,90%	2,10%	3,434524694	1,351158933	3,431857968	1,351158933
0,25	127	33,250	98,68%	1,32%	3,504054767	1,464301646	3,501567382	1,464301646
0,33	128	36,583	99,45%	0,55%	3,599592763	1,650930147	3,597332276	1,650930147

Tabla 10.3 Tiempos para reparar, mantenibilidad, X e Y linealizados con gamma asumido cero y calculado

Fuente: Propia

11.4 Anexo 4

Aviso	Descripción	Parte Dañada
16811824	210cv06, falla comunicación y energía del Dupley.	Comunicación
16813535	Correa 210cv06 detenida por falla comunicación.	Comunicación
16820299	Sensor de resbalamiento Correa 210 cv-06	Sensor velocidad

16828059	Relleno Aceite Motor B correa 210 cv-06	Acoplamiento Hidr.
16836329	Sensor de atollo Buzón traspaso Correa 210 cv-06 (plancha atravesada)	Sensor atollo
16849981	Correa 210cv06, cambio estación de polines retorno cabecera.	Polines
16857202	No sale correa 210cv06, Pegado bloquet PLC electrónico.	Comunicación
16857208	210cv06,detenida,señal falsa de atollo Hopper N° 6.	Sensor atollo
16864952	Correa 220 cv-06 corto circuito	Pullcord
16867375	Trip de metales Correa 210 cv-06 (se cayó puntilla capacho N° 10	Trip metales
16869205	Se evalúa polín de retorno Correa 210 cv-06	Polines
16869207	Falla en operación correa 210 cv-06	Comunicación
16869209	Trip de metales Correa 210 cv-06	Trip metales
16869210	Trip de metales Correa 210 cv-06	Trip metales
16870943	Revisión pesómetro Correa 210 cv-06	Pesómetro
16870946	Trip de metales Correa 210 cv-06	Trip metales
16873252	Alta T° Motor caja reductora Motor B Correa 210 cv-06. Se reguló con aceite Acoplamiento Voith turbo	Acoplamiento Hidr.
16874317	se recibe turno con planta remoción ripio detenida se procede a cambiar fusibles mecánico de sistema motriz 210 cv 06 motor b, los cuales actuaron por alta temperatura en voith turbos a su vez se procede a cambiar aceite, también se aumenta o rellena voith turbo de motor a para tratar de vaciar correa la cual está con sobrecarga se deja para turno y continúe con vaciado de cinta transportadora inicio 0:00 a 7:00	Acoplamiento Hidr.
16881715	Se retira deflectora de material 220cv06	Polea
16885558	Reparar contrapeso 210cv06	Contrapeso
16887380	Se reposiciona y suelda plancha receptora de carga del raspador, en Hopper 6 (se realiza una reparación provisoria por lo que se sugiere mejorar condición en turno "A" para evitar posible caída de plancha sobre la cinta.)	Estructura
16889401	Reparar contrapeso 210cv06	Contrapeso
16891229	Falla sensor resbalamiento Correa 210 cv-06	Sensor resbalamiento
16896757	Trip de metales Correa 210cv06	Trip metales
16905497	SE RETIRA ESTACION DE POLIN DE RETORNO POR ENCONTRARSE EN MALAS CONDICIONES DE LA MESA N° 265	Polines
16906370	Trip de metales Correa 210 cv-06	Trip metales
16908291	Trip de metal correa 210cv06.	Trip metales
16915626	Trip de metales Correa 210 cv-06	Trip metales
16915696	Desalineamiento Culata Correa 210 cv-06	Cinta
16915697	Se repone rodillos de estación de polines Centradores Correa 210 cv-06	Polines
16921656	Correa 210cv06, sensor de metal	Trip metales
16926771	Trip de metales Correa 210 cv-06	Trip metales
16926774	Trip de metales, cable de comunicaciones	Trip metales
16946705	210cv06, por detector de metal	Trip metales
16946773	210cv06, detector de metal	Trip metales
16946780	Correa 210cv06, trip de metal	Trip metales
16955070	Trip de metales 210 cv-06	Trip metales
16955163	Sobre tensión Motor A Correa 210 cv-06	Motor
16955225	Trip de metales Correa 210 cv-06	Trip metales
16955231	Trip Multilink correa 210 cv-06	Tripmultilink
16955233	Trip Multilink Motor A correa 210 cv-06	Motor
16957912	Trip de metales Correa 210 cv-06	Trip metales
16967937	Trip de metales Correa 210 cv-06	Trip metales
16967975	Reparación Cinta Correa 210 cv-06	Cinta
16968160	Trip de metales Correa 210 cv-06	Trip metales
16972028	Polea de culata 210 cv-06, quebrada	Polea

16978179	Se cae sensor inductivo polea culata correa 210cv06.	Polea
16978263	Reparación Cinta Correa 210 cv-06	Cinta
16978268	Sensor de Velocidad Cero en Polea Motriz	Polea
16978269	Raspador Primario Colgando 210 cv-06	Raspador
16989815	210cv06,detenida por sensor de metal.	Trip metales
16997574	Correa 210 cv-06 Falsa señal de atollo.	Sensor atollo
17005038	Correa 210 cv-06 Det. sin Alarmas	Comunicación
17007541	210cv06.tripp de metal, puntilla del capa	Trip metales
17018418	Detector de metal correa 210 cv-06	Trip metales
17018551	Detector de metal correa 210 cv-06	Trip metales
17024364	Metal correa 210cv06.	Trip metales
17030147	Trip detector de metal 210 cv-06	Trip metales
17031826	Trip detector de metal 210 cv-06	Trip metales
17031827	Sensor de metales Correa 210 cv-06	Trip metales
17038004	210cv06,retiro estación de polines.	Polines
17043840	Correa 210 cv-06, detector de metal	Trip metales
17053453	Trip de Metal correa 210 cv06	Trip metales
17057323	Correa 210cv06 detenida trip metal.	Trip metales
17071351	Trip de metales Correa 210 cv-06	Trip metales
17085914	Trip de metales Correa 210 cv-06	Trip metales
17086111	Trip de metales Correa 210 cv-06	Trip metales
17087656	Trip de metales Correa 210 cv-06	Trip metales
17092393	Se retira estación de polín de carga Correa 210 cv-06 (mesa 83)	Polines
17097914	Correa 210cv06,detenida por sensor atollo Hopper N° 6.	Sensor atollo
17097915	Trip metal correa 210cv06.	Trip metales
17123273	Trip de metales Correa 210 cv-06	Trip metales
17127987	Trip de metal Correa 210 cv-06	Trip metales
17149905	Correa, 210cv06, sensor metales.	Trip metales
17156272	Cambio mesas polines Correa 210 cv-06.	Polines
17165002	210cv06,tripp de metal.	Trip metales
17165004	210cv06,sensor atollo	Sensor atollo
17165032	Correa 210cv06 detenida por multilink.	Trip multilink
17165035	Trip de metales Correa 210 cv-06	Trip metales
17167199	210cv06, trip detector de metal.	Trip metales
17169232	210cv06,detenida por sensor de metales.	Trip metales
17172463	210cv06, pullcord activado, caída carga, problema faldones Hopper N° 6.	Pullcord
17172480	Trip de metales Correa 210 cv-06	Trip metales
17179608	210 cv-06 detector de metal	Trip metales
17179621	Trip de metales Correa 210 cv-06	Trip metales
17182880	Trip de metales Correa 210 cv-06	Trip metales
17190728	Trip de metales Correa 210 cv-06	Trip metales
17210003	Trip de metales Correa 210 cv-06	Trip metales
17221492	Falla eléctrica sala ER02 (señal quedo forzado). Esta falla se produjo debido a un corte de energía programado de la sala, falta independizar las alimentaciones de equipos para que no dependa uno del otro. Tiempo 0,72 es de personal electricista	Sala elect.
17221822	Trip de metales Correa 210 cv-06	Trip metales
17221830	Trip multilink Motor A Correa 210 cv-06	Motor
17221882	Pull Cord Zona 3 Correa 210 cv-06	Pullcord
17224584	Se repara cable dañado de alimentación eléctrica en Pull-Cord 13-A zona 3 de correa 210-Cv-06	Pullcord

