

UNIVERSIDAD DE CONCEPCION

FACULTAD DE INGENIERIA

DEPARTAMENTO DE INGENIERIA DE MATERIALES



Profesor(es) Patrocinante(s):

**Prof. Juan Pablo Sanhueza
Araya**

Prof. Marta López Jansen

Ingeniero Supervisor:

Mauricio Rojas Bustos

Informe de Memoria de Título
para optar al título de:

**Ingeniero Civil de
Materiales**

**IMPLEMENTACIÓN DE PROCESO DE REUTILIZACIÓN
DE COMPONENTES REPARABLES CON POLEAS COMO
EQUIPO PILOTO**

Mayo de 2019

Nelson R. Escobar Martínez

©2019 Nelson Raúl Escobar Martínez

Ninguna parte de esta tesis puede reproducirse o transmitirse bajo ninguna forma o por ningún medio o procedimiento, sin permiso por escrito del autor.

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento.



UNIVERSIDAD DE CONCEPCION
Facultad de Ingeniería
Departamento de Ingeniería de
Materiales

Profesor(es) Patrocinante(s):
Prof. Juan Pablo Sanhueza Araya
Prof. Marta López Jenssen

Ingeniero Supervisor
Mauricio Rojas Bustos



IMPLEMENTACIÓN DE PROCESO DE REUTILIZACIÓN DE COMPONENTES
REPARABLES CON POLEAS COMO EQUIPO PILOTO

Nelson Raúl Escobar Martínez

Informe de Memoria de Título
Para optar al Título de

Ingeniero Civil de Materiales

Mayo de 2019



Sumario

El presente trabajo tiene como fin definir las etapas asociadas al proceso de componentes reparables a fin de asegurar su confiabilidad operacional y generar al mismo tiempo un ahorro de repuestos versus la compra de componentes nuevos.

Para desarrollar el estudio, se tomó como base las poleas de sistemas transportadores y se definieron las etapas del proceso desde su desmontaje en planta hasta su nueva puesta en servicio, estableciendo para cada etapa los procesos a ejecutar y sus estándares aplicables.

Por otra parte, para cuantificar el impacto potencial que podría generar un aumento en la confiabilidad de este activo reparable, se realizó el análisis de datos asociados a los tiempos de detención de un año completo en la División Gabriela Mistral de Codelco. Dentro de este proceso fue necesario realizar una depuración de la base de datos y generar una estandarización para que los nuevos avisos (entiéndase que estos avisos corresponden a los solicitudes de mantenimiento creados en el sistema SAP) creados tuviesen una estructura dentro de SAP, definida que facilitara la tarea de análisis y mejora continua.

Para poder asegurar la calidad de las reparaciones, se realizó un análisis de los modos de fallas que ocurrieron durante el año 2018 y sus efectos, asociando a cada modo de falla una o varias técnicas de inspección mediante ensayos no destructivos.

Como resultado se obtuvo un proceso autosustentable, el cual puede generar ahorros con valores esperados del orden de los 8 mil millones de pesos.

Agradecimientos.

El presente trabajo está dedicado a mi padre, esposa e hijas quienes son el punto de equilibrio que mueve mi mundo.

Agradezco a Mauricio Rojas Bustos, quien me dio el espacio para desarrollarme laboralmente y al mismo tiempo me guio en la realización del presente trabajo.



Abreviaciones y definiciones.

mm²/s: milímetros cuadrados divididos por segundo

mm: milímetros

m: metros

kg: kilogramos

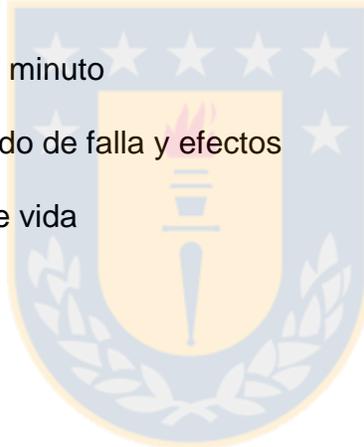
°C: grados Celsius

kN: Kilo Newton

r/min: revoluciones por minuto

FMEA: Análisis del modo de falla y efectos

LCC: Costo del ciclo de vida



Índice.

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN.....	3
2.1. OBJETIVOS GENERALES.....	5
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	5
CAPÍTULO3: MARCO TEÓRICO.....	6
3.1. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO PRODUCTIVO.....	6
3.1.1. <i>Descripción general.....</i>	6
3.2. SISTEMAS TRANSPORTADORES DE MINERAL.....	8
3.2.1. <i>Poleas de sistemas transportadores.....</i>	9
3.2.1. <i>Materiales utilizados en la fabricación de poleas</i>	10
3.3. MODOS DE FALLAS Y SUS CONSECUENCIAS.....	13
3.4. CÓDIGOS, NORMAS Y ESPECIFICACIONES.....	15
3.5. ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS.....	16
3.5.1. <i>Defectología</i>	18
3.5.2. <i>Ensayo de líquidos penetrantes</i>	18
3.5.3. <i>Ensayo de partículas magnéticas.....</i>	19
3.5.4. <i>Ensayo de ultrasonido.....</i>	20



3.5.5. <i>Ensayo de adherencia</i>	24
3.5.5. <i>Ensayo de dureza</i>	24
3.6. METROLOGÍA	26
3.7. GESTIÓN DE ACTIVOS.....	28
3.8. MODELO GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO.....	30
3.8.1. <i>Ciclo del mantenimiento</i>	30
CAPÍTULO 4: METODOLOGÍA	35
4.1. GENERACIÓN DE BASE DATOS.....	35
4.1.1 <i>Diagrama Lógico Funcional:</i>	35
4.1.2 <i>Creación de avisos SAP</i>	36
4.1.3 <i>Generación de la base de datos</i>	37
4.1.4 <i>Tratamiento de los datos</i>	40
4.2. ELABORACIÓN DE PAUTAS DE CONTROL.....	40
4.2.1 <i>Aplicación de ensayos no destructivos</i>	43
4.3.2 <i>Metrología en ejes y agujeros</i>	52
4.3.3 <i>Metrología de los tambores de acero</i>	53
4.3.4 <i>Aplicación Test de adherencia a recubrimientos</i>	54



CAPÍTULO 5: RESULTADOS	57
5.1. REVISIÓN DE LA DATA DE DETENCIONES DE PLANTA	57
5.2. DEFINICIÓN DE COMPONENTE REPARABLE	62
5.3. DIAGRAMACIÓN DEL MAPA DE PROCESO DEL REPARABLE	64
5.3.1 <i>Diagrama del proceso en faena previa a la reparación</i>	56
5.3.2 <i>Diagrama del proceso en gestión previa a la reparación</i>	56
5.3.4 <i>Diagrama del proceso en gestión durante la reparación</i>	57
5.4. CRUCE DE FALLAS Y TÉCNICAS DE INSPECCIÓN	58
5.5. GENERACIÓN DE PAUTAS DE CONTROL E INSPECCIÓN	60
5.5.1 <i>Pautas de control etapa de desarme</i>	61
5.5.2 <i>Pautas de control etapa reparación y fabricación</i>	63
5.5.3 <i>Pautas de control etapa de armado</i>	65
5.5.4 <i>Aplicación de pautas y controles</i>	66
5.6. GENERACIÓN DE ESTÁNDARES BÁSICOS ASOCIADOS AL PROCESO	71
5.6.1 <i>Pautas de montaje en faena</i>	78
5.7. EVALUACIÓN ECONÓMICA DE REPARAR VS COMPRAR.....	80
5.8. EVALUACIÓN DE COMPONENTES REPARADOS EN OPERACIÓN	81



5.9. OPORTUNIDADES DE MEJORA	84
5.9.1 Selección de lubricantes y tiempos de re-lubricación.....	84
5.9.1.1 Implementación de matriz de lubricación y pautas de inspección	85
BIBLIOGRAFÍAS.....	93



Índice de figuras.

FIGURA 1 DIAGRAMA DEL PROCESO PRODUCTIVO.....	7
FIGURA 2. ELEMENTOS BÁSICOS DE UN TRANSPORTADOR (4).....	8
FIGURA 3. POLEA RECUBIERTA TÍPICA DE USO EN MINERÍA.	10
FIGURA 4. ESFUERZOS RADIALES RESULTANTES EN LOS ARREGLOS TÍPICOS DE POLEAS (4).....	11
FIGURA 5. DIAGRAMA MÉTODO DE LA DEFLEXIÓN DEL EJE	13
FIGURA 6 DIAGRAMA ANÁLISIS FMEA.....	14
FIGURA 7 PRINCIPIO DE APLICACIÓN PARTICULAS MAGNÉTICAS.	20
FIGURA 8 ONDAS LONGITUDINALES (12).....	22
FIGURA 9 ONDAS TRANSVERSALES (12).....	23
FIGURA 10 ONDAS DE RAYLEIGH (12).....	23
FIGURA 11. CLASES DE TOLERANCIAS MÁS UTILIZADAS (18).....	28
FIGURA 12. MODELO DE ESTIMACIÓN DE COSTOS LCC.....	29
FIGURA 13 CICLO DEL MANTENIMIENTO (2).....	31
FIGURA 14 ENFOQUE R-MES PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE INGENIERÍA DE CONFIABILIDAD (21)	34



FIGURA 15 CREACIÓN DE AVISO SAP PRIMERA PARTE.....	37
FIGURA 16 CREACIÓN DE AVISO SAP SEGUNDA PARTE.....	37
FIGURA 17 CREACIÓN DE TRATAMIENTO DE LISTA PARA GENERAR BASE DATOS.	38
FIGURA 18 EXPORTACIÓN DE BASE DE DATOS PRIMERA PARTE.....	39
FIGURA 19 EXPORTACIÓN DE BASE DE DATOS SEGUNDA PARTE.....	39
FIGURA 20 EXPORTACIÓN DE BASE DE DATOS TERCERA PARTE.	39
FIGURA 21 ESQUEMA DE DIAGRAMA DE FRECUENCIAS RELATIVAS Y DIAGRAMA DE PARETO.	40
FIGURA 22 INGRESO DEL PENETRANTE EN UNA DISCONTINUIDAD	43
FIGURA 23 ACCIÓN DEL REVELADOR	45
FIGURA 24 ZONA DE BARRIDO Y MOVIMIENTO REQUERIDO (13).....	50
FIGURA 25 METROLOGÍA DE REFERENCIA PARA EJES.....	53
FIGURA 26 METROLOGÍA DE REFERENCIA PARA AGUJEROS	53
FIGURA 27 METROLOGÍA DE REFERENCIA PARA TAMBORES.....	54
FIGURA 28 ENSAYO DE ADHERENCIA ASTM D429 MÉTODO B	55
FIGURA 29 DIAGRAMA CONFIGURACIÓN DE PLANTA	58
FIGURA 30 PARETO HORAS EQUIVALENTES MODOS DE FALLA 2018	62
FIGURA 31 PROCESO PREVIO AL ENVÍO	56



FIGURA 32 DIAGRAMA DEL PROCESO PREVIO A LA REPARACIÓN	57
FIGURA 33 PROCESO DE REPARACIÓN.....	58
FIGURA 34 EVIDENCIA DE APLICACIÓN DE PAUTAS DE CONTROL.....	71
FIGURA 35 COTAS MÍNIMAS DE ARMADO	73
FIGURA 36 DESCRIPCIÓN COMPONENTE REPARADO	74
FIGURA 37 POLEA EN ESTÁNDAR DE EMBALAJE	75
FIGURA 38 USO CORRECTO DE LAINAS.....	77
FIGURA 39 RESUMEN PROCESO DE REPARACIÓN.	78
FIGURA 40 ESPECTRO ANTES Y DESPUÉS DE FALLA 140-CV-006.....	83
FIGURA 41 ESPECTRO ANTES Y DESPUÉS DE FALLA 140-CV-007.....	83
FIGURA 42 ESPECTRO ANTES Y DESPUÉS DE LA FALLA 145-CV-022	84

Índice de Ecuaciones

ECUACIÓN 1, CARGA RADIAL RESULTANTE EN LA POLEA 11

ECUACIÓN 2. DIÁMETRO DE EJE DE ACUERDO A CRITERIO DE FATIGA 12

ECUACIÓN 3. MÉTODO DE DEFLEXIÓN MÁXIMA 12

ECUACIÓN 4 CANTIDAD DE GRASA A REPONER..... 86

ECUACIÓN 5 TIEMPO DE RE LUBRICACIÓN 87



Índice de Tablas

TABLA 1 CAPACIDAD PRODUCTIVA DE MINERAL OXIDADO.....	6
TABLA 2. MATERIALES UTILIZADOS EN LA FABRICACIÓN DE POLEAS	13
TABLA 3. TIPOS Y MÉTODOS DE LÍQUIDOS PENETRANTES (10).	19
TABLA 4 RAPIDEZ DE PROPAGACIÓN DEL SONIDO (13).	21
TABLA 5 REFERENCIA DE ESCALAS DE DUREZAS (15)	25
TABLA 6 TOLERANCIAS ISO 286-2.....	27
TABLA 7 DIAGRAMAS LÓGICO FUNCIONAL (21).	36
TABLA 8 ANÁLISIS DE LOS MODOS DE FALLAS Y SUS EFECTOS.....	42
TABLA 9 TIEMPO MÍNIMO DE PENETRACIÓN Y REVELADO (20)	44
TABLA 10 FUERZA MÍNIMA EJERCIDA POR YUGO MAGNÉTICO (24).	46
TABLA 11 REFERENCIA MEDICIÓN DE ESPESORES	49
TABLA 12 MEDICIÓN DE DUREZAS	52
TABLA 13 DUREZAS REFERENCIALES DE LOS RECUBRIMIENTOS DE POLEAS (5)	52
TABLA 14 DESVIACIONES PERMISIBLES EN DIÁMETROS DE POLEAS (5)	54
TABLA 15 TIEMPOS EQUIVALENTES DE PRODUCCIÓN	60
TABLA 16 RESUMEN ETAPAS DEL PROCESO DE REPARACIÓN	65

TABLA 17 CRUCE MODOS DE FALLAS Y TÉCNICAS DE INSPECCIÓN	59
TABLA 18 IMPUTACIONES DE DETENCIONES PLANTA.....	60
TABLA 19 PAUTA DE EVALUACIÓN DE POLEAS.....	62
TABLA 20 PAUTA DE CONTROL REPARACIÓN Y FABRICACIÓN	64
TABLA 21 PAUTA ARMADO DE POLEAS.....	66
TABLA 22 APLICACIÓN DE PAUTAS DE CONTROL	67
TABLA 23 STOCK MÍNIMO RECOMENDADO PARA COMPONENTES CRÍTICOS	69
TABLA 24 IDENTIFICACIÓN DE COMPONENTE A REPARAR	72
TABLA 25 IDENTIFICACIÓN COMPONENTE REPARADO.....	74
TABLA 26 PAUTA DE INSPECCIÓN MONTAJE EN FAENA.....	79
TABLA 27 COMPARACIÓN DE PRECIOS DE REPARAR VS COMPRAR	80
TABLA 28 EVALUACIÓN DE CONDICIÓN VIBRATORIA	82
TABLA 29 CÁLCULO DE RELACIÓN DE VISCOSIDAD (25)	86
TABLA 30 PARÁMETROS DE RE-LUBRICACIÓN.....	88
TABLA 31 PAUTAS DE RE LUBRICACIÓN POLEAS.....	90

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

En un mundo cada vez más integrado, todo tipo de empresas, independientemente de su tamaño o proceso productivo, se ven obligadas a abordar nuevos desafíos que les permitan mantenerse competitivos en mercados cada vez más exigentes. Estos desafíos deben involucrar la innovación, responsabilidad con los recursos humanos, naturales y ambientales, la reducción de costos, aumento de la productividad y ser eficientes en atender a los clientes externos e internos de manera equilibrada. Es posible afirmar que para ser competitivos se requiere hacer, cada vez con menos, más, mejor y bien (1).

En este nuevo escenario, una correcta gestión de activos enfocada a todas las etapas del ciclo de vida, LCC, se vuelve primordial, sobre todo en las empresas intensivas en activos físicos, como es el caso de las compañías mineras. Las cuales sus mayores costos de producción están en los altos costos de sus equipos presentes en planta.

Dentro de este entorno complejo, una herramienta fundamental para lograr la excelencia operacional es la confiabilidad operacional. La cual, se puede definir como la capacidad de una empresa para producir sus productos o bienes, dentro de los márgenes y condiciones para la cual fue concebida.

Dentro de la confiabilidad operacional, ésta tiene 5 ejes principales: 1) confiabilidad humana, 2) mantenibilidad de los activos, 3) confiabilidad de los activos, 4) confiabilidad del proceso y 5) confiabilidad del suministro, siendo este último eje, el foco principal de este trabajo..

Se debe tener presente que el costo asociado a materiales, puede representar entre el 25 y 30 por ciento del presupuesto total del mantenimiento, llegando a ser en algunos casos hasta un 45 por ciento de este presupuesto (2). Por lo cual, una correcta implementación de las políticas de componentes reparables (las cuales deben definir de manera explícita que reparar, cuando reparar y cuando dar de baja un componente), puede ser un negocio de gran impacto para las áreas de mantenimiento. Sin embargo, se debe recalcar que estas reparaciones no deben y no pueden ser a cualquier precio, ya que como se mencionó anteriormente, la confiabilidad del suministro es un pilar fundamental en la confiabilidad operacional y por ende afecta de manera directa la excelencia operacional y competitividad del negocio.

Esta memoria de título, tiene cuatro líneas de desarrollo:

- a.) Primera línea de desarrollo: elaborar un mapa de procesos para el ciclo de reparación de los componentes definidos como reparables.
- b.) Segunda línea de desarrollo: un análisis de las detenciones de planta y cuál es el impacto de los componentes reparados en dichas fallas.
- c.) Tercera línea de desarrollo: identificación del tipo de falla presente en componentes reparables de acuerdo a lo histórico y modos de fallas esperados, como respuesta a las solicitudes mecánicas actuantes. Con la información obtenida, se desarrollarán los planes de inspección necesarios para detectar los modos de fallas esperados. Adicionalmente estos planes tendrán definidos cada uno de los criterios necesarios para detener o continuar el proceso de reparación.
- d.) Cuarta línea de desarrollo: implementación de estándares de transporte y almacenajes de componentes.

Capítulo2: Objetivos

2.1. Objetivos Generales

El objetivo de este estudio, es establecer una metodología de reparación, inspección, traslado y montaje de poleas, que permita contar con poleas de sistemas transportadores reparadas, en el tiempo indicado y la calidad necesaria para mantener la continuidad operacional y al mismo tiempo generar un plan de ahorro en comparación a comprar componentes nuevos.

2.2. Objetivos Específicos

Los objetivos específicos de este trabajo se listan a continuación:

- Tener componentes reparables (poleas) con la confiabilidad requerida para la continuidad operacional.
- Generar un plan de ahorro al reparar componentes no superando un 60% del costo de un componente nuevo.
- Realizar estandarización de los criterios de evaluación de poleas para definir su factibilidad de re utilización y/o reparación.
- Definir modos de fallas de componentes y asociar técnicas de inspección no destructiva que asegure la integridad del componente previo a su re utilización.
- Definir estándares de transporte y preservación de componentes.
- Definir estándares de manipulación y montaje.
- Implementación de pautas de control para cada una de las etapas del proceso.
- Contar con la trazabilidad de cada componente, desde su proceso de adquisición hasta su puesta en marcha o puesta fuera de servicio.

CAPÍTULO 3: MARCO TEÓRICO

3.1. Descripción del proceso productivo

3.1.1. Descripción general.

División Gabriela Mistral opera el yacimiento del mismo nombre, situado en la región de Antofagasta, comuna de Sierra Gorda, a 120 kilómetros al suroeste de Calama y a una altura de 2.660 metros sobre el nivel del mar. La División entró en producción el 2008, con una vida útil de 15 años. En su etapa inicial el yacimiento contenía 620 millones de toneladas de mineral oxidado, con una ley media de 0,41% de cobre total. En la Figura 1 Diagrama del proceso productivo, el cual tiene una capacidad de producción anual de 46 millones de toneladas (7.000 toneladas/hora), siendo la capacidad de diseño de 8.050 toneladas/hora (3), como puede ser observado en la Tabla 1 “Capacidad productiva de mineral oxidado”.

Capacidad	Toneladas
Capacidad anual	: 46 millones toneladas
Capacidad diaria	: 126.000 toneladas
Capacidad instantánea	: 7.000 toneladas/ hora
Capacidad diseño	: 8.050 toneladas / hora

Tabla 1 Capacidad productiva de mineral oxidado

Gabriela Mistral es la primera operación minera del mundo en la que todos los camiones de extracción operan en la modalidad de "autónomos", es decir, sin operador, con una tecnología que está en permanente evaluación y monitoreo.

El proceso productivo (ver Figura 1 “Diagrama del proceso productivo”) contempla las etapas de chancado primario, secundario y terciario; curado en tambores acidificadores, lixiviación en pilas dinámicas, disposición de rípios, extracción por solventes (SX), electroobtención (EW).

La producción de cátodos de esta división ha sido certificada por la Bolsa de Metales de Londres (LME) con el premio de Cátodo Registrado, reconociendo su alta calidad química y muy buen aspecto físico, exigencias requeridas por el organismo internacional.

Al ser una división que explota un yacimiento de baja ley, los desafíos se presentan en la innovación permanente de su gestión productiva. Actualmente, se implementa el piloto de la metodología Lean Management, que a nivel corporativo es C+(3).



Figura 1 Diagrama del proceso productivo.

3.2. Sistemas transportadores de mineral.

Se conoce como sistema transportador de mineral, a los equipos destinados a transportar el mineral a granel, en cualquiera de las etapas del proceso productivo. Por lo general, los transportadores están constituidos por estructura base, sistemas motrices, poleas, polines, cinta transportadora, buzones de traspaso (alimentación y descarga) guardas y protecciones. La principales funciones de cualquier tipo de transportador son las de recibir, transportar y descargar el mineral. Dichos transportadores pueden ser observados en la Figura 2. Elementos básicos de un transportador ” (4).

Los sistemas de transporte mineral son ampliamente usados, cuando la distancia de transporte supera el kilómetro de distancia lineal. Debido a su bajo coste de mantención, se estima que el costo total de mantención anual corresponde al 2% del costo de construcción del proyecto. Por otra parte, al ser equipos operados con el uso de energía eléctrica, el costo de operación se ve menos afectado por las fluctuaciones que puede tener el precio del combustible, en comparación con el combustible líquido (4). El presente trabajo estará enfocado en las poleas de los sistemas transportadores.

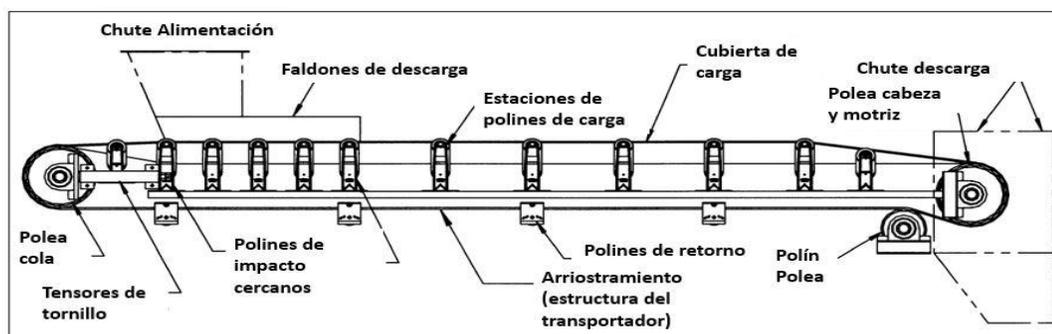


Figura 2. Elementos básicos de un transportador (4).

3.2.1. Poleas de sistemas transportadores.

Las poleas son los elementos encargados de transmitir el movimiento desde el reductor a la cinta transportadora. Esta transmisión de movimiento se origina gracias a la adherencia casi total que existe entre las poleas y la cinta propiamente tal. Es por esto, que la tensión a la cual se somete la cinta es un parámetro esencial para lograr el movimiento, como también lo es el recubrimiento que presente la polea.