17226365	Trip de metales Correa 210 cv-06	Trip metales
17226366	Trip Multilink Correa 210 cv-06	Tripmultilink
17234519	Metal correa 210-CV06/220-CV-01	Trip metales
17234542	Metal correa 210-CV06/220-CV-01	Trip metales
17234629	Trip Multilink Correa 210 cv-06	Tripmultilink
17242635	Correa 220 cv-06 VDF, alta T° Rotor Motor 2.	Motor
17253740	Correa 210cv-06, Trip Multlink	Tripmultilink
17253792	Correa 210cv06,falla comunicación.	Comunicación
17255600	Se realiza reparación de daño pasado de 1 metro, se coloca parche y 1 tarro de fourthane. Actividad realizada por personal TTM	Cinta
17255806	Trip de metales Correa 210 cv-06	Trip metales
17266199	Correa 210cv06, detenida por detector de metal.	Trip metales
17268005	Correa 210 cv-06 Trip de metales	Trip metales
17270273	Correa 210 cv-06 Trip de metales	Trip metales
17283065	Se cambian dos estaciones polines de retorno en mesa N° 242 de la correa 210 CV 06	Polines
17289201	Trip de metales Correa 210 cv-06	Trip metales
17289203	Ajuste de raspadores Correa 210 cv-06/220 cv-01	Raspador
17305920	210cv06,sensor corte correa mecánico cabeza. Caucho Técnica corta lonjas.	Sensor corte correa
17323809	Correa 210cv06, detenida por metal.	Trip metales
17329482	Reparación en frío CT 210CV06 (TTM). Se corta 203 m aprox. en forma segmentada, se repara con grapas, se alcanza a instalar 20 grapas y Jefe de turno Sr. Raúl Alfaro suspende actividad	Cinta
17332245	Sensor de Atollo Buzón Correa 210 cv-06 (pedazo de greatting. Tipo peldaño), luego metal Correa 220 cv-01	Sensor atollo
17344786	Trip de metales Correa 210 cv-06	Trip metales
17348665	Prob. Amperaje Motor A Correa 210 cv-06 (retiro aceite Voith turbo).	Acoplamiento Hidr.
17348666	Prob. Amperaje Motor A Correa 210 cv-06.	Acoplamiento Hidr.
17348725	Prob. Amperaje Motor A Correa 210 cv-06.	Acoplamiento Hidr.
17348740	Revisión Acople Voith Turbo Motor B Correa 210 cv-06	Acoplamiento Hidr.
17348743	Relleno aceite Voith Turbo Motor B Correa 210 cv-06.	Acoplamiento Hidr.
17348746	Relleno aceite Voith Turbo Motor B Correa 210 cv-06.	Acoplamiento Hidr.
17348801	Vaciado y relleno Aceite Voith Turbo Motores A y B correa 210 cv-06.	Acoplamiento Hidr.
17348841	Pruebas Motor A Correa 210 cv-06	Acoplamiento Hidr.
17348850	Pruebas Motor A Correa 210 cv-06	Acoplamiento Hidr.
17348854	Detenido por trip de metal 210 cv-06	Trip metales
17351793	Retiro 10 litros aceite Voith Turbo Motor A Correa 210 cv-06.	Acoplamiento Hidr.
17351800	Trip de metales Correa 210 cv-06	Trip metales
17352002	Se retiran 2 estaciones de polines de retorno y se instala una Correa 210 cv-06 (personal Sima).	Polines
17356028	OPERACIONES AVISA LA DETENCION DE LA CORREA 210-CV-06 POR FALLA MULTILINK U/B TRIP. SE REvisa ALAMBRADO DE TRIP SE ENCUENTRA DOS FUSIBLE DEL CARRO ABIERTO, SE REvisa MOTOR EN CAJA DE CONEXIÓN LINEA DE FASE DEL MEDIO ABIERTA ATERRIZADA CON ESTRUCTURA DE LA CAJA. SE ACORTA TIEMPO DE AVERIA POR EL APORTE DE CRISTIAN FACILITAR STAKON, TERMINAL Y FUSIBLE. LA GUARDIA SIN HERRAMIENTA STAKON Y EN BODEGA SIN TERMINALES Y FUSIBLES. PREOCUPANTE	Tripmultilink
17361054	Trip de metales Correa 210 cv-06	Trip metales
17370303	Trip alar. T° Motor A Correa 210 cv-06.	Motor
17360783	210 cv 06 25/10/13 intervención 5:20 a 5:30 act: en sistema acusa alta temperatura en los voith turbo 190 °c lo cual no es real en terreno se toma con termómetro digital y da una temperatura como máximo de 38 °c y caja de 50 °c	Acoplamiento Hidr.
17362103	En la CT 210 CV 06, se observa daño de 30 metros aprox. por el centro de la cinta, se debe aplicar parches por retorno y fourthane por carga.	Cinta

17369719	Correa 210cv06,detenida por tripp de T° alta.	Motor
17369788	Retiro estación de polín Mesa 241 Correa 210 cv-06 (encendida).	Polines
17369809	Trip de Sobre tensión y Resbalamiento Correa 210 cv-06	Sensor resbalamiento
17378370	15:09 - 17:30 Falla en 210CV06 motor B. opera protección multilink por ausencia de fase falla real , se cambia terminal dañado. fase del medio	Motor
17381748	Reparar CT 210CV06 de GEL	Cinta
17382013	Se debe crear plegado de correa y realizar empalme vulcanizado correa 210CV06. área PTMP	Cinta
17382017	Confeccionar empalmes vulcanizados y plegados de la correa 210CV06, previos al cambio.	Cinta
17403674	Reparación en frio 210CV06, TTM. Se realiza reparación en frio, corte longitudinal de 2,5[mts], con parche en frio y fourthane.	Cinta
17408049	Reparación correa 210cv06 TTM. Se repara avería en el centro de la correa en un largo de 5 mts, ocupando 6 kits de fourthane	Cinta
17414858	Trip de metales Correa 210 cv-06	Trip metales
17414893	210 cv-06, ajuste de raspadores	Raspador
17417154	Trip de metales Correa 210 cv-06	Trip metales
17422907	Trip de metales Correa 210 cv-06	Trip metales
17439019	TTM reparando 210 cv-06,confourthane y parche por retorno.	Cinta
17444676	Correa 210cv06, tripp corte correa mecánico.	Cinta
17444677	Correa 210cv06, tripp corte correa mecánico y multilink, corte de parche.	Cinta
17444731	Correa 210cv06,detenida por metal.(Real)	Trip metales
17444737	Correa 210cv06,detenida por sensor corte correa mecánico efectivo, se corta lonja.	Cinta
17446691	Reparación en frio CT 210CV06, TTM. Se realiza reparación en frio, en daño longitudinal, centro de cinta, se aplican 25 kit de fourthane y 8 metros de parche en forma seccionada.	Cinta
17447560	Reparación Correa 210 cv-06	Cinta
17447652	Trip de metales Correa 210 cv-06	Trip metales
17450257	Trip de metales Correa 210 cv-06	Trip metales
17450259	Corte de correa mecánico 210 cv-06, se detecta corte de correa.	Cinta
17450351	Tripmultilink en motor B Correa 210 cv-06	Motor
17450352	Reparación cinta correa 210 cv-06 (160 mts.)	Cinta
17450353	Sensor de corte mecánico, parche correa 210 cv-06.	Cinta
17450374	Se corta lonja de parche Correa 210 cv-06.	Cinta
17450375	Se corta lonja de parche Correa 210 cv-06.	Cinta
17450380	Se retira material polea raspador de arado culata 210 cv-06.	Cinta
17452529	Reparación sensor de corte correa Good Year, Correa 210 cv-06.	Cinta
17452664	Trip de metales Correa 210 cv-06	Trip metales
17458631	TTM, cortando lonja correa 210cv06.	Cinta
17458640	Reparación cinta, Correa 210 cv-06.	Cinta
17463960	Alta T°Voith Turno Motor, 210 cv-06	Acoplamiento Hidr.
17463981	Trip de metales Correa 210 cv-06	Trip metales
17473492	Trip de metales Correa 210 cv-06	Trip metales
17473833	Trip Multilink Correa 210 cv-06	Motor
17475934	Trip de metales Correa 210 cv-06	Trip metales
17475937	Correa 210 cv-06 detenida por metal	Trip metales
17476890	Falla motor b correa 210CV06. EN LA SALIDA DE PLANTA DE RIPIOS, HAY UN TRIP DE PERDIDA DE FASE	Motor
17483917	210cv06, detenida por tripp de metal	Trip metales
17483918	210cv06, detenida por tripp de metal	Trip metales
17483919	210cv06, detenida por tripp de metal	Trip metales
17484042	210cv06, reposición piola corte correa	cinta
17484044	Ajuste sensor corte correa Goo-Year Hopper N° 6.	Sensor corte correa