Las poleas de acuerdo a su función normalmente son clasificadas como: poleas motrices, poleas deflectoras y poleas tensoras. Se debe considerar que en algunos casos, una polea puede tener más de una función o ubicación dentro de una planta, condición que hace muy relevante la trazabilidad e identidad, concepto abordado ampliamente más adelante.

Es una práctica aceptada, el considerar ejes y poleas como un todo, debido a que ellos forman una estructura compuesta cuyas características de operación son mutuamente relacionadas.

Las poleas más usadas dentro de la industria minera corresponden a las poleas con tambores de acero. Estas están formadas por un tambor central soldado, unido a tapas en cada uno de sus extremos, donde estas tapas contienen el alojamiento del elemento de fijación al eje. Adicionalmente, el tambor lleva los siguientes elementos: un eje, rodamientos en cada uno de sus extremos, dichos rodamientos pueden ir en los extremos del eje (como se muestra en la Figura 3. Polea recubierta típica de uso en minería”) o bien dentro de las tapas del tambor, manguitos de contracción, para fijar el eje al tambor, soportes, sellos y un recubrimiento sobre el tambor. En la mayoría de los casos, los recubrimientos sobre el tambor son de caucho vulcanizado. Sin embargo, nuevas aplicaciones en ambientes muy abrasivos, ha llevado al uso de

materiales compuestos de caucho y cerámica. Para el caso de las poleas motrices se debe considerar el uso de acoplamiento en uno o en sus dos lados, dependiendo de la aplicación, Figura 3. Polea recubierta típica de uso en minería”.



Figura 3. Polea recubierta típica de uso en minería.

3.2.1. Materiales utilizados en la fabricación de poleas

Como es de esperar, el tipo de material y sus espesores dependerán principalmente de las cargas a las cuales serán sometidos el tambor y el eje. Estas cargas están directamente relacionadas con el tipo de arreglo de diseño en los cuales se encuentran las poleas. En la Figura 4. Esfuerzos radiales resultantes en los arreglos típicos de poleas , se observa los tipos de arreglos más comúnmente utilizados y los esfuerzos radiales resultantes asociados.

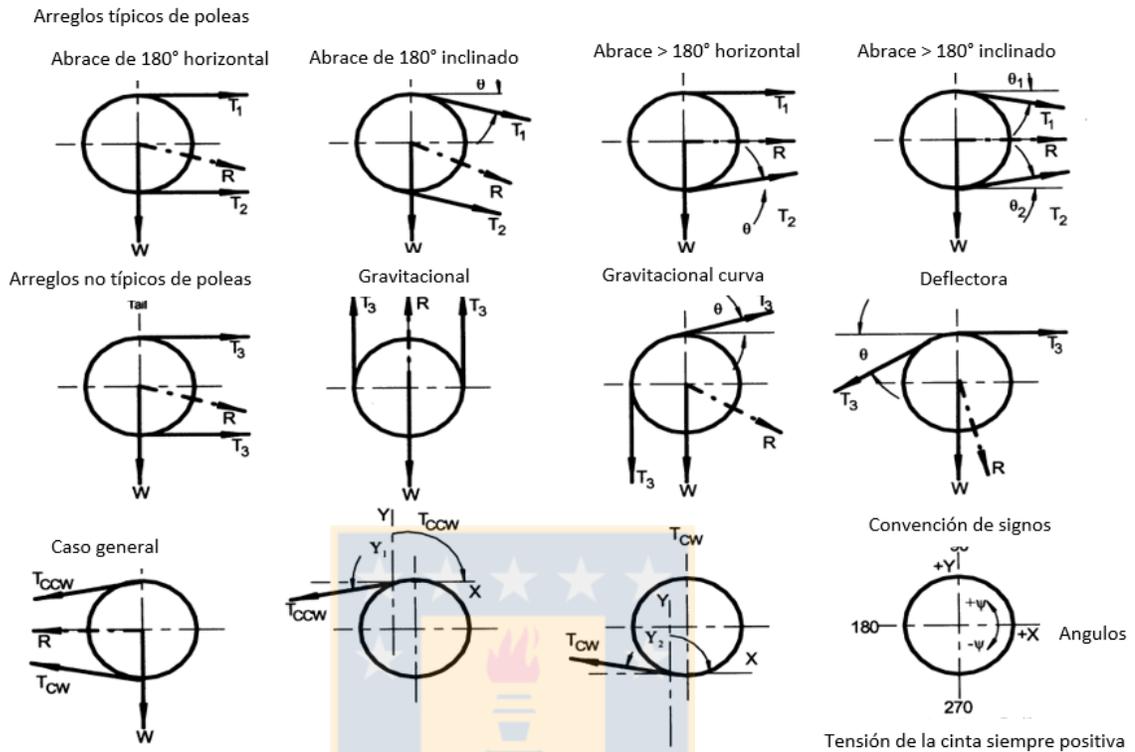


Figura 4. Esfuerzos radiales resultantes en los arreglos típicos de poleas

(4)

De los arreglos observados se desprende la ecuación general 1, la cual se expresa a continuación:

R

$$= \sqrt{((T_{CCW} \times \cos \Psi_1)) + ((T_{CW} \times \cos \Psi_2))^2 + ((T_{CCW} \times \sin \Psi_1)) + ((T_{CW} \times \sin \Psi_2) - W)^2}$$

Ecuación 1, carga radial resultante en la polea

R es la carga radial resultante sobre la polea, T_{CW} es la Tensión en la cinta en sentido horario, T_{CCW} es la tensión en la cinta en sentido anti horario, W es el peso de la polea yΨ es el ángulo de tensión en la cinta. De acuerdo a

nomenclatura, ángulos medidos con respecto al origen en sentido anti horario, serán positivos (+), y en sentido horario negativos (-).

Para el caso de los ejes se consideran dos métodos de selección de diámetro:

- 1) Método por fatiga: donde el diámetro viene dado por la ecuación 2.

$$D = \sqrt[3]{\frac{32 \times F.S. \times \sqrt{\left(\frac{M}{S_f}\right)^2 + \frac{3}{4} \times \left(\frac{T}{S_y}\right)^2}}{\pi}}$$

Ecuación 2. Diámetro de eje de acuerdo a criterio de fatiga

Donde D es el Diámetro requerido para el eje, F.S es el factor de seguridad (1,5), S_f la corrección del límite de fatiga (0,5 por el límite de fatiga de acuerdo al material), S_y es el límite de fluencia, M es el momento de flexión y T el momento de torsión.

- 2) Método por deflexión: donde el diámetro viene dado por la ecuación 3:

$$\tan \alpha = \frac{RA}{2E_y} \left\{ \left(\frac{C}{I} \right) + \left(\frac{B - 2A - 2C}{2I_2} \right) \right\}$$

Ecuación 3. Método de deflexión máxima

Donde R es la fuerza resultante sobre la polea, A es el brazo de momento sobre la polea, B es la distancia entre centros de los rodamientos, C es el brazo de momento sobre el refuerzo del eje, I e I_2 corresponden a los momentos de inercia para el eje, E_y es el módulo de Young y $\tan(\alpha)$ (con α en grados) corresponde a la tangente del ángulo formado por la deflexión del eje y su eje axial neutro. En la Figura 5. Diagrama método de la deflexión del eje”, se observa un diagrama aclaratorio de este método:

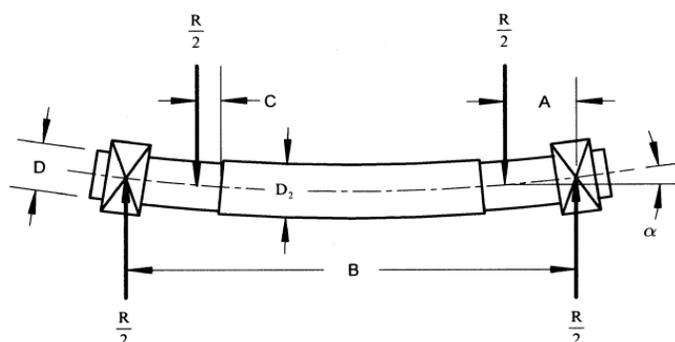


Figura 5. Diagrama método de la deflexión del eje

Para este método se considera el valor máximo de deflexión de: 0,0023 pulgadas por cada pulgada de diámetro u ocho minutos en sistema sexagesimal. Para aplicación donde se requiera una mayor precisión de giro, se recomienda una deflexión máxima de 0,0015 pulgadas por cada pulgada de diámetro o cinco minutos en sistema sexagesimal (4). A modo de resumen, se elaboró la Tabla 2 “Materiales utilizados en la fabricación de poleas” donde se muestran las partes de una polea y sus materiales asociados.

Material	Componente			
	Tambor	Tapas	Ejes	Elementos de fijación
SAE 1020	X	X		
SAE 1040	X	X	X	
SAE 4140			X	X
SAE 4340			X	X

Tabla 2. Materiales utilizados en la fabricación de poleas

3.3. Modos de fallas y sus consecuencias.

Es relevante mencionar antes de iniciar este punto, que una falla no siempre tendrá un impacto en la productividad, sino que sus impactos pueden estar orientados a las personas, el medio ambiente, seguridad de las instalaciones,

imagen corporativa (siendo esta última una de las más difíciles de cuantificar), entre otros. Dependerá del tipo de industria, cuáles fallas serán clasificadas como críticas y cuáles no. Para poder estandarizar el uso del lenguaje en lo que refiere a los conceptos de mecanismo, modo y causa de fallas, se utilizará la norma ISO 14224 (5).

- Falla: Término de los requerimientos de un elemento para realizar la función requerida.
- Mecanismo de falla: Proceso físico, químico o de otro tipo que ha conducido a una falla.
- Modo de falla: Manera observada de fallar.
- Causa de falla: Circunstancias durante el diseño, fabricación o uso que hayan conducido a una falla.

Para determinar los tipos de fallas y sus consecuencias se utilizará la metodología análisis de modos de fallas y sus efectos, para luego determinar cuáles son las técnicas de inspección más adecuadas para la aplicación, lo cual se esquematiza en el diagrama de la Figura 6 “Diagrama Análisis FMEA”.

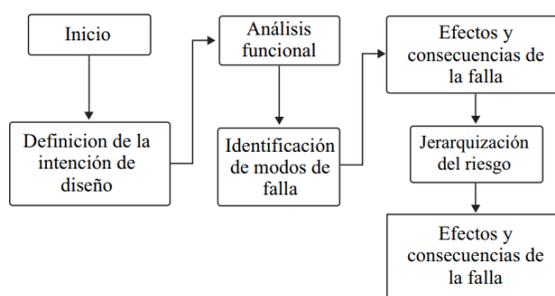


Figura 6 Diagrama Análisis FMEA

Para poder utilizar la metodología FMEA se vuelve relevante comprender el concepto “definición de la intención de diseño”, el cual consistente en entender claramente las condiciones de operación de la planta o proceso, para lo cual se

debe considerar tanto su diseño como las necesidades de los usuarios. Básicamente, nos definen la forma en la cual operan los activos.

3.4. Códigos, normas y especificaciones.

Se definen de manera general como los documentos que establecen los lineamientos para la realización de actividades industriales. Estos buscan asegurar que los protocolos o procesos de producción generen productos de calidad y que toda actividad perteneciente a ésta se realice de manera segura. Sin embargo, se debe entender que existen diferencias entre ellas para lo cual revisaremos sus definiciones (7):

- Código: es un conjunto de requisitos y condiciones, generalmente aplicables a uno o más procesos que regulan de manera integral el diseño, materiales, fabricación, construcción, montaje, instalación, inspección, pruebas, reparación, operación y mantenimiento de instalaciones, equipos, estructuras y componentes específicos.
- Normas: El término norma se utiliza para el conjunto de códigos, estándares, prácticas, etc. Estas han sido aprobadas por un comité patrocinador, el cual actúa como vigilante en la aplicación y uso de dichas normas.
- Especificaciones: Una especificación es una norma que describe clara y concisamente los requisitos esenciales y técnicos para un material, producto, sistema o servicio. También indica los procedimientos, métodos, clasificaciones o equipos a emplear para determinar si los requisitos especificados para el producto han sido cumplidos o no.

Los códigos y normas utilizados en el presente trabajo son vigilados por los siguientes organismos:

- American National Standards Institute ANSI (Instituto Nacional Americano de Normas). Se utilizará el estándar SNT-TC-1A, el cual indica los requisitos asociados a las personas que realizan ensayos no destructivos.
- American Society of Mechanical Engineering - ASME (Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos), se utilizará el código de Calderas y Recipientes a Presión en Calderas de Potencia, en sus volúmenes I, referido a reglas de construcción, V referido a ensayos no destructivos y IX referido a soldadura.
- American Welding Society AWS (Sociedad Americana de Soldadura). Se utilizará el código D1.1, referido a fabricación de estructuras en acero carbono.
- American Society for Testing and Materials - ASTM (Sociedad Americana de Ensayos y Materiales), se utilizaran los estándares referidos a ensayos no destructivos E1408, E797.
- International Organization for Standardization – ISO (Organización Internacional para la Normalización), serán parte del presente los estándares 286-1 y 286-2 referidos a ajustes, tolerancias y desviaciones geométricas.
- Society of Automotive Engineers - SAE (Sociedad de Ingenieros Automotrices). Se utilizarán las especificaciones para los aceros de construcciones de poleas, considerando como mínimo los SAE 1018, SAE 1040, SAE 4140, SAE 4340.

3.5. Ensayos no destructivos.

Los ensayos no destructivos son un conjunto de pruebas, análisis y ensayos realizados a diferentes partes y/o equipos, a fin de verificar su aptitud para el

servicio. Estas pruebas no deben alterar las propiedades fisicoquímicas de los elementos a inspeccionar de manera permanente.

En lo referente a la inspección de cualquier tipo de componente y/o material, los ensayos no destructivos son ampliamente utilizados, siendo éstos un pilar fundamental de la aceptación o rechazo de los componentes o piezas inspeccionados. Sin embargo, la incertidumbre sobre su aplicación está referida a los criterios utilizados para aceptar o rechazar dichos componentes y el tipo de ensayo no destructivo indicado para ese componente.

Los ensayos no destructivos son clasificados de acuerdo al tipo de discontinuidad que son capaces de detectar y se clasifican principalmente en:

- Ensayos superficiales: Son aquellas discontinuidades que se encuentran abiertas a la superficie como grietas o poros. Estos ensayos son los líquidos penetrantes y la inspección visual.
- Ensayos sub superficiales: Son aquellas discontinuidades que se encuentran o no abiertas a la superficie. Sin embargo, estas no pueden estar más allá de 1/32" de profundidad. En esta clasificación encontramos a las partículas magnéticas y las corrientes de Eddy.
- Ensayos Volumétricos: Son aquellos ensayos que pueden detectar discontinuidades en cualquier punto del volumen del elemento o componente a inspeccionar. En esta clasificación se tiene la radiografía, ultrasonido y la emisión acústica.

Para la realización de ensayos no destructivos y su posterior evaluación, los inspectores a cargos de esta actividad deben poseer cómo mínimo, la certificación nivel II (dos) en la técnica empleada, según la práctica recomendada SNT-TC-1A (8).

3.5.1. Defectología

Es común cuando se habla de ensayos no destructivos hablar de defectos. Sin embargo, lo correcto será hablar siempre de discontinuidades, ya que dependiendo de su caracterización y evaluación podrán ser clasificadas como relevantes, y pasarán a constituir un defecto o bien podrían ser clasificadas como no relevantes y en este caso sólo serán indicaciones no relevantes. Dicho lo anterior, se entiende que un defecto será siempre una discontinuidad pero una discontinuidad podría ser o no un defecto. De acuerdo al origen de las discontinuidades, éstas se clasifican en tres categorías:

- Discontinuidades inherentes: son aquellas discontinuidades originadas en el o los procesos de origen del material o proceso de fabricación de la materia prima. Son atribuidas al proceso de fusión del material, ejemplos: cavidades de contracción, inclusiones de escorias, pliegues o dobles laminaciones, entre otras.
- Discontinuidades de proceso: son aquellas producidas en el proceso de conformado del material o en la etapa de terminación.
- Discontinuidades de servicio: son aquellas originadas durante la operación o funcionamiento del componente o elementos. Son este tipo de discontinuidades las que serán el foco del presente estudio.

3.5.2. Ensayo de líquidos penetrantes

Los líquidos penetrantes son un método de inspección utilizado para detectar defectos abiertos a la superficie, mediante la exudación de un tinte coloreado o fluorescente. La técnica se basa en la capacidad de un líquido en penetrar al interior de la discontinuidad, y luego ser extraído con algún revelador, para esto se requiere un líquido de baja tensión superficial y materiales con buena capilaridad, como así también una superficie limpia, con buen acabado

superficial (9). Los líquidos penetrantes son clasificados de acuerdo al tipo de solvente y si éstos son o no fluorescentes. La clasificación de acuerdo a ASTM E165 se indica en la Tabla 3. Tipos y métodos de líquidos penetrantes .

Tipo I, Examinación con luz Fluorescente		
Método A	-	Lavable al agua (ver método E-1209)
Método B	-	Post emulsificable, lipofílico (ver método E-1208)
Método C	-	Removible con solvente (ver método E-1219)
Método D	-	Post emulsificable, hidrofílico (ver método E-1210)
Tipo II, Examinación con luz visible		
Método A	-	Lavable al agua (ver método E-1418)
Método B	-	Removible con solvente (ver método E-1220)

Tabla 3. Tipos y métodos de líquidos penetrantes (10).

3.5.3. Ensayo de partículas magnéticas

Las partículas magnéticas son un método de inspección utilizado para detectar defectos abiertos a la superficie y sub superficiales, aprovechando las propiedades ferromagnéticas que poseen algunos materiales.

El principio de este, está fundamentado en que cualquier discontinuidad presente en el material de manera superficial o subsuperficial, creará una distorsión en el campo magnético inducido sobre la pieza, debido a que al generarse una separación (grieta) se formará un polo norte y un polo sur en cada extremo de la grieta. Las líneas del campo magnético al encontrarse con obstáculos se distorsionan, aprovechando esta distorsión se utilizan partículas magnetizables, las cuales se orientarán en el sentido de la distorsión y de esta manera harán visible al ojo humano la discontinuidad presente en el material (11). Este fenómeno puede ser observado en la Figura 7 Principio de aplicación partículas magnéticas”.

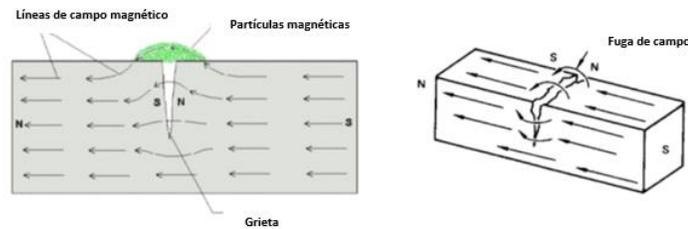


Figura 7 Principio de aplicación partículas magnéticas.

Para efectos de este trabajo nos enfocaremos en la inducción de un campo magnético mediante el uso de un yugo y la aplicación de partículas secas.

3.5.4. Ensayo de ultrasonido

Este ensayo fue llamado inicialmente “Ensayo de Percusión”, y es considerado el más antiguo método de ensayos no destructivos en la detección de discontinuidades en piezas, utilizando ondas acústicas. Este método, utilizado en la evaluación grosera de piezas forjadas y fundidas, era efectuado a través de un martillo y comparando la intensidad sonora de la pieza sin discontinuidades o también llamada patrón, contra la pieza de producción idéntica (12).

Antes de continuar con el ultrasonido como técnica de ensayo no destructivo, se deben revisar los siguientes conceptos:

- Onda mecánica: Es una perturbación en un medio material, también puede ser considerada un medio de transferencia de energía al facilitar que una perturbación se propague a través del aire u otro medio (13).
- Ultrasonido: Cuando las ondas sonoras tienen frecuencias superiores a 20.000 Hz, son inaudibles y en este caso el fenómeno acústico es denominado ultrasonido. Para la aplicación en ensayos de materiales por

ultrasonido, es utilizada frecuentemente una banda de frecuencia entre 0,5 MHz y 15 MHz (12).

- **Velocidad Acústica:** Se define como el total de la distancia recorrida por unidad de tiempo. La velocidad acústica está determinada normalmente por el módulo de elasticidad del material y su densidad. La velocidad es afectada en segunda instancia, por la temperatura del material y el modo de onda. Por definición la velocidad es independiente de la frecuencia(12). A continuación en la Tabla 4 Rapidez de propagación del sonido se muestran las velocidades de propagación de los materiales más comunes.

Rapidez del sonido en distintos medios					
Medio	v(m/s)	Medio	v(m/s)	Medio	v(m/s)
Gases		Líquidos a 25°C		Sólidos	
Hidrogeno (0°C)	1286	Glicerol	1904	Vidrio Pyrex	5640
Helio (0°C)	972	Agua de mar	1533	Hierro	5950
Aire (25°C)	343	Agua	1493	Aluminio	6420
Aire (0°C)	331	Mercurio	1450	Latón	4700
Oxígeno (0°C)	317	Queroseno	1324	Cobre	5010
		Alcohol Metílico	1143	Oro	3240
				Lucita	2680
				Plomo	1960
				Caucho	1600

Tabla 4 Rapidez de propagación del sonido (13).

- **Impedancia acústica:** Es la resistencia que oponen los materiales a la propagación del sonido. La impedancia acústica (Z) está definida como el producto de la densidad del material (ρ) y la velocidad de propagación del sonido (V), normalmente longitudinal.

Dependiendo de la manera de propagación de las ondas de ultrasonido estas son clasificadas en:

- Ondas longitudinales o de compresión: La característica principal de estas ondas es que provocan que las partículas vibren en dirección paralela con respecto a la dirección de propagación de la onda ultrasónica. También son llamada “Ondas de Compresión”, puesto que existen zonas donde los planos de las partículas se encuentran extremadamente cercanos entre sí, y también existen zonas dilatadas donde los planos de las partículas están muy separados. Es el único modo de onda que puede propagarse a través de sólidos, líquidos y gases. Cuando se utiliza este modo de vibración en la inspección por ultrasonido, se identifica comúnmente con el término de “Haz Recto”(12), el cual se puede ver su forma de propagación en la Figura 8 Ondas longitudinales”.



Figura 8 Ondas longitudinales (12).

- Ondas de corte o transversales: Las ondas de corte están caracterizadas porque las partículas vibran en dirección perpendicular con respecto a la dirección de propagación de la onda ultrasónica. Esta forma de onda se propaga solamente a través de sólidos y su velocidad es de aproximadamente la mitad de la velocidad de las ondas longitudinales. Son introducidas en la pieza utilizando un transductor de haz angular. El transductor de haz angular consiste de un accesorio transductor montado sobre una cuña o zapata de plástico, para que la onda ultrasónica entre en la pieza a un cierto ángulo. En la inspección por ultrasonido, se

identifica comúnmente con el término de “Haz Angular”(12), el cual se puede ver su forma de propagación en la Figura 9 Ondas transversales”.

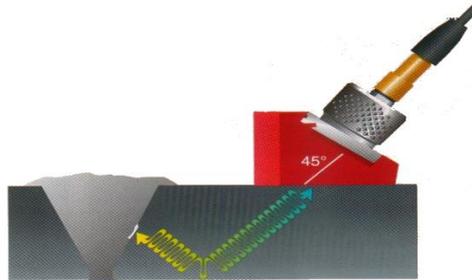


Figura 9 Ondas transversales (12).

- Ondas superficiales o de Rayleigh: Las ondas superficiales producen que las partículas de la superficie o cercanas a ellas vibren en forma elíptica. Su velocidad es de aproximadamente el 90% de la velocidad de las ondas de corte y se propagan únicamente a través del borde o superficie de sólidos. Las ondas de superficie son adecuadas para detectar fallas superficiales, por ejemplo, grietas; también pueden ser utilizadas para detectar discontinuidades ligeramente por debajo de la superficie (hasta cerca de media longitud de onda de profundidad) (12), el cual se puede ver su forma de propagación en la Figura 10 Ondas de Rayleigh”.