17484049	Correa 210cv06,detenida por metal.	Trip metales
17491813	Correa 210cv06, tripp de metal.	Trip metales
17505646	Correa 210cv06, tripp de metal.	Trip metales
17505647	210cv06 sensor corte correa Good year	Sensor corte correa
17505728	Tripp metal correa 210cv06.	Trip metales
17506364	210 c-v. 06, Det. por detector de metal	Trip metales

Tabla 10.4 Avisos de averías correa 210CV06

Fuente: SAP PM CODELCO

11.5 Anexo 5

TBF	evento	TBF ordenado	F(t)	R(t)	X ln(t)	Yln(-ln(R(t)))
	1	0,010	0,00392377	0,99607623	-4,577771199	-5,538738066
14,13	2	0,017	0,00952915	0,99047085	-4,094344569	-4,648616369
80,78	3	0,050	0,01513453	0,98486547	-2,995732274	-4,183161025
145,55	4	0,100	0,02073991	0,97926009	-2,302585093	-3,865234701
142,65	5	0,117	0,02634529	0,97365471	-2,148434413	-3,623146138
161,08	6	0,133	0,03195067	0,96804933	-2,01490302	-3,427369863
46,20	7	0,183	0,03755605	0,96244395	-1,69644929	-3,262842022
14,73	8	0,300	0,04316143	0,95683857	-1,203972805	-3,120828704
127,57	9	0,333	0,04876682	0,95123318	-1,098612289	-2,995811319
50,13	10	0,350	0,05437220	0,94562780	-1,049822124	-2,884079445
40,55	11	0,417	0,05997758	0,94002242	-0,875468737	-2,783018099
7,22	12	0,492	0,06558296	0,93441704	-0,709954299	-2,690714874
0,65	13	0,567	0,07118834	0,92881166	-0,567984038	-2,605728807
3,82	14	0,583	0,07679372	0,92320628	-0,538996501	-2,526947099
13,02	15					
13,15	16	0,650	0,08800448	0,91199552	-0,430782916	-2,384660969
17,93	17	0,683	0,09360987	0,90639013	-0,380772496	-2,319879243
-13,54	18	1,033	0,09921525	0,90078475	0,032789823	-2,25867398
124,73	19	1,367	0,10482063	0,89517937	0,312374685	-2,200649953
51,22	20	1,467	0,11042601	0,88957399	0,382992252	-2,145473721
4,00	21	1,933	0,11603139	0,88396861	0,659245629	-2,092861377
6,57	22	2,167	0,12163677	0,87836323	0,773189888	-2,042569193
46,25	23	2,583	0,12724215	0,87275785	0,949080555	-1,994386374
55,67	24	2,617	0,13284753	0,86715247	0,961901243	-1,948129372
101,97	25	2,883	0,13845291	0,86154709	1,058947032	-1,90363738
6,77	26	2,983	0,14405830	0,85594170	1,093041244	-1,860768718
30,93	27	3,017	0,14966368	0,85033632	1,104152469	-1,819397914
119,72	28	3,417	0,15526906	0,84473094	1,228665417	-1,779413311
5,92	29	3,500	0,16087444	0,83912556	1,252762968	-1,740715112
3,67	30	3,667	0,16647982	0,83352018	1,299282984	-1,703213753
71,85	31	3,733	0,17208520	0,82791480	1,31730149	-1,666828544

23,58	32	3,817	0,17769058	0,82230942	1,339377441	-1,631486532
16,42	33	3,867	0,18329596	0,81670404	1,352392809	-1,597121537
256,25	34					
3,87	35	4,000	0,19450673	0,80549327	1,386294361	-1,531086972
7,38	36	4,067	0,20011211	0,79988789	1,402823663	-1,499312138
28,53	37	4,717	0,20571749	0,79428251	1,551102335	-1,468302681
15,12	38	5,017	0,21132287	0,78867713	1,612765703	-1,438016143
46,65	39	5,100	0,21692825	0,78307175	1,62924054	-1,408413377
0,42	40	5,467	0,22253363	0,77746637	1,698669046	-1,37945821
21,02	41	5,917	0,22813901	0,77186099	1,777773227	-1,351117141
11,83	42	5,933	0,23374439	0,76625561	1,780586169	-1,323359088
128,72	43	5,950	0,23934978	0,76065022	1,78339122	-1,296155152
18,87	44	6,083	0,24495516	0,75504484	1,805552791	-1,269478418
3,42	45	6,450	0,25056054	0,74943946	1,864080131	-1,243303772
69,03	46	6,567	0,25616592	0,74383408	1,882006347	-1,217607743
7,65	47	6,650	0,26177130	0,73822870	1,894616855	-1,192368359
21,83	48	6,767	0,26737668	0,73262332	1,912008597	-1,16756502
25,10	49	7,000	0,27298206	0,72701794	1,945910149	-1,143178381
0,30	50	7,217	0,27858744	0,72141256	1,976393166	-1,119190253
143,18	51	7,383	0,28419283	0,71580717	1,999225208	-1,095583509
123,92	52	7,433	0,28979821	0,71020179	2,00597439	-1,072341996
82,80	53	7,617	0,29540359	0,70459641	2,030338829	-1,049450466
42,33	54	7,650	0,30100897	0,69899103	2,034705648	-1,026894504
117,15	55	8,000	0,30661435	0,69338565	2,079441542	-1,004660465
26,63	56	8,183	0,31221973	0,68778027	2,102099566	-0,982735419
57,10	57	8,367	0,31782511	0,68217489	2,124255557	-0,961107099
100,40	58	8,783	0,32343049	0,67656951	2,172855986	-0,939763852
26,62	59	9,117	0,32903587	0,67096413	2,21010424	-0,9186946
8,18	60	10,017	0,33464126	0,66535874	2,304250372	-0,897888795
64,40	61	10,267	0,34024664	0,65975336	2,328902401	-0,877336386
84,88	62	10,683	0,34585202	0,65414798	2,368684895	-0,857027788
135,38	63	10,850	0,35145740	0,64854260	2,38416508	-0,836953844
49,38	64	11,067	0,35706278	0,64293722	2,403937587	-0,817105805
148,28	65	11,433	0,36266816	0,63733184	2,436533065	-0,797475297
107,05	66	11,650	0,36827354	0,63172646	2,45530618	-0,778054302
57,62	67	11,833	0,37387892	0,62612108	2,470920408	-0,758835132
23,00	68	13,017	0,37948430	0,62051570	2,566230588	-0,739810409
38,55	69	13,033	0,38508969	0,61491031	2,567510178	-0,720973048
76,00	70	13,150	0,39069507	0,60930493	2,576421759	-0,702316236
7,43	71	13,450	0,39630045	0,60369955	2,598979106	-0,683833417
279,32	72	13,800	0,40190583	0,59809417	2,624668592	-0,665518275
29,27	73	14,133	0,40751121	0,59248879	2,648536074	-0,647364721
304,50	74	14,733	0,41311659	0,58688341	2,6901125	-0,62936688
117,08	75	15,117	0,41872197	0,58127803	2,715797888	-0,611519075
71,08	76	15,367	0,42432735	0,57567265	2,732200661	-0,593815818
4,07	77	16,417	0,42993274	0,57006726	2,798297079	-0,576251797
40,07	78	16,567	0,43553812	0,56446188	2,807392644	-0,558821867
8,78	79	17,933	0,44114350	0,55885650	2,886661178	-0,541521039
21,87	80	18,867	0,44674888	0,55325112	2,937396697	-0,52434447