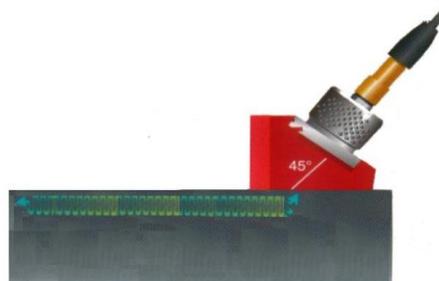


Figura 10 Ondas de Rayleigh (12).

Para la aplicación de ultrasonido existen diferentes técnicas, basadas en cómo se emiten y captan las ondas generadas. Para efectos de este trabajo el

enfoque estará en la técnica de pulso-eco, en la cual, el emisor y receptor se encuentran en el mismo transductor, por lo tanto se requiere acceso a un lado de la pieza.

3.5.5. Ensayo de adherencia

Esta prueba está destinada a determinar la fuerza de adhesión de un caucho a un sustrato metálico. Los resultados son obtenidos midiendo la fuerza necesaria para separar un caucho de una superficie metálica. Los datos obtenidos indican la fuerza de adherencia a lo largo de una línea a través del ancho de la tira de goma siendo separado de una placa de metal en un ángulo de 90°(14).

La prueba proporciona datos valiosos para el desarrollo y control de compuestos de caucho y métodos de prueba de unión, y también sirve como prueba de detección para la evaluación de diversos agentes de unión, técnicas, o ambas. Como por ejemplo falta de vulcanizado debido a tiempos inadecuados en hornos, falta de cocción de los cauchos, falta de catalizadores, falta de adherencia entre las capas de caucho, entre otras.

3.5.5. Ensayo de dureza

Este método de prueba se basa en la penetración de un determinado tipo de indentador o “penetrador” cuando se fuerza en condiciones específicas en un material. La dureza está inversamente relacionada con la penetración y depende del módulo elástico, y el comportamiento viscoelástico del material. Por otro lado, la geometría del indentador y la fuerza aplicada influyen en las mediciones de modo que no existe una relación simple entre las mediciones obtenidas con un tipo de durómetro y las obtenidas con otro tipo de durómetro u otros instrumentos utilizados para medición de dureza(15).

Este método de ensayo es una prueba empírica destinada principalmente para el control de calidad superficial. Se debe dejar claro que no existe relación entre la dureza obtenida y las propiedades fundamentales de un material. En otras palabras no se puede asegurar que un material es de un tipo u otro, sólo con un ensayo de dureza. Los tipos de escalas a utilizar para realizar este serán referenciados de acuerdo a la Tabla 5 Referencia de escalas de durezas.

Tipo de escala	Ejemplos de materiales	Durezas
A	Cauchos naturales, nitrilos, elastómeros termofusionables, caucho vulcanizado suave	20 - 90 A
B	Productos de papel, caucho de moderada dureza	Sobre 90 A y bajo 20 D
C	Termoplásticos, plásticos de mediana dureza, cauchos de mediana dureza	Sobre 90 B y bajo 20 D
D	Cauchos duros, plásticos duros y termoplásticos rígidos	Sobre 90 A
DO	Textiles de devanados densos, cauchos de moderada dureza, elastómeros termofusionables	Sobre 90 C y bajo 20 D
M	Cauchos de forma irregular, plásticos y elastómeros delgados	20 - 85 A
O	Cauchos blandos, textiles de devanados de media densidad, plásticos y elastómeros blandos	Bajo 20 DO
OO	Esponjas, jabones, Textiles de devanados de baja densidad, cauchos muy blandos	Bajo 20 O
CF	Materiales compuesto	Método F1957

Tabla 5 Referencia de escalas de durezas (15)

En el presente trabajo la escala de dureza a utilizar será fundamentalmente la escala Shore A, la cual es una medida de la resistencia elástica de un material a la penetración de una aguja de 8mm de diámetro, bajo la fuerza definida de un resorte.

3.6. Metrología

La metrología se define como la ciencia y arte de medir, ésta considera tanto los aspectos teóricos como prácticos de las mediciones en todos los niveles de exactitud y campos de aplicación, ya sean éstos el científico, industrial o legal (16).

Una metrología precisa es clave para el funcionamiento de cualquier tipo de máquina. Es por esto que se dedicará este capítulo a definir los conceptos fundamentales de la metrología relacionada a ejes y agujeros. Para ello se definirán los siguientes conceptos, algunos basados en la norma ISO 286-1 (17):

1. Medida nominal: tamaño de una característica de forma perfecta según lo definido por la especificación del plano.
2. Medida actual: el tamaño real obtenido a través de una medición.
3. Ajuste: se entiende por ajuste, la relación mecánica existente entre dos piezas cuando estas se acoplan entre sí, si las dos piezas pueden moverse entre sí, se habla de ajuste deslizante, cuando las piezas quedan unidas entre sí se habla de ajuste con interferencia.
4. Tolerancia: diferencia entre el límite superior y el inferior de la medida, el cual es un valor absoluto.
5. Límite de tolerancia: valores especificados de la característica que dan los límites superior e inferior del valor permisible.
6. Grado IT: si bien es cierto el grado IT se encuentra definido en la norma ISO 286-1 se considera como un factor de forma, el cual indica por ejemplo que tan redondo es un círculo. En los planos o literatura se encontrara el grado IT acompañado siempre de un número, como por ejemplo IT5, donde entre más pequeño es el número que acompaña a las letras más perfecta es la geometría. Dicho de otras palabras, es la

diferencia máxima entre la mayor medida y la mínima. Las referencias de los grados de tolerancias para el presente trabajo serán los establecidos en la Tabla 6 Tolerancias ISO 286-2”.

Dimension Nominal		IT1	IT2	IT3	IT4	IT5	IT6	IT7	IT8	IT9	IT10	IT11	IT12
más de	hasta incluido	máximo											
mm		um											
1	3	0,8	1,2	2	3	4	6	10	14	25	40	60	100
3	6	1	1,5	2,5	4	5	8	12	18	30	48	75	120
6	10	1	1,5	2,5	4	6	9	15	22	36	58	90	150
10	18	1,2	2	3	5	8	11	18	27	43	70	110	180
18	30	1,5	2,5	4	6	9	13	21	33	52	84	130	210
30	50	1,5	2,5	4	7	11	16	25	39	62	100	160	250
50	80	2	3	5	8	13	19	30	46	74	120	190	300
80	120	2,5	4	6	10	15	22	35	54	87	140	220	350
120	180	3,5	5	8	12	18	25	40	63	100	160	250	400
180	250	4,5	7	10	14	20	29	46	72	115	185	290	460
250	315	6	8	12	16	23	32	52	81	130	210	320	520
315	400	7	9	13	18	25	36	57	89	140	230	360	570
400	500	8	10	15	20	27	40	63	97	155	250	400	630
500	630	-	-	-	-	32	44	70	110	175	280	440	700
630	800	-	-	-	-	36	50	80	125	200	320	500	800
800	1000	-	-	-	-	40	56	90	140	230	360	560	900
1000	1250	-	-	-	-	47	66	105	165	260	420	660	1050
1250	1600	-	-	-	-	55	78	125	195	310	500	780	1250
1600	2000	-	-	-	-	65	92	150	230	370	600	910	1500
2000	2500	-	-	-	-	78	110	175	280	440	700	1100	1750

Tabla 6 Tolerancias ISO 286-2.

Cuando el grado de tolerancia es asociado a una letra (s), que representa una desviación fundamental para dar una clase de tolerancia, se suprimen las letras IT lo que nos da, por ejemplo, h7.

El sistema ISO de tolerancias define veintiocho posiciones diferentes para las zonas de tolerancia, situadas respecto de la línea cero. Se definen mediante

letras mayúsculas para agujeros y minúsculas para ejes. Las principales clases de tolerancias utilizadas son las mostradas a continuación en la Figura 11. Clases de tolerancias más utilizadas .

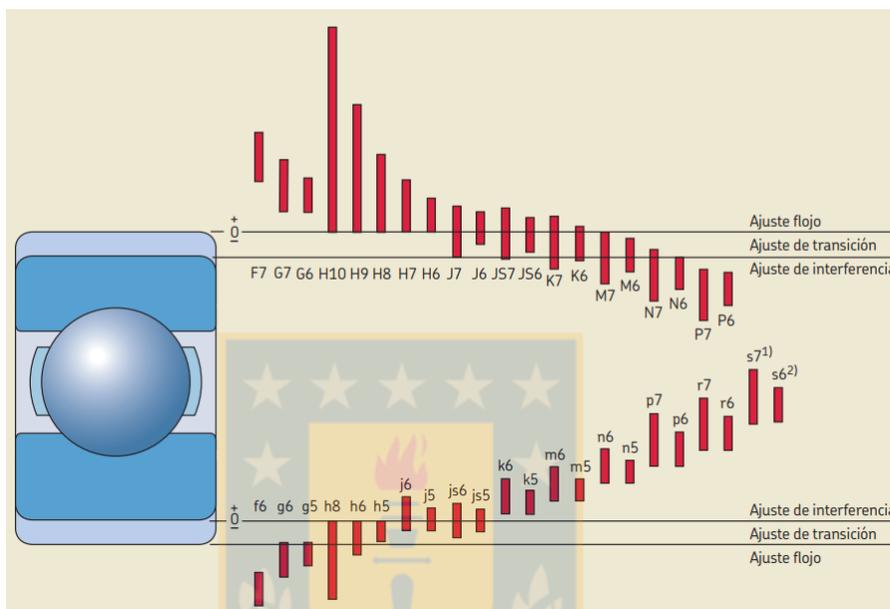


Figura 11. Clases de tolerancias más utilizadas (18)

Para efectos del presente trabajo, considerando la aplicación de poleas en sistemas transportadores las clases de ajuste y grados IT a utilizar, serán h9 para ejes (se debe considerar que los rodamientos van montados sobre manguitos) y grado IT5 / 2(18).

3.7. Gestión de activos

Para hablar de gestión de activos se hará mención a la definición de la PAS 55: “Son todas aquellas actividades y prácticas, sistemáticas y coordinadas, a través de las cuales una organización gestiona de manera óptima sus activos físicos en función del análisis de los factores de: confiabilidad, riesgo

(operación, seguridad y ambiente) y costos; con el propósito de alcanzar la máxima rentabilidad del activo durante todo el Ciclo de Vida útil del mismo” (19).

Dicho de otro modo, es la gestión de la infraestructura industrial durante todo su ciclo de vida útil. Involucra los procesos de inversión, renovación, operación, mantenimiento y manejo de todos los recursos asociados. Actualmente tiene un fuerte enfoque en maximizar la inversión y disminuir los costos asociados a la operación del equipamiento; este modelo es denominado Life Cycle Cost (LCC), que busca facilitar las siguientes decisiones (2):

- La inversión, considerando el rendimiento, la vida útil y el precio.
- Los intervalos de inspección y mantenimiento.
- La gestión de repuestos y materiales.
- La planificación de las detenciones productivas.
- La decisión de re-conversión o reemplazos.
- La gestión del riesgo operacional.
- La evaluación de mejoramientos de planta.

El comportamiento de los costos asociados una mayor o menor inversión en las diferentes etapas del proyecto, pueden ser observadas en la Figura 12 “Modelo de estimación de costos LCC”.