10,68	81	20,350	0,45235426	0,54764574	3,013080912	-0,507287455
29,88	82	20,800	0,45795964	0,54204036	3,034952987	-0,490345419
10,27	83	21,017	0,46356502	0,53643498	3,045315774	-0,473513908
76,52	84	21,233	0,46917040	0,53082960	3,055572274	-0,456788582
1,93	85	21,483	0,47477578	0,52522422	3,067277441	-0,440165206
42,53	86	21,833	0,48038117	0,51961883	3,083437854	-0,423639648
73,38	87	21,867	0,48598655	0,51401345	3,084963407	-0,407207865
243,93	88	23,000	0,49159193	0,50840807	3,135494216	-0,390865902
173,00	89					
13,03	90	23,583	0,50280269	0,49719731	3,160540248	-0,358436021
0,57	91	24,500	0,50840807	0,49159193	3,198673118	-0,342340573
0,49	92	25,100	0,51401345	0,48598655	3,222867846	-0,326319876
5,02	93	26,617	0,51961883	0,48038117	3,281537586	-0,310370323
34,43	94	26,633	0,52522422	0,47477578	3,282163564	-0,294488358
0,12	95	28,533	0,53082960	0,46917040	3,351072994	-0,278670476
57,20	96	29,267	0,53643498	0,46356502	3,376449212	-0,262913212
5,47	97	29,883	0,54204036	0,45795964	3,397300911	-0,247213141
20,35	98	30,783	0,54764574	0,45235426	3,426973418	-0,231566872
45,43	99	30,933	0,55325112	0,44674888	3,431834351	-0,215971042
76,27	100	31,950	0,55885650	0,44114350	3,464172181	-0,200422314
2,98	101	33,983	0,56446188	0,43553812	3,525870208	-0,184917368
70,93	102	34,433	0,57006726	0,42993274	3,539025087	-0,1694529
5,93	103	35,217	0,57567265	0,42432735	3,561519455	-0,154025618
84,88	104	37,850	0,58127803	0,41872197	3,63363098	-0,138632234
83,18	105	38,350	0,58688341	0,41311659	3,646754528	-0,12326946
21,23	106	38,550	0,59248879	0,40751121	3,6519561	-0,107934007
118,60	107	40,067	0,59809417	0,40190583	3,690544733	-0,092622575
97,08	108	40,283	0,60369955	0,39630045	3,695937818	-0,077331851
13,80	109	40,550	0,60930493	0,39069507	3,702535781	-0,062058503
214,92	110	40,750	0,61491031	0,38508969	3,70745584	-0,046799176
148,63	111	42,117	0,62051570	0,37948430	3,740443545	-0,031550483
51,67	112	42,250	0,62612108	0,37387892	3,743604354	-0,016309005
61,20	113	42,333	0,63172646	0,36827354	3,745574798	-0,001071279
175,48	114	42,533	0,63733184	0,36266816	3,750288082	0,014166202
3,73	115	45,433	0,64293722	0,35706278	3,81624605	0,029407002
0,35	116	46,200	0,64854260	0,35145740	3,832979798	0,044654742
0,10	117	46,250	0,65414798	0,34585202	3,834061464	0,059913112
4,72	118	46,650	0,65975336	0,34024664	3,842672927	0,075185876
1,03	119	47,567	0,66535874	0,33464126	3,862132236	0,090476882
0,65	120	49,383	0,67096413	0,32903587	3,899612985	0,105790067
0,02	121	50,133	0,67656951	0,32343049	3,914686123	0,121129472
2,62	122	51,217	0,68217489	0,31782511	3,936065	0,136499242
0,68	123	51,667	0,68778027	0,31221973	3,944812828	0,151903648
24,50	124	55,667	0,69338565	0,30661435	4,019381524	0,167347089
37,85	125	56,167	0,69899103	0,30100897	4,028323461	0,182834108
1,37	126	57,100	0,70459641	0,29540359	4,044804117	0,198369402
4,00	127	57,200	0,71020179	0,28979821	4,046553898	0,213957842
47,57	128	57,250	0,71580717	0,28419283	4,047427642	0,229604482
31,95	129	57,617	0,72141256	0,27858744	4,053811878	0,245314577

3,02	130	60,919	0,72701794	0,27298206	4,109547849	0,261093604
0,01	131	61,200	0,73262332	0,26737668	4,11414719	0,276947277
6,45	132	63,500	0,73822870	0,26177130	4,151039906	0,292881573
13,45	133	64,400	0,74383408	0,25616592	4,165113633	0,308902754
35,22	134	69,033	0,74943946	0,25056054	4,23458948	0,325017393
9,12	135	69,467	0,75504484	0,24495516	4,240847021	0,341232402
60,92	136	70,933	0,76065022	0,23934978	4,261740469	0,357555066
63,50	137	71,083	0,76625561	0,23374439	4,263852898	0,37399308
8,00	138	71,850	0,77186099	0,22813901	4,274580613	0,390554582
-10,00	139	73,383	0,77746637	0,22253363	4,295696844	0,407248206
225,50	140	74,100	0,78307175	0,21692825	4,305415532	0,424083126
57,25	141	76,000	0,78867713	0,21132287	4,33073334	0,441069113
74,10	142	76,267	0,79428251	0,20571749	4,334235971	0,4582166
7,00	143	76,517	0,79988789	0,20011211	4,337508582	0,47553675
21,48	144	80,783	0,80549327	0,19450673	4,391770674	0,49304154
56,17	145	82,800	0,81109865	0,18890135	4,416428061	0,51074385
167,40	146	83,183	0,81670404	0,18329596	4,421047007	0,528657571
23,58	147					
0,58	148	84,883	0,82791480	0,17208520	4,441277765	0,565180599
10,85	149	89,133	0,83352018	0,16647982	4,490133376	0,58382392
5,10	150	97,083	0,83912556	0,16087444	4,575569716	0,60274703
40,75	151	100,400	0,84473094	0,15526906	4,609162207	0,62197111
0,00	152	101,967	0,85033632	0,14966368	4,624645962	0,641519438
8,37	153	107,050	0,85594170	0,14405830	4,673296015	0,661417697
6,65	154	117,083	0,86154709	0,13845291	4,762885932	0,681694335
2,17	155	117,150	0,86715247	0,13284753	4,763455165	0,702381003
0,00	156	118,600	0,87275785	0,12724215	4,775754144	0,723513082
0,13	157	119,717	0,87836323	0,12163677	4,78512784	0,745130318
2,88	158	123,917	0,88396861	0,11603139	4,819609297	0,767277608
3,50	159	124,733	0,88957399	0,11042601	4,826178125	0,790005972
1,47	160	127,567	0,89517937	0,10482063	4,848639104	0,81337376
2,58	161	128,717	0,90078475	0,09921525	4,857613606	0,837448189
10,02	162	135,383	0,90639013	0,09360987	4,908110261	0,862307296
15,37	163	136,983	0,91199552	0,08800448	4,919859264	0,888042484
42,12	164	142,650	0,91760090	0,08239910	4,960394078	0,914761854
40,28	165	143,183	0,92320628	0,07679372	4,96412586	0,942594685
38,35	166	145,550	0,92881166	0,07118834	4,98051967	0,97169752
20,80	167	148,283	0,93441704	0,06558296	4,999124858	1,002262674
136,98	168	148,633	0,94002242	0,05997758	5,001482423	1,034530367
0,05	169	161,083	0,94562780	0,05437220	5,081921829	1,068806591
11,07	170	167,400	0,95123318	0,04876682	5,120386158	1,105490312
11,43	171	173,000	0,95683857	0,04316143	5,153291594	1,145116633
16,57	172	175,483	0,96244395	0,03755605	5,167544072	1,188428828
42,25	173	214,917	0,96804933	0,03195067	5,370250356	1,236506414
5,95	174	225,500	0,97365471	0,02634529	5,418320159	1,291012252
7,62	175	243,933	0,97926009	0,02073991	5,496894964	1,354725105
11,65	176	256,250	0,98486547	0,01513453	5,54615353	1,432886026
0,18	177	279,317	0,99047085	0,00952915	5,632346144	1,537598129
33,98	178	304,500	0,99607623	0,00392377	5,718671087	1,712121418

89,13
30,78
6,08
69,47
0,33

Tabla 10.5 Tiempos de buen funcionamiento, R(t), F(t), X e Y linealizados

Fuente: Propia

11.6 Anexo 6

TTR entero	evento	TTR ordenado	M(t)	1-M(t)	X ln(t)	Yln(-ln(1-M(t)))	X ln(t-gamma max)	Yln(-ln(1-M(t)))
0,53	1							
0,35	2							
0,63	3							
1,27	4							
0,35	5							
0,62	6	0,100	3,11%	96,89%	-2,302585091	-3,455458507	-7,851031475	-3,455458507
0,57	7							
0,15	8							
2,23	9							
0,12	10							
0,25	11							
0,25	12							
0,20	13							
0,18	14	0,117	7,47%	92,53%	-2,148434413	-2,555706169	-4,071252252	-2,555706169
0,20	15							
0,50	16							
18,15	17							
6,99	18							
3,05	19							
28,50	20							
1,00	21							
2,33	22							
0,60	23							
0,28	24							
0,33	25							
0,22	26							
0,20	27							
0,23	28							
0,23	29	0,133	15,65%	84,35%	-2,01490302	-1,770887988	-3,389584569	-1,770887988
0,28	30							
0,65	31							

0,52	32							
1,57	33							
0,67	34							
1,37	35							
0,13	36							
0,20	37							
0,32	38							
0,27	39							
0,43	40							
0,13	41							
0,27	42							
0,23	43	0,150	23,28%	76,72%	-1,897119984	-1,327876046	-2,987975433	-1,327876046
2,25	44	0,156	23,83%	76,17%	-1,855409497	-1,301319981	-2,868602147	-1,301319981
0,12	45							
15,27	46							
0,85	47							
0,57	48							
0,57	49							
0,17	50							
0,63	51							
0,43	52							
0,13	53							
0,85	54							
0,17	55							
0,47	56							
0,25	57	0,167	30,92%	69,08%	-1,791759469	-0,994664595	-2,702226939	-0,994664595
0,13	58							
0,17	59							
0,10	60	0,183	32,55%	67,45%	-1,69644929	-0,931886007	-2,480245332	-0,931886007
0,63	61							
0,10	62							
0,15	63							
0,10	64							
0,15	65							
0,20	66	0,200	35,82%	64,18%	-1,609437912	-0,812988606	-2,298699152	-0,812988606
0,23	67							
0,25	68							
0,37	69							
0,18	70							
0,17	71							
0,10	72							
0,25	73							
0,28	74	0,217	40,19%	59,81%	-1,529395205	-0,665687293	-2,145102684	-0,665687293
1,00	75							
0,13	76							
0,13	77							
0,22	78	0,233	42,37%	57,63%	-1,455287232	-0,595903114	-2,01198715	-0,595903114
0,15	79							
0,40	80							

0,13	81							
0,73	82							
0,13	83							
0,17	84							
0,15	85	0,250	46,18%	53,82%	-1,386294361	-0,478706004	-1,89452768	-0,478706004
0,12	86							
0,13	87							
0,15	88							
0,72	89							
0,15	90	0,267	48,91%	51,09%	-1,32175584	-0,398134983	-1,789426094	-0,398134983
0,15	91							
0,46	92							
0,68	93	0,283	50,55%	49,45%	-1,261131218	-0,350817557	-1,694327814	-0,350817557
0,35	94							
0,88	95							
1,52	96							
0,22	97							
0,45	98	0,317	53,27%	46,73%	-1,149905583	-0,273362772	-1,527599817	-0,273362772
1,02	99							
0,22	100	0,333	54,36%	45,64%	-1,098612289	-0,242797197	-1,45361998	-0,242797197
0,15	101							
0,17	102							
0,15	103							
0,18	104	0,350	56,54%	43,46%	-1,049822124	-0,182241591	-1,384738172	-0,182241591
0,58	105							
0,10	106							
0,98	107							
0,13	108	0,367	58,72%	41,28%	-1,003302108	-0,122290354	-1,320296842	-0,122290354
1,15	109	0,383	59,27%	40,73%	-0,958850346	-0,107374244	-1,259757985	-0,107374244
0,15	110							
0,17	111							
6,67	112	0,400	60,91%	39,09%	-0,916290732	-0,06274939	-1,202675813	-0,06274939
0,27	113							
0,17	114							
0,85	115							
0,43	116	0,433	63,09%	36,91%	-0,836248024	-0,00342247	-1,09744492	-0,00342247
0,60	117	0,450	63,63%	36,37%	-0,798507696	0,011399386	-1,048710314	0,011399386
0,12	118	0,458	64,18%	35,82%	-0,780158557	0,026223766	-1,025205659	0,026223766
0,58	119	0,467	64,72%	35,28%	-0,762140052	0,041053992	-1,002240809	0,041053992
0,13	120							
2,80	121							
0,50	122	0,500	66,36%	33,64%	-0,69314718	0,085613894	-0,91531783	0,085613894
1,30	123	0,517	66,90%	33,10%	-0,660357358	0,100502008	-0,874534733	0,100502008
0,15	124	0,533	67,45%	32,55%	-0,628608659	0,115413599	-0,835349928	0,115413599
0,22	125							
0,32	126							
0,88	127							
2,17	128	0,567	69,63%	30,37%	-0,567984037	0,175371975	-0,761306078	0,175371975
0,32	129							

0,33	130	0,583	70,72%	29,28%	-0,538996501	0,205595732	-0,726243505	0,205595732
0,16	131							
3,22	132	0,600	71,81%	28,19%	-0,510825624	0,236029591	-0,692368784	0,236029591
0,43	133	0,617	72,36%	27,64%	-0,48342665	0,251337266	-0,659604061	0,251337266
0,22	134							
0,65	135							
2,33	136	0,633	73,99%	26,01%	-0,456758402	0,297685492	-0,627878894	0,297685492
4,00	137							
10,00	138	0,650	75,08%	24,92%	-0,430782916	0,328995255	-0,597129342	0,328995255
11,00	139	0,667	75,63%	24,37%	-0,405465108	0,34479186	-0,567297185	0,34479186
1,00	140							
2,75	141	0,683	76,72%	23,28%	-0,380772495	0,376702495	-0,538329266	0,376702495
0,27	142	0,700	77,26%	22,74%	-0,356674944	0,392831257	-0,510176918	0,392831257
0,40	143	0,717	77,81%	22,19%	-0,333144446	0,409086189	-0,48279547	0,409086189
0,12	144	0,733	78,35%	21,65%	-0,310154928	0,4254758	-0,456143828	0,4254758
0,22	145							
3,02	146							
0,27	147	0,85	79,99%	20,01%	-0,16251893	0,475546244	-0,287163074	0,475546244
0,22	148							
0,32	149	0,883	81,08%	18,92%	-0,124052649	0,509783004	-0,243700041	0,509783004
0,17	150	0,984	81,62%	18,38%	-0,016524672	0,527193962	-0,123297695	0,527193962
3,00	151							
0,50	152							
0,68	153	1	83,26%	16,74%	1,16415E-10	0,580765913	-0,104927998	0,580765913
0,12	154	1,017	83,81%	16,19%	0,016529302	0,599123555	-0,086586722	0,599123555
0,70	155	1,150	84,35%	15,65%	0,139761942	0,617762013	0,049160905	0,617762013
0,40	156	1,267	84,90%	15,10%	0,236388778	0,636702296	0,154484353	0,636702296
5,30	157	1,283	85,44%	14,56%	0,24946086	0,6559675	0,168664289	0,6559675
0,13	158	1,300	85,99%	14,01%	0,262364265	0,675583115	0,182645963	0,675583115
0,25	159	1,367	86,53%	13,47%	0,312374685	0,695577383	0,236696112	0,695577383
0,37	160	1,517	87,08%	12,92%	0,416514944	0,715981732	0,348581492	0,715981732
1,28	161							
0,25	162	1,567	88,17%	11,83%	0,44895022	0,758165571	0,383257683	0,758165571
0,17	163	2,167	88,71%	11,29%	0,773189888	0,780029151	0,726125381	0,780029151
0,15	164	2,233	89,26%	10,74%	0,803495238	0,802472741	0,757868193	0,802472741
1,57	165	2,250	89,80%	10,20%	0,810930216	0,825554332	0,765648919	0,825554332
0,38	166	2,331	90,35%	9,65%	0,846225857	0,849340738	0,802549724	0,849340738
0,57	167	2,333	90,89%	9,11%	0,84729786	0,873909539	0,803669558	0,873909539
0,37	168	2,750	91,44%	8,56%	1,011600912	0,899351611	0,974706554	0,899351611
0,37	169	2,800	91,98%	8,02%	1,029619417	0,925774445	0,993395966	0,925774445
0,20	170	3,000	92,53%	7,47%	1,098612289	0,953306603	1,064844987	0,953306603
0,13	171	3,017	93,08%	6,92%	1,104152469	0,982103778	1,070574894	0,982103778
3,62	172	3,050	93,62%	6,38%	1,115141591	1,01235725	1,081937145	1,01235725
0,12	173	3,217	94,17%	5,83%	1,168345627	1,044305975	1,136888972	1,044305975
0,15	174	3,617	94,71%	5,29%	1,285552791	1,078254356	1,257624281	1,078254356
0,13	175	4,000	95,26%	4,74%	1,386294361	1,114599324	1,361076381	1,114599324
0,35	176	5,300	95,80%	4,20%	1,667706821	1,153873291	1,648733498	1,153873291
0,17	177	6,667	96,35%	3,65%	1,897119985	1,196815864	1,882065637	1,196815864
0,10	178	6,987	96,89%	3,11%	1,944083084	1,244501331	1,929724374	1,244501331