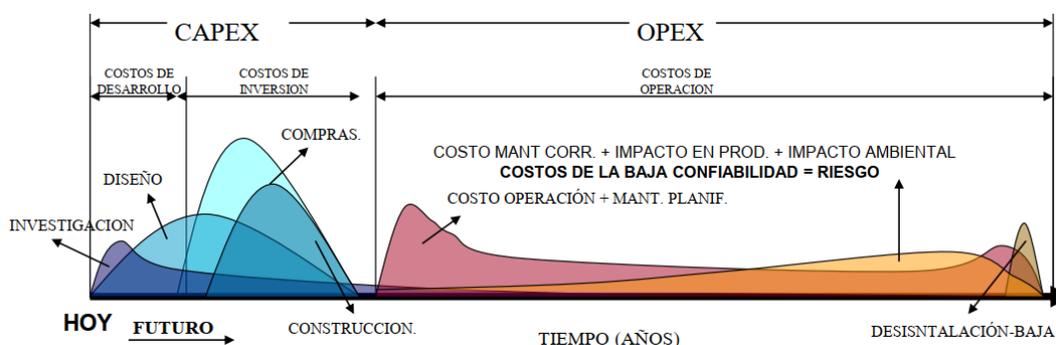


Figura 12. Modelo de estimación de costos LCC

3.8. Modelo gestión del mantenimiento

El mantenimiento moderno está enfocado a la maximización de la disponibilidad de activos al menor costo global posible, dicho en palabras simples; “*hacer más con menos*”, logrando de esta forma una mayor competitividad en mercados en los cuales el precio es fijado por los consumidores y no por los productores. Este modelo de mantenimiento es llamado mantenimiento basado en la disponibilidad (2), cuyo enfoque es transversal a todas las etapas de la gestión de activos permitiendo básicamente:

- La detección de cuellos de botella y evaluación de proyectos de mejora.
- Identificación de los modos de falla, y evaluación del impacto en la producción y seguridad de personas e instalaciones.
- Definición de las políticas de mantenimiento.
- Control de los parámetros de rendimiento de los activos.
- Minimización del número de fallas, involucrando a los operadores como mantenedores en etapas primarias.
- Prolongación de la vida útil.

3.8.1. Ciclo del mantenimiento

La finalidad del mantenimiento debe asegurar la valorización y conservación de todos los activos de la compañía. Además el mantenimiento debe asegurar el mejoramiento permanente orientado a eliminar los puntos críticos de las máquinas e instalaciones y reducir los costos de mantención. Por otro lado, durante la mantención se debe asegurar la máxima atención a la seguridad de las personas, el medio ambiente y los recursos financieros (2).

Para poder llevar a cabo todas las funciones del mantenimiento de manera óptima se debe modelar e implementar un ciclo que permita considerar todos

los aspectos relevantes antes mencionados, el cual es descrito en la Figura 13 “Ciclo del mantenimiento”. Como se puede observar, el proceso del mantenimiento está separado a su vez en dos grupos de tareas interrelacionadas entre sí, la ingeniería de confiabilidad y la ingeniería de mantenimiento, las que serán explicadas en detalle a continuación.

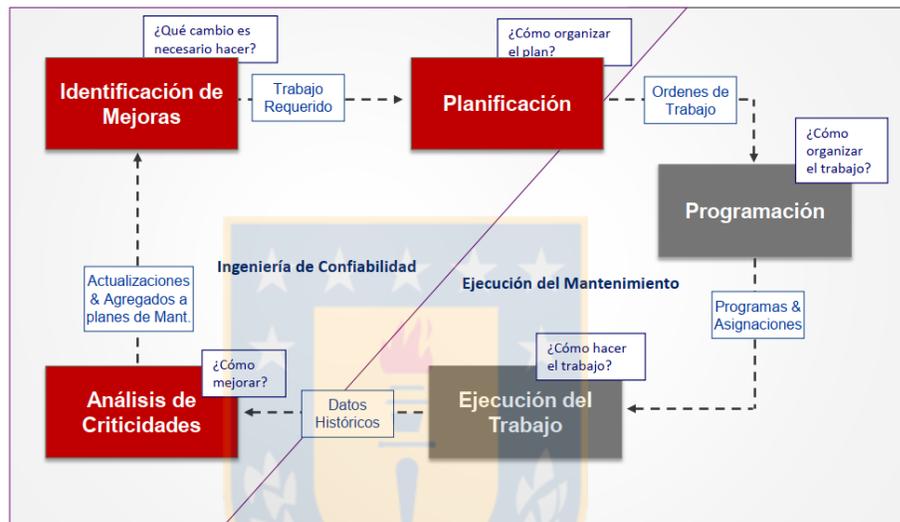


Figura 13 Ciclo del mantenimiento (2).

3.8.1.1 Ingeniería del mantenimiento

La ingeniería del mantenimiento, como su nombre lo indica se encarga de realizar todas las actividades necesarias para el correcto desarrollo de las actividades inherentes a la actividad de mantención y sus etapas asociadas son (1):

- Proceso de planificación: Busca entender de manera detallada todos los recursos necesarios para la ejecución de los requerimientos del mantenimiento, éstos pueden ser materiales, mano de obra interna o externa, procedimientos, entre otros. Dicho de otra forma, cada tarea solicitada a través de un aviso, debe asignarse una orden de trabajo con

todos los recursos requeridos. Normalmente en esta etapa se definen dos roles; el planificador y el analista de materiales (1).

- Programación del mantenimiento: Con todas las órdenes de trabajo con sus recursos asignados en un horizonte de mediano plazo (mayor a una semana), se debe comenzar a generar un programa de trabajo, el cual debe identificar de manera detalladas todas las actividades con fecha, horas, secuencias y grupos de trabajo, comprometiendo de esta forma las horas hombre necesarias para las actividades. En este proceso no solo se deben considerar las actividades que vienen planificadas, sino que también se deben considerar actividades que pudiesen haber quedado pendientes de un mantenimiento anterior, el denominado “backlog”. Los roles definidos en esta etapa son el programador e ingeniero de materiales (1).
- Ejecución del mantenimiento: con todas las actividades definidas y con sus recursos asignados, se debe asegurar que todas las actividades sean ejecutadas correctamente desde el punto de calidad y seguridad. En esta etapa es recomendable que la supervisión no solo sea del área ejecutora, ya que tanto planificación como programación deben velar por la correcta ejecución desde el punto de vista del programa y retroalimentar éstos para nuevas intervenciones. Roles de esta etapa son normalmente los ejecutores (internos y externos) analistas de ejecución y supervisores de ejecución (1).
- Cierre: una vez entregados los equipos a operación, se deben cerrar los trabajos, para lo cual se debe informar lo que efectivamente fue realizado de acuerdo a lo programado, registrando aspectos técnico, recursos utilizados y no utilizados. De esta manera se retroalimenta constantemente la planificación y programación de actividades futuras. Toda información debe quedar claramente en el software utilizado para la gestión del mantenimiento. Los roles involucrados en esta etapa son los

mismos del proceso de ejecución y deben ser registrados en ideal por las mismas personas que realizaron o supervisaron las actividades (1).

3.8.1.2 Ingeniería de confiabilidad.

Dentro de todo diseño productivo, es importante determinar cómo mejorar las actividades que se están desarrollando, desde el punto de aumentar el desempeño de los activos sin comprometer el resultado financiero del negocio. Este proceso se vuelve fundamental dentro del contexto del mejoramiento continuo, y por lo tanto se vuelve el área que debe dictar las modificaciones o nuevas tácticas de mantenimiento que deben ser implementadas desde la etapa de planificación (2). Esta etapa consta principalmente de dos sub-etapas:

- **Análisis de criticidades:** busca analizar los problemas que causan pérdidas originadas por ineficiencias en la gestión del mantenimiento. Estos problemas son clasificados como esporádicos; cuando ocurren cambios ocasionales en el proceso, los cuales son mejorados realizando restauraciones sobre el mismo y los problemas crónicos, los cuales presentan condiciones constante en el tiempo, estos requieren cambios del proceso para su eliminación. En esta etapa se utilizan indicadores de mantenimiento como son tiempo medio entre fallas, el tiempo medio a reparar y relaciones del tipo disponibilidad/costo de la falla, entre otros (1).
- **Identificación de mejoras:** esta etapa busca definir los cambios necesarios para el mejoramiento continuo del proceso. Estas mejoras pueden ser en cualquiera de los pilares mencionados en la introducción de este trabajo (1).

A continuación se muestra la implementación de la ingeniería de confiabilidad utilizando el enfoque R-MES (1), el cual se esquematiza en la Figura 14 Enfoque R-MES para la implementación de ingeniería de confiabilidad .

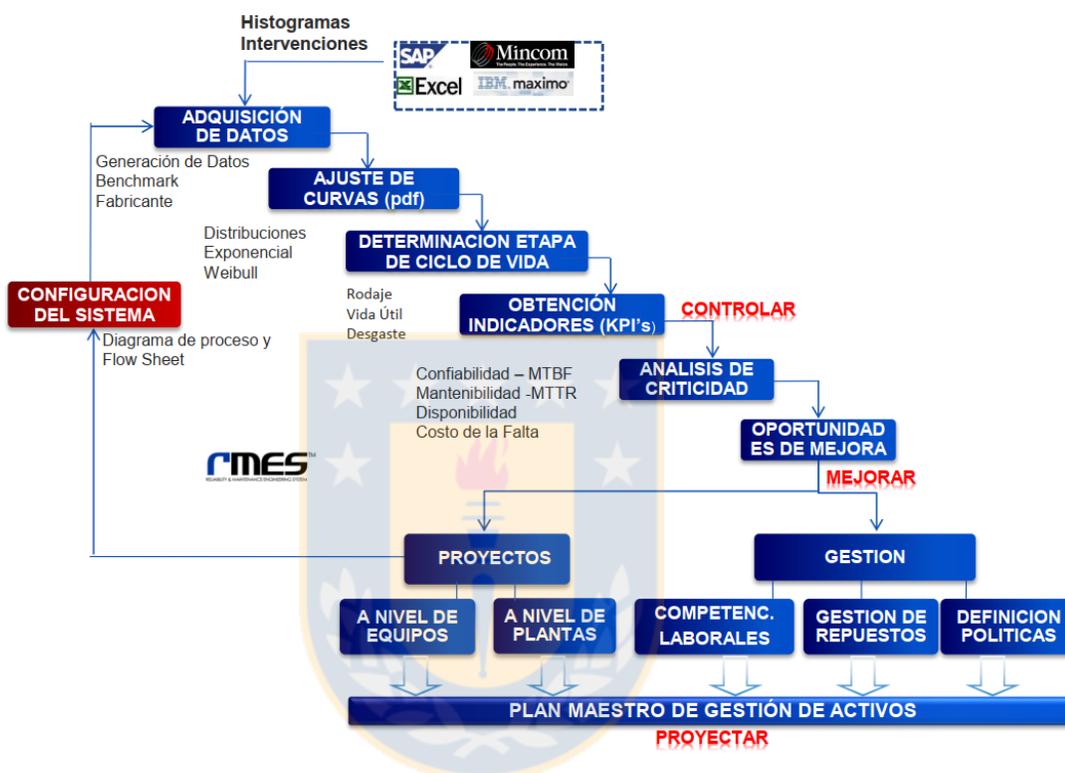


Figura 14 Enfoque R-MES para la implementación de ingeniería de confiabilidad (21)

CAPÍTULO 4: METODOLOGÍA

4.1. Generación de base datos

La ingeniería de confiabilidad cada vez asume un rol más protagónico en la operación y gestión de las instalaciones productivas. Sin embargo, para poder realizar un correcto análisis de confiabilidad se hace muy relevante la calidad de la información contenida en los sistemas informáticos. Como muchas de las operaciones de ingresar datos es responsabilidad de personas, la estandarización de que datos se deben ingresar y como se deben ingresar se hace clave para el éxito de la ingeniería de confiabilidad.

4.1.1 Diagrama Lógico Funcional:

Los resultados de la ingeniería de confiabilidad suelen ser simples desde el punto de vista conceptual y presentación de la información. Sin embargo, el análisis de la información requiere el uso de modelos y algoritmos bastantes complejos, ya que las plantas industriales se encuentran conformadas por distintas configuraciones de funcionamiento y equipos en distintas etapas de su vida útil. Dadas estas condiciones los diagramas lógicos funcionales son simplificaciones de la configuración de una planta, las cuales permiten establecer la relación entre áreas, sistemas, sub-sistemas y equipos, a fin de simplificar la interpretación de las instalaciones y sus cálculos asociados.

En el presente los diagramas lógicos funcionales nos permitirán definir la línea crítica de operación y establecer los costos de la falta, asociadas a las fallas operacionales de componentes reparables. Los distintos tipos de diagramas lógico funcionales son presentados en la Tabla 7 Diagramas lógico funcional .