0,17	179	10,000	97,44%	2,56%	2,302585093	1,298584663	2,292574085	1,298584663
0,12	180	11,000	97,98%	2,02%	2,397895273	1,361831762	2,388798509	1,361831762
0,32	181	15,267	98,53%	1,47%	2,725671802	1,439460126	2,719125708	1,439460126
0,17	182	18,150	99,07%	0,93%	2,898670561	1,543520587	2,893167255	1,543520587
0,13	183	28,500	99,62%	0,38%	3,349904087	1,717097793	3,346402855	1,717097793

Tabla 10.6 Tiempos para reparar, mantenibilidad, X e Y linealizados con gamma asumido cero y calculado

Fuente: Propia

11.7 Anexo 7

Aviso	Descripción	Parte Dañada
16815481	Reparación Oruga N°1 Roto Pala	Orugas
16826185	Roto Pala, no entra fuerza control, falla de comunicación.	Comunicación
16830825	Problema Roto Pala	Comunicación
16834318	Simocode Oruga 1A Roto Pala	Orugas
16836295	Prob. Gps Roto Pala y Pte. desviado 11°	Comunicación
16843344	Rotopala detenida, sobrecarga Oruga N° 1A	Orugas
16847583	Roto Pala, Problema Orugas N° 2, 4 y 5 sin energía.	Orugas
16857210	Simocode Oruga N° 1-A Rotopala.	Orugas
16888011	Se retira labios de capacho de disco Rotopala por tener pernos cortados (Reponer labios en turno "A")	Disco
16919550	Roto Pala sin energía Sistema de Bombas	Unidad hid.
16939232	Roto Pala, falla configuración CRP811. (Hopper N° 06)	Comunicación
16955144	No Avanza Oruga N° 2 Roto Pala	Orugas
16955145	No Avanza Oruga N° 2 Roto Pala	Orugas
16955169	Detenciones Varias disco Roto Pala	Capacho
16969927	Prob. Oper. Disco Roto Pala (hidráulico en sistema presión)	Disco
16978232	Control T° Disco Roto Pala con Problema de Señal (q/forzado)	Disco
16986075	Parada de emergencia panel MCC sala N° 1, cae interruptor monofásico del alimentador 4160.	Sala elect.
16994749	Prob. Levante Disco Roto Pala	Capacho
17000456	Reparación GPS Roto Pala	GPS
17005045	Cambio programa electrónico Roto Pala.	Comunicación
17012198	Disco Roto Pala, se detecta capacho N° 3 caído por falta de pasador, se repone.	Capacho
17024338	Falla comunicación Rotopala. (Inicio avance Puente).	Comunicación
17024362	Falla comunicación Rotopala. (Posicionamiento al corte).	Comunicación
17053713	Falla Comunicación Roto Pala	Comunicación
17063081	Roto Pala opera en forma intermitente por falla de comunicación.	Comunicación
17085918	Problemas con GPS, operación interrumpida durante el turno.	GPS
17117241	Caen bombas Rotopala.	Unidad hid.
17147692	Falla Comunicación PLC Roto Pala.	Comunicación
17155260	Pruebas Avance Roto Pala (problema con avance orugas roto pala)	Orugas
17155271	Pruebas Avance Roto Pala (problema con avance orugas roto pala)	Orugas
17155273	Pruebas Avance Roto Pala (problema con avance orugas roto pala)	Orugas
17155274	Pruebas Avance Roto Pala (problema con avance orugas roto pala)	Orugas

17156169	Pruebas Avance Roto Pala (problema con avance orugas roto pala)	Orugas
17156170	Pruebas Avance Roto Pala (problema con avance orugas roto pala)	Orugas
17157970	Presión Baja de oruga N° 2 Roto Pala	Orugas
17169314	Rotopala detenida, no avanza hacia Oruga N° 8, válvula proporcional no le llega señal.	Unidad hid.
17185807	Prob. Partidas Bombas Roto Pala	Unidad hid.
17190726	Se detiene Disco Roto Pala al pasar de automático a manual	Disco
17199019	Se apoya a personal hidráulico en revisión de componentes del sistema de traslación, por falla de alta presión en sistema hidráulico en oruga N° 1 y bajo flujo en oruga N° 2 de Roto pala	Unidad hid.
17202595	Problema avance Oruga N° 2 Roto Pala	Orugas
17202598	Problema avance Oruga N° 2 Roto Pala	Orugas
17202617	Problema avance Oruga N° 2 Roto Pala	Orugas
17204108	Problema avance Oruga N° 2 Roto Pala	Orugas
17206946	Cambio de bomba P-14 y cambio de motor hidráulico unidad de traslación puesta en marcha del equipo responsable de actividad: Víctor Valenzuela	Unidad hid.
17212128	Rep. Bomba 28 M1 Roto Pala (baja presión)	Unidad hid.
17220905	Cae bomba Rotopala, sin alarmas.	Unidad hid.
17221014	Caen las bombas de Rotopala sin alarmas.	Unidad hid.
17221015	Electrónicos buscan falla comunicación en Roto Pala.	Comunicación
17221223	Cuatro detenciones de Bombas Roto Pala durante el turno	Unidad hid.
17222937	22:45 - 23:30 Se recibe área de remoción de para, en terreno se encuentra interruptor con trip de la oruga 2 de rotopala 35.2-M1. Se repone queda en condiciones.	Orugas
17249098	Falla Comunicaciones Roto Pala	Comunicación
17249133	Probl. Comunicación Roto Pala, alta T°.	Comunicación
17253796	Rotopala operando con mucha inestabilidad de GPS.	GPS
17253799	Rotopala sin avance de Orugas.	Orugas
17252823	17:16 - 17:26 Trip interruptor oruga 2 rotopala 35.2-M1. En HMI Operador indica 25.1-M1. Se resetea queda en condiciones.	Orugas
17255833	Prob. Oper. Roto Pala por Falta GPS	GPS
17255839	Prob. Oper. Roto Pala por Falta GPS	GPS
17283062	Se cambia manguera hidráulica en oruga N°1 rotopala se debe mandar a confeccionar a la mina ya que otra que se había cambiado anteriormente no entraban las abrasaderas se relleno con 300 lts aproxlso 68. Rotopala queda operativa, manguera corresponde a código 61 no a código 62 como se había indicado para su fabricación	Orugas
17275536	Planta : Remoción Ripios Equipo : Oruga N° 1 Rota pala Interv. : Se reaprietan conectores de línea hidráulica del mando final en la oruga N° 1 de la roto pala por estar con filtraciones de aceite, se prueba equipo y se detecta que el tapón superior del mando final está rodado y con los hilos rotos, por no tener repuesto se retira del mando final que está en la losa del disco, se instala se ajusta con teflón y con apriete suave por estar también el hilo del alojamiento dañado, equipo queda operativo. Se informa a supervisor de turno Noelio Olivares para que se programe su reparación a la brevedad.	Orugas
17286013	Rotopala Motor hidráulico con falla Se detiene la operación para cambio de motor hidráulico de oruga N° 1 en Rotopala, este motor entra en modo de falla en el Turno de Noche. Esto provoca daño en el planetario se recomienda por parte de mecánicos Hidráulicos el cambio de planetario.	Orugas
17283063	Se Revisa tapón del mando final con filtración, se pone oring en tapón para evitar filtración pero esta continua filtrando en menor cantidad. Además se rellena TK con 120 Ltrs aprox. Aceite ISO 68, se busca tapón repuesto no se encuentra. Mecánicos hidráulicos dicen no tener tapones de repuestos.	Orugas
17288970	Rotopala no avanza.	Orugas
17276991	Planta : Remoción Ripios Equipo : Oruga N° 1 roto pala Interv. : Se rellena con + - 100 litros ISO 68, deposito de la unidad hidráulica de la oruga N° 1 en la roto pala, se retira tapón del mando final que está totalmente rodado y con los hilos rotos, lo que produce derrame abundante de aceite, se busca tapón y se saca del mando final que está en la losa del disco, se instala y se corta total la filtración, equipo queda operativo.	Orugas
17289286	Rotopala, relleno aceite oruga N° 1.	Orugas
17276260	Detenida la operación por falla en mando final oruga N° 1 Rotopala, este planetario se	Orugas

	encontraba con daño por una falla anterior en motor hidráulico de la oruga 14/09/2013 detención hasta las 21 horas aproximadamente	
17283067	Se trabaja con Pedro Vergara en problema de la oruga N°1 de la rotopala, se cambia válvula proporcional de la bomba N°2 sentido a oruga N°8 (norte), se regulan caudales, continua Pedro Vergara Con el Tema para acudir ha llamado de chancado.	Orugas
17315457	Falla comunicación Roto Pala	Comunicación
17333157	Llanta : Remoción Ripios. Equipo : Sistema hidráulico Disco Roto pala. Interv. : Se detecta línea de entrada del cilindro de levante del disco con rotura lo que produjo detención del equipo y derrame de aceite, se procede a buscar línea y se efectúa el cambio, se rellena con 200 litros el depósito, se prueba la unidad quedando operativa. Personal : Un jefe de turno y dos mecánicos. Tiempo hh : Inicio 04.00 hrs a 06.25 hrs	Disco
17336306	Rotopala Oruga N° 2 problema de avance, falla en sistema hidráulico.	Orugas
17336308	Rotopala Oruga N° 2 problema de avance, falla en sistema hidráulico.	Orugas
17337669	Problema baja Presión Bomba 31M1 Roto Pala, se quema bobina.	Unidad hid.
17348811	Se detiene operación por fuga de aceite hidráulico en oruga #1 roto pala.	Orugas
17348857	Alta temperatura oruga 1-A	Orugas
17348891	Operación intermitente problemas GPS.	GPS
17348895	Alineamiento Puente por falta de GPS.	GPS
17369783	Sin Rotación Disco Roto Pala	Disco
17376697	Prob. Avance Roto Pala (ajuste de valores, Prob. GPS)	GPS
17383972	Cae bomba 28M1 en Rotopala.	Unidad hid.
17383973	Disco Rotopala, falla motor bomba 26 M-1.	Unidad hid.
17397957	FALLO 31.M1. EXTERNA TRIP SE DA RESET QUED OPERATIVO.	Bomba
17439017	Rotopala det., T°alta Oruga N° 2 y sensor resbalamiento 210cv05	Orugas
17444738	Rotopala detenida por baja presión hidráulica Oruga N° 2.	Orugas
17443405	18:41 a 19:45 bomba 35- 1 M1 de roto-pala, circuito de fuerza se quema un fusible de fase A en interruptor principal, queda cambiado.	Unidad hid.
17443406	21:25 a 02:07 bomba N° 2 de oruga roto-pala se cambia contactor por bobina de control cortocircuitada. Al probar equipos falta condición A correa 210 ME – 01 por desarme de equipo se corrige. 02:07 a 02:15.	Orugas
17449335	17:32 a 17:42 se realiza reset a la bomba 30-3 M1 del disco giratorio en roto-pala.	Bomba
17489554	Rotopala acusa bajo nivel sistema hidráulico.	Unidad hid.

Tabla 10.7 Avisos de averías rotopala

Fuente: SAP PM CODELCO

11.8 Anexo 8

TBF	evento	TBF ordenado	F(t)	R(t)	X ln(t)	Yln(-ln(R(t)))
	1	0,13	0,008599509	0,991400491	-2,01490302	-4,751734976
162,83	2	0,38	0,020884521	0,979115479	-0,958850346	-3,858212739
76,20	3	0,50	0,033169533	0,966830467	-0,69314718	-3,389304851
69,38	4	0,57	0,045454545	0,954545455	-0,556287998	-3,067872615
10,87	5	0,70	0,057739558	0,942260442	-0,356674944	-2,822223357
38,05	6	0,77	0,07002457	0,92997543	-0,265703166	-2,62283013
136,75	7	0,92	0,082309582	0,917690418	-0,087011377	-2,454627553
73,45	8	1,15	0,094594595	0,905405405	0,139761942	-2,308880127

513,60	9	1,30	0,106879607	0,893120393	0,262364265	-2,180067607
409,08	10	1,50	0,119164619	0,880835381	0,405465108	-2,064477855
260,83	11	1,95				
109,78	12	1,95	0,143734644	0,856265356	0,667829373	-1,863202055
0,38	13	2,32	0,156019656	0,843980344	0,840129371	-1,774158831
43,67	14	3,38	0,168304668	0,831695332	1,218861417	-1,691249596
226,75	15	4,12	0,180589681	0,819410319	1,415043774	-1,61359494
65,13	16	4,43	0,192874693	0,807125307	1,489151747	-1,540488753
177,23	17	4,45	0,205159705	0,794840295	1,492904096	-1,471355329
109,60	18	5,08	0,217444717	0,782555283	1,625967214	-1,405718961
37,58	19	6,08	0,22972973	0,77027027	1,805552791	-1,343181902
72,75	20	9,62	0,242014742	0,757985258	2,263497704	-1,283408072
79,97	21	10,87	0,254299754	0,745700246	2,3857	-1,226110802
149,07	22	13,50	0,266584767	0,733415233	2,602689685	-1,171043467
0,50	23	15,05	0,278869779	0,721130221	2,711377991	-1,117992234
451,98	24	15,08	0,291154791	0,708845209	2,713590381	-1,066770368
66,37	25	16,33	0,303439803	0,696560197	2,793208009	-1,017213713
216,78	26	17,00	0,315724816	0,684275184	2,833213344	-0,969177068
399,95	27	17,43	0,328009828	0,671990172	2,858384082	-0,922531255
378,38	28	18,00	0,34029484	0,65970516	2,890371758	-0,877160716
115,15	29	20,00	0,352579853	0,647420147	2,995732274	-0,832961544
0,00	30	21,58	0,364864865	0,635135135	3,071921412	-0,789839834
2,32	31	22,75	0,377149877	0,622850123	3,124565145	-0,747710315
0,00	32	26,83	0,389434889	0,610565111	3,289644896	-0,70649519
18,00	33	28,72	0,401719902	0,598280098	3,357477674	-0,666123155
0,00	34	37,07	0,414004914	0,585995086	3,612718093	-0,626528558
38,32	35	37,58	0,426289926	0,573710074	3,62656069	-0,587650679
133,05	36	38,05	0,438574939	0,561425061	3,638901084	-0,549433101
170,25	37	38,32	0,450859951	0,549140049	3,645884963	-0,511823169
42,58	38	42,17	0,463144963	0,536855037	3,741630019	-0,474771504
126,13	39	42,58	0,475429975	0,524570025	3,75146294	-0,438231584
4,43	40	43,67	0,487714988	0,512285012	3,776585035	-0,402159362
1,95	41	45,87	0,5	0,5	3,825738637	-0,366512921
13,50	42	47,33	0,512285012	0,487714988	3,857214769	-0,331252165
15,05	43	58,92	0,524570025	0,475429975	4,076124016	-0,296338534
9,62	44	60,42	0,536855037	0,463144963	4,101265005	-0,261734731
93,00	45	63,42	0,549140049	0,450859951	4,149726708	-0,227404469
58,92	46	65,13	0,561425061	0,438574939	4,176436451	-0,193312233
22,75	47	66,30	0,573710074	0,426289926	4,194189897	-0,159423037
0,77	48	66,37	0,585995086	0,414004914	4,195194922	-0,125702194
37,07	49	69,38	0,598280098	0,401719902	4,239646685	-0,092115075
42,17	50	72,75	0,610565111	0,389434889	4,287028906	-0,058626865
210,70	51	73,45	0,622850123	0,377149877	4,296604903	-0,025202309
5,08	52	76,20	0,635135135	0,364864865	4,333361463	0,00819456
17,00	53	79,97	0,647420147	0,352579853	4,381609881	0,041600715
15,08	54	89,47	0,65970516	0,34029484	4,493866116	0,075054465
26,83	55	93,00	0,671990172	0,328009828	4,532599493	0,108595813
28,72	56	109,60	0,684275184	0,315724816	4,696837375	0,142266873
0,92	57	109,78	0,696560197	0,303439803	4,698508726	0,176112344
256,75	58	115,15	0,708845209	0,291154791	4,746235626	0,210180067
1,95	59	126,13	0,721130221	0,278869779	4,837339549	0,244521681