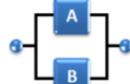
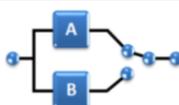
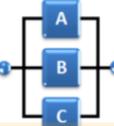
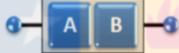
Sistema	Representación	Impacto
Serie		Cualquier falla de un equipo causa detención de todo el sistema.
Paralelo		La falla simultánea de todos equipos causa la detención del sistema.
Stand-By		La falla simultánea de todos equipos causa la detención del sistema.
Redundancia Parcial		No hay pérdida de producción hasta la falla de un determinado número de equipos.
Fraccionamiento		La falla de un equipo causa la pérdida de capacidad en el sistema dependiendo del nivel de impacto de diseño.

Tabla 7 Diagramas lógico funcional (21).

4.1.2 Creación de avisos SAP

En toda planta industrial existen diversas formas de administrar la información generada por mantenimiento y operaciones. Para el presente trabajo se considera el software definido por Codelco para tal efecto, SAP R/3 y su módulo PM.

En las Figuras 15 “Creación de aviso SAP primera parte” y 16 “Creación de aviso SAP segunda parte” se esquematiza de manera gráfica como crear avisos en SAP y cuáles serán los campos mínimos requeridos para poder generar una data, la cual permita tomar decisiones reparables o indicadores del desempeño de estos. Todas las imágenes a continuación fueron realizadas para efecto del presente trabajo.

Crear aviso-MT: Solicitud - MT

Aviso: %000000000001 M1

Status mensaje: MEAB

Orden:

Circunstancias

Descripción:

Objeto de referencia

Ubic.téc.:

Equipo:

Conjunto:

Fechas extremas

Inicio deseado: 01.04.2017 18:16:25

Fin deseado: 00:00:00

Prioridad:

Parada:

1.- Título Aviso: Este contendrá el prefijo REP, para indicar que se trata de un componente reparable, el texto indica la actividad requerida

2.- Descripción detallada de la anomalía: Corresponde a una descripción detallada de la falla y su evolución.

3.- Ubicación técnica del equipo: corresponde a la ubicación del componente dentro de la planta

Figura 15 Creación de aviso SAP primera parte.

Responsabilidades

Grupo planif.:

Pto.tbjo.resp.:

Persona Respons:

Autor del aviso:

Fecha de aviso: 01.04.2017 18:16:25

Posición

Parte objeto:

Sínt. avería:

Texto:

Causas avería:

Texto causa:

Entrada 1 De 0

Fechas extremas

Inicio deseado: 01.04.2017 18:16:25

Fin deseado: 00:00:00

Prioridad:

Parada:

4.- Grupo de Planificación: corresponde al grupo de planificación que tendrá que tomar el aviso

5.- Puesto Trabajo Responsable: Encargado de la ejecución de la tarea

6.- Autor Aviso: Persona responsable de la creación del aviso

7.- Texto Parte Objeto y síntoma de avería: Corresponde al síntoma de origen de la falla

8.- Texto Causa de Avería: Corresponde a la causa inmediata de la falla

9.- Prioridad Aviso: corresponde a la priorización de la actividad se entiende alto < 7 días, medio < 21 días, bajo > 1 mes.

Figura 16 Creación de aviso SAP segunda parte.

4.1.3 Generación de la base de datos

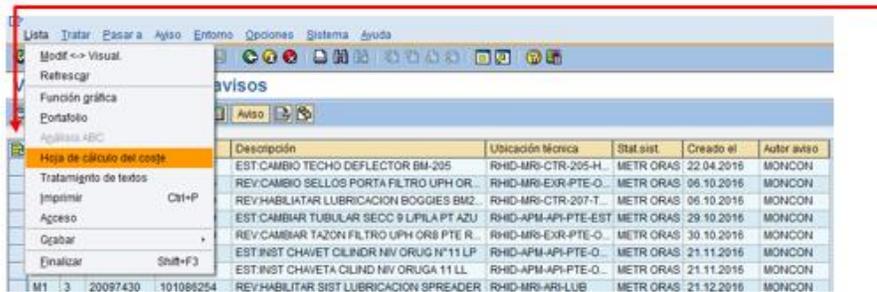
La base de datos a analizar será generada a partir de un tratamiento de lista de avisos creados en SAP. Para esto se utilizará la transacción SAP IW29 de

acuerdo al siguiente proceso descrito en figura 17 “Creación de tratamiento de lista para generar base datos”.

The screenshot shows a software window titled "Visualizar avisos: Selección avisos". At the top, there is a menu bar with "Programa", "Tratar", "Pasara", "Sistema", and "Ayuda". Below the menu is a toolbar with various icons. The main area contains a "Status del aviso" section with checkboxes for "Pendiente", "Pospuesto", "En tratam.", and "concluido", along with a search field "Esquema s..." and a "Dir." button. The "Selección de aviso" section has several input fields: "Aviso", "Clase de aviso", "Ubicación técnica", "Equipo", "Material", "Número de serie", "Dat.adic.disposit.", "Orden", "Fecha de aviso" (with a date range of 28.09.2018 to 27.12.2018), and "Interloc". To the right of these fields are dropdown menus and arrows. The "Fecha de aviso" field is circled in orange. Below this is the "Datos lineales" section with fields for "Segmento", "Punto de inicio", "Punto final", "Longitud", "Unidad de medida", and "Modelo de referencia lineal". Three red callout boxes with arrows point to specific elements: "3.- Presionar ejecutar" points to the "Ejecutar" button; "1.- Ingresar clase de aviso M1 y M2" points to the "Clase de aviso" dropdown; "2.- Ingresar el rango de las fechas que se desee visualizar" points to the date range in the "Fecha de aviso" field.

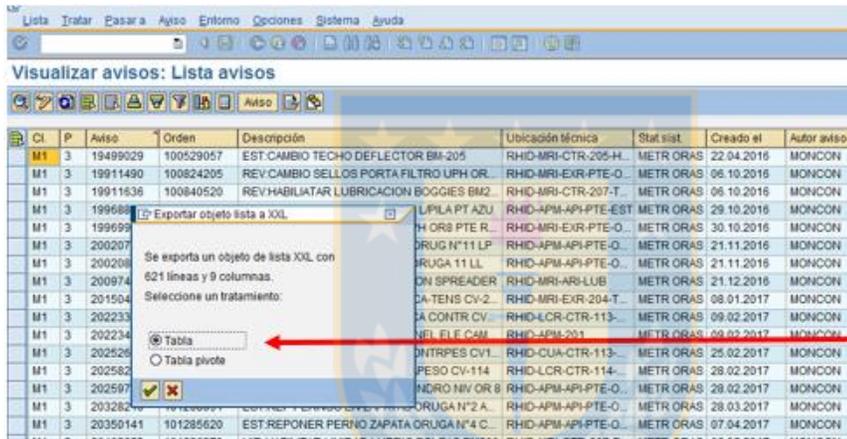
Figura 17 Creación de tratamiento de lista para generar base datos.

Esta acción generará como resultado un listado con todos los avisos del tipo M1 y M2, comprendidos en el rango de fechas seleccionado. A continuación se debe exportar el listado a Excel, ya que será en este software donde se realizarán los análisis de datos. Para esto se deben seguir los siguientes pasos descritos en Fig. 18 “Exportación de base de datos primera parte”, Fig. 19 “Exportación de base de datos segunda parte” y Fig. 20 “Exportación de base de datos tercera parte”.



Para exportar un tratamiento de lista de avisos a planilla Excel se debe seguir la siguiente ruta en el menú; "lista hoja de cálculo".
Se debe seleccionar "Hoja de cálculo del coste"

Figura 18 Exportación de base de datos primera parte.



En este menú se debe seleccionar la opción "tabla" y presionar

Figura 19 Exportación de base de datos segunda parte.



En este menú se debe seleccionar la opción "Microsoft Excel" y presionar

Figura 20 Exportación de base de datos tercera parte.

4.1.4 Tratamiento de los datos

A fin de poder definir cuáles son los equipos que generan mayor impacto operacional se realizará un filtro del Excel para obtener solo los avisos M2, ya que éstos representan fallas que involucran detenciones de la planta. Posteriormente, éstos serán ordenados de mayor a menor de acuerdo a su frecuencia de ocurrencia a fin de elaborar un diagrama de Pareto, como el mostrado en la Figura 21 Esquema de diagrama de frecuencias relativas y diagrama de Pareto. Este diagrama ordena de mayor a menor los eventos y se puede aplicar la regla del “80-20”, la cual establece que el 80 % de las pérdidas estará dado por el 20 % de los eventos. Además, se realizará un segundo Pareto donde se considerará los tiempos asociados a detención de planta de acuerdo a las familias de equipos estudiados.

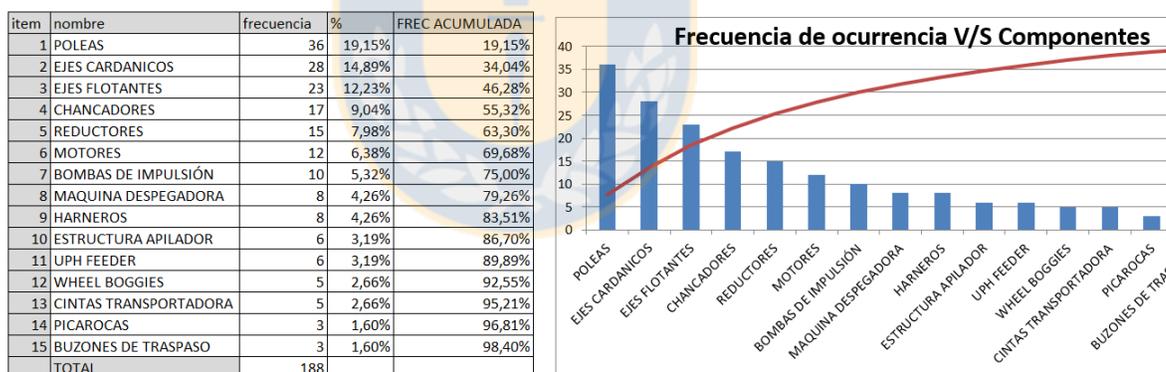
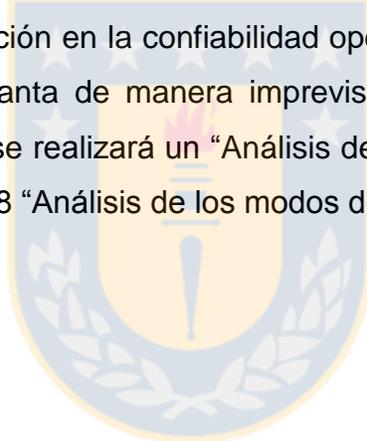


Figura 21 Esquema de diagrama de frecuencias relativas y diagrama de Pareto.

4.2. Elaboración de pautas de control

Para la elaboración de las pautas de control en el proceso de reparación de una polea, primero definiremos los componentes a inspeccionar, para ello se procederá a realizar un desarme total de una polea e identificar sus componentes reparables. Posteriormente, cada componente reparable se

relacionará con sus potenciales mecanismos de fallas, para posteriormente asignar una técnica de ensayo no destructivo que asegure su aptitud de servicio. La pauta a implementar busca realizar una evaluación objetiva de cada uno de los componentes de las poleas, definiendo en cada paso cuáles serán los criterios de aceptación y rechazo, de modo que se realicen con tiempo todas las fabricaciones y compras requeridas para la correcta ejecución de las actividades. Cabe mencionar que uno de los problemas que se observa, es que un error en la evaluación inicial produce retrasos importantes en la etapa de armado, los cuales en la mayoría de los casos no pueden ser considerados y las poleas se arman fuera de tolerancias o estándares. Estas condiciones producen una disminución en la confiabilidad operacional y como consecuencia las detenciones de planta de manera imprevista. Para la elaboración de las pautas de inspección se realizará un “Análisis de modos de falla y sus efectos”, de acuerdo a la Tabla 8 “Análisis de los modos de fallas y sus efectos”.