6,08	60	133,05	0,733415233	0,266584767	4,890724997	0,279193405
4,45	61	136,75	0,745700246	0,254299754	4,918154441	0,31425699
1,30	62	149,07	0,757985258	0,242014742	5,004393633	0,34978088
4,12	63	157,35	0,77027027	0,22972973	5,058472624	0,385841654
-0,33	64	162,83	0,782555283	0,217444717	5,092727183	0,422525832
1,15	65	170,25	0,794840295	0,205159705	5,137267945	0,459932178
17,43	66	177,23	0,807125307	0,192874693	5,177467132	0,498174673
385,50	67	190,93	0,819410319	0,180589681	5,251924327	0,53738641
190,93	68	203,88	0,831695332	0,168304668	5,317513873	0,577724791
16,33	69	210,70	0,843980344	0,156019656	5,350435321	0,619378609
0,13	70	216,78	0,856265356	0,143734644	5,378898391	0,66257788
66,30	71	226,75	0,868550369	0,131449631	5,423848089	0,707607885
89,47	72	256,75	0,880835381	0,119164619	5,548102849	0,754829778
21,58	73	260,83	0,893120393	0,106879607	5,563881634	0,804711921
20,00	74	378,38	0,905405405	0,094594595	5,935907791	0,85787951
0,57	75	385,50	0,917690418	0,082309582	5,954541193	0,915197233
157,35	76	399,95	0,92997543	0,07002457	5,991339539	0,977915925
47,33	77	409,08	0,942260442	0,057739558	6,013918884	1,04795485
60,42	78	451,98	0,954545455	0,045454545	6,113645306	1,128508398
3,38	79	452,17	0,966830467	0,033169533	6,114050843	1,225574841
203,88	80	513,60	0,979115479	0,020884521	6,241440966	1,352930688
452,17	81	523,75	0,991400491	0,008599509	6,261014471	1,559417537
45,87						
0,70						
1,50						
63,42						
523,75						

Tabla 10.8 Tiempos de buen funcionamiento, R(t), F(t), X e Y linealizados

Fuente: Propia

11.9 Anexo 9

TTR entero	evento	TTR ordenado	M(t)	X ln(t)	Yln(-ln(1-M(t)))	X ln(t-gamma max)	Yln(-ln(1-M(t)))
8,73	1	0,100	0,008	-2,302585093	-4,811597952	-6,044716001	-4,811597952
0,30	2	0,117	0,020	-2,148434413	-3,918439842	-3,961369741	-3,918439842
0,12	3	0,133	0,031	-2,01490302	-3,449903552	-3,332501308	-3,449903552
0,30	4						
0,67	5	0,150	0,054	-1,897119984	-2,883588684	-2,94941461	-2,883588684
0,28	6						
0,43	7	0,167	0,078	-1,791759469	-2,516792565	-2,673112387	-2,516792565
0,62	8	0,174	0,089	-1,750937474	-2,37145811	-2,577265848	-2,37145811
0,32	9	0,200	0,101	-1,609437913	-2,243067734	-2,279158121	-2,243067734
0,58	10						
0,55	11	0,233	0,124	-1,455287232	-2,023367377	-1,99728154	-2,023367377

0,67	12	0,250	0,135	-1,386294361	-1,927527072	-1,881441183	-1,927527072
0,28	13						
0,50	14	0,283	0,159	-1,261131218	-1,756510337	-1,683602954	-1,756510337
0,53	15						
0,67	16						
0,58	17	0,300	0,193	-1,203972804	-1,538106773	-1,597655824	-1,538106773
5,45	18	0,319	0,205	-1,143784008	-1,472992435	-1,50967645	-1,472992435
1,22	19						
0,15	20						
2,82	21						
0,50	22	0,417	0,251	-0,875468737	-1,24054525	-1,14244813	-1,24054525
0,50	23	0,433	0,263	-0,836248024	-1,188089241	-1,091526391	-1,188089241
0,65	24	0,483	0,274	-0,727048732	-1,137479233	-0,952685854	-1,137479233
0,30	25						
3,00	26						
0,23	27						
0,52	28						
1,43	29						
1,43	30	0,500	0,344	-0,69314718	-0,864615531	-0,910382336	-0,864615531
2,88	31						
2,87	32	0,517	0,367	-0,660357358	-0,782800664	-0,869796008	-0,782800664
0,54	33	0,533	0,378	-0,628608659	-0,743231366	-0,830792883	-0,743231366
0,54	34						
0,72	35	0,542	0,402	-0,613104473	-0,666447035	-0,81184734	-0,666447035
1,00	36	0,550	0,413	-0,597837001	-0,629117979	-0,793254067	-0,629117979
0,25	37						
0,42	38	0,583	0,436	-0,538996501	-0,556331059	-0,722156538	-0,556331059
6,70	39	0,617	0,448	-0,48342665	-0,52078122	-0,655780068	-0,52078122
1,37	40	0,650	0,459	-0,430782916	-0,485737136	-0,593536527	-0,485737136
0,50	41						
2,00	42						
3,00	43	0,667	0,494	-0,405465108	-0,383254245	-0,563809785	-0,383254245
16,33	44	0,717	0,506	-0,333144447	-0,349857159	-0,479590201	-0,349857159
5,13	45	0,783	0,517	-0,244196961	-0,31678612	-0,377309687	-0,31678612
0,20	46						
0,23	47	0,833	0,541	-0,182321557	-0,251496103	-0,30692784	-0,251496103
0,93	48	0,917	0,552	-0,087011377	-0,219216179	-0,199625994	-0,219216179
0,50	49	0,933	0,564	-0,068992872	-0,187140049	-0,17948117	-0,187140049
0,92	50						
2,47	51	1,000	0,587	-5,82077E-11	-0,123482637	-0,102730251	-0,123482637
2,17	52	1,033	0,598	0,032789823	-0,091843408	-0,066456426	-0,091843408
1,42	53	1,100	0,610	0,09531018	-0,060291724	0,002367549	-0,060291724
0,42	54						
1,03	55	1,217	0,633	0,196114879	0,002667434	0,112468512	0,002667434
0,42	56	1,367	0,645	0,312374685	0,034135711	0,238258361	0,034135711
0,42	57	1,417	0,656	0,348306694	0,065638507	0,276901941	0,065638507
5,13	58						
0,83	59	1,433	0,679	0,360002734	0,128881453	0,28945826	0,128881453
5,17	60	1,700	0,691	0,530628251	0,160692757	0,471484004	0,160692757
0,78	61	2,000	0,703	0,693147181	0,192681609	0,643100663	0,192681609
0,10	62	2,117	0,714	0,749842524	0,224889572	0,702620675	0,224889572

0,83	63	2,167	0,726	0,773189888	0,257361485	0,727083292	0,257361485
1,10	64	2,250	0,737	0,810930216	0,290146098	0,766569725	0,290146098
20,40	65	2,467	0,749	0,902867712	0,323296832	0,862483552	0,323296832
3,50	66	2,817	0,760	1,035554153	0,356872707	1,000277781	0,356872707
8,50	67						
2,25	68	2,875	0,784	1,056052674	0,425571057	1,021504564	0,425571057
2,12	69	2,950	0,795	1,08180517	0,460851272	1,048150352	0,460851272
6,98	70						
2,95	71	3,000	0,818	1,098612289	0,53375686	1,065527767	0,53375686
3,25	72	3,250	0,830	1,178654996	0,57162351	1,148154663	0,57162351
1,70	73	3,310	0,841	1,196948189	0,61063033	1,167009093	0,61063033
3,31	74	3,500	0,853	1,252762968	0,650962634	1,224472352	0,650962634
0,52	75	4,083	0,865	1,406913648	0,692846552	1,382713881	0,692846552
0,50	76	4,700	0,876	1,547562509	0,736562897	1,526571465	0,736562897
1,00	77						
0,17	78	5,133	0,899	1,635755221	0,831022409	1,616553276	0,831022409
4,08	79	5,167	0,911	1,642227735	0,88284453	1,623150863	0,88284453
0,17	80	5,450	0,922	1,695615609	0,938787824	1,67753952	0,938787824
0,15	81	6,700	0,934	1,902107526	1,000088167	1,887428729	1,000088167
0,13	82	6,983	0,946	1,943526358	1,068642709	1,929447333	1,068642709
1,22	83	8,500	0,957	2,140066164	1,147610322	2,128513851	1,147610322
4,70	84	8,733	0,969	2,167147122	1,242924992	2,155905201	1,242924992
0,17	85	16,333	0,980	2,793208009	1,36822189	2,787212748	1,36822189
0,48	86	20,400	0,992	3,015534901	1,571873652	3,010737645	1,571873652

Tabla 10.9 Tiempos para reparar, mantenibilidad, X e Y linealizados con gamma asumido cero y calculado

Fuente: Propia