	Funciones		Falla funcional		Modo de falla	Efecto de la falla
1	Transmitir movimiento a la cinta transportadora	1.1	Incapacidad para generar tracción en la cinta transportadora	1.1.1	Pérdida de revestimiento	Deslizamiento de la cinta sobre la polea, sobre esfuerzo en los motores en las partidas
		1.2	Incapacidad para generar movimiento en la cinta transportadora	1.2.1	Rodamiento trabado	Detención del transportador
				1.2.2	Soporte fracturado	Detención del transportador
				1.2.3	Eje Fracturado	Detención del transportador
				1.2.4	Tambor fracturado	Detención del transportador / Posible daño en cinta
				1.2.5	Elemento de fijación eje-polea suelto	Detención del transportador
				1.2.6	Tapa Fracturada	Detención del transportador
2	Realizar cambio de dirección de la cinta transportadora	2.1	Incapacidad de cambiar sentido de giro a la cinta	2.1.1	Rodamiento trabado	Detención del transportador
				2.1.2	Soporte fracturado	Detención del transportador
				2.1.3	Eje Fracturado	Detención del transportador
				2.1.4	Tambor fracturado	Detención del transportador / Posible daño en cinta

Tabla 8 Análisis de los modos de fallas y sus efectos

4.2.1 Aplicación de ensayos no destructivos

1. **Líquidos penetrantes:** La aplicación de líquidos penetrantes consta de las siguientes etapas:
 - Preparación superficial: Esta es quizás la etapa más crítica del proceso, ya que una mala limpieza puede hacer aparecer falsas indicaciones o bien no permitir el ingreso del penetrante al interior de las discontinuidades. La superficie debe estar libre de todo tipo de pinturas, aceites o grasas, así como también puede ser requerido un pulido superficial suave a fin de eliminar marcas mecánicas producidas por el servicio.
 - Aplicación del penetrante: para la aplicación del penetrante, la pieza debe estar totalmente seca, el material penetrante puede ser aplicado por pulverización directa, mediante el uso de una brocha o bien por inmersión total de la pieza. El rango de temperatura para la aplicación del penetrante debe estar entre 4°C y 49°C (20). En la Figura 22 se esquematiza el ingreso del penetrante en una discontinuidad.



Figura 22 Ingreso del penetrante en una discontinuidad

- Tiempo de penetración (Penetrant dwell time): Es el tiempo requerido para que el penetrante pueda acceder a las posibles discontinuidades presentes en el material. En general, el tiempo requerido de penetración

no debe exceder los 60 minutos y dependerá del material, método de conformado y tipo de discontinuidad, como se muestra en la siguiente Tabla 9 Tiempo mínimo de penetración y revelado .

Material	Conforma do	Tipo de discontinuidad	Tiempo de permanencia (minutos)	
			Penetrante	Revelador
Aluminio, magnesio, acero, latones y monel, titanio y superaleaciones	Fundidas y soldadas	Poros, cavidades de contracción, grietas	5	10
	Extruidas, forjadas y laminadas	Grietas, laminaciones	10	10
Herramientas cementadas		Poros, cavidades de contracción, grietas	5	10
Plásticos	Todos	Grietas	5	10
Vidrios	Todos	Grietas	5	10
Cerámicas	Todos	Grietas, poros	5	10

Tabla 9 Tiempo mínimo de penetración y revelado (20)

- Remoción del exceso de penetrante: Esta es la parte más delicada del procedimiento de inspección, ya que el exceso de penetrante debe eliminarse de la superficie de la muestra al mismo tiempo que se elimina la menor cantidad posible de penetrante desde los defectos. Dependiendo del tipo de penetrante utilizado, este paso puede implicar la limpieza con un solvente, el enjuague directo con agua o primero el tratamiento de la parte con un emulsionante y luego el enjuague con agua.
- Aplicación de revelador: El revelador debe ser aplicado en una fina capa y de manera uniforme, su acción consiste en retirar todo el penetrante desde las discontinuidades y revelarlas (ver Figura 23 “Acción del

revelador”). Las presentaciones típicas del revelador es en polvo seco o solución acuosa.

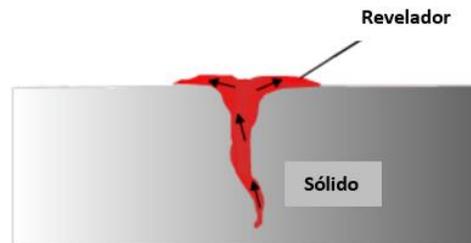


Figura 23 Acción del revelador

- Revelado: Es el tiempo requerido para el que revelador extraiga el penetrante desde el interior de las discontinuidades. Los tiempos mínimos requeridos para este proceso es el representado en la tabla 8.
- Inspección: La inspección puede ser con luz natural o artificial, asegurando una cantidad mínima de 1000 lúx (20). La evaluación de las indicaciones detectadas serán de acuerdo al código o norma técnica de referencia, bajo la cual fue construido el equipo o bien bajo el código o estándar de fabricación de la aplicación propiamente tal. En este trabajo se utilizaran los criterios de evaluación definidos en el código ASME Calderas y Recipientes a Presión en Calderas de Potencia, seccion I, tabla A-270.4 (21). Para los cual será necesario definir los siguientes conceptos:
 - Indicación lineal: es aquella que su largo supere en a lo menos tres veces su ancho.
 - Indicación circular: es aquella que de forma circular o elíptica con una longitud igual o menor a tres veces su ancho.
 - Indicación relevante: toda aquella indicación con una dimensión mayor a 1/16”.

Definido lo anterior el criterio de aceptación será que todas las superficies inspeccionadas deben estar libre de:

- Indicaciones lineales relevantes.
- Indicaciones circulares relevantes mayores de 3/16".
- Cuatro o más indicaciones circulares relevantes en líneas separadas por 1/16" o menos, de borde a borde.
- Limpieza final: Se debe eliminar todos los restos de penetrante y revelador de las piezas aceptadas.

2. **Partículas magnéticas:** las etapas de la inspección mediante partículas magnéticas son las siguientes:

- Preparación superficial: la superficie debe estar relativamente limpia, pero esto no es tan crítico como el caso de líquidos penetrantes. La superficie debe estar libre de grasa, aceite o humedad que pueda evitar que las partículas se muevan libremente. Las especificaciones a menudo permiten que se deje en la superficie hasta 0.002 pulgadas (0.05 mm) de un revestimiento no conductor (como pintura) y 0.001 pulgadas máximo (0.025 mm) de un revestimiento ferromagnético. Debe eliminarse cualquier suciedad, pintura, óxido o escamas sueltas (22).
- Aplicación de campo magnético: Para la magnetización mediante el uso de yugo magnético se debe asegurar que el yugo pueda levantar a lo menos los pesos especificados en la Tabla 10 Fuerza mínima ejercida por yugo magnético .

Tipo de corriente	Separación de las piernas del yugo	
	2 a 4 pulgadas	4 a 6 pulgadas
Alternativa	10 libras	
Continua	30 libras	
Ambas		50 libras

Tabla 10 Fuerza mínima ejercida por yugo magnético (24).

- Aplicación de medio de contraste: se debe aplicar un medio de contraste que permita una correcta visualización de las partículas. Es común utilizar en este paso el mismo revelador utilizado para el ensayo de líquidos penetrantes.
 - Aplicación de las partículas: las partículas deben ser aplicadas en una suave capa entre las piernas del yugo magnético. El exceso de polvo debe ser siempre retirado con aire seco de baja intensidad.
 - Inspección: La inspección puede ser con luz natural o artificial, asegurando una cantidad mínima de 1000 lúx (20). La evaluación de las indicaciones detectadas será de acuerdo al código o norma técnica de referencia, bajo la cual fue construido el equipo o bien bajo el código o estándar de fabricación de la aplicación propiamente tal. En este trabajo se utilizarán los criterios de evaluación definidos en código ASME Calderas y Recipientes a Presión en Calderas de Potencia, sección I, tabla A-270.4 (21).
 - Desmagnetización: Todos los materiales retienen campos residuales, estos deberán ser retirados cuando pudiesen afectar la aptitud de servicio. Se debe considerar que estos campos pueden retener virutas que podrían afectar acabados de mecanizado, aplicación de pintura, entre otros.
3. **Ultrasonido**: las etapas de inspección mediante la técnica de ultrasonido son las siguientes:
- Preparación superficial: la superficie a inspeccionar debe estar limpia, libre de defectos superficiales como perlillas, rebabas u otros que pudiesen interferir en el acoplamiento del transductor a la pieza a inspeccionar.

- Calibración del equipo: La calibración del equipo dependerá del tipo de inspección a realizar. Para este trabajo se consideran tres tipos de inspección, haz recto para medición de espesores e inspección de ejes, ambas mediante el uso de barrido con A-Scan, haz angular para inspección de cordones soldadura mediante el uso de S-Scan.
- Aplicación de acoplante: el acoplante a utilizar debe eliminar por completo el aire existente entre el material y el transductor, para este fin se ocupan normalmente gel y grasas. Se debe tener presentes que para inspecciones a altas temperaturas deben utilizarse tanto transductores como acoplantes especiales.
- Inspección de ejes: la inspección del eje se puede realizar desde una de las caras o de ambas cuando el acceso lo permita, se deberá recorrer toda la superficie de éstas. Se recomienda siempre realizar la inspección en conjunto al plano del eje, a fin de poder identificar elementos del eje que pudiesen ser confundidos con indicaciones, como lo son chaveteros, cambios de sección, agujeros de lubricación, etc.
- Medición de espesores: para la medición de espesores se realizará previamente una calibración en un bloque patrón estándar y posteriormente se hará un ajuste de velocidad en un trozo de metal de la muestra a inspeccionar, cuyo espesor debe ser conocido. Los espesores de referencia serán los indicados por los planos del fabricante, en caso de no existir planos de referencia, se tomará como referencia la medida obtenida desde la unión manto-tapa, dos pulgadas hacia el interior del manto, siempre y cuando esta zona no haya sido sometida a operación sin recubrimiento.

La medición de espesores se realizará en cuatro ejes del tambor, separados a noventa grados cada eje. Dicha medición será realizada cada 100 mm de separación desde la unión soldada manto-tapa, adicionalmente se tomara un punto en la pestaña de la tapa. Con las

mediciones obtenidas se debe elaborar un perfil de espesores donde se debe indicar de manera clara el menor espesor medido y su porcentaje de desgaste en comparación con el espesor nominal de referencia. Para el caso de los recubrimientos de goma, se considerarán la misma cantidad de puntos distribuidos en el largo total del manto. Para el registro de estas mediciones se considera la Tabla 11 Referencia medición de espesores”.

Punto	Espesor Nominal	Medición 0°	Medición 90°	Medición 180°	Medición 270°	% de desgaste
1						
.....						
N						

Tabla 11 Referencia medición de espesores

- Inspección de soldadura: la inspección de soldadura será mediante haz angular utilizando la visualización tipo S-Scan. En esta aplicación se hace de suma importancia la definición de las distancias a recorrer con el palpador para poder cubrir por completo los cordones de soldadura y su zona afectada térmicamente.

Supongamos que se va a inspeccionar un cordón de soldadura, para poder barrer toda la sección transversal del cordón será necesario desplazar el transductor entre las distancias correspondientes a medio salto ($S/2$) y un salto (S).

Hemos visto que para realizar la inspección de un cordón de soldadura, es necesario desplazar el transductor angular entre un salto y medio salto. No obstante, cabe preguntarse cómo se ha de realizar este desplazamiento, en primer lugar, hay que considerar que los defectos en el cordón pueden tener una inclinación determinada, por lo cual, a medida que desplazamos el transductor hacia delante y hacia atrás,

habrá que manipular el transductor de forma que realice un movimiento en “zigzag”, de no hacerlo así, y siempre que se mantenga el transductor perpendicularmente dirigido hacia el cordón, se obtendrán ecos únicamente de aquellos defectos que tengan orientación longitudinal a lo largo del mismo. El movimiento del transductor en “zigzag” permite detectar todos los defectos inclinados (13).

La zona de barrido es el espacio dentro del cual se debe realizar el movimiento del transductor (Barrido). Esta zona cuenta con un Límite Lejano (Distancia $S + 1$ pulgada) (para situaciones prácticas es recomendable agregar una pulgada a la distancia S calculada) y un Límite cercano (Distancia $S/2$), como se muestra en la siguiente figura 24 “Zona de barrido y movimiento requerido”.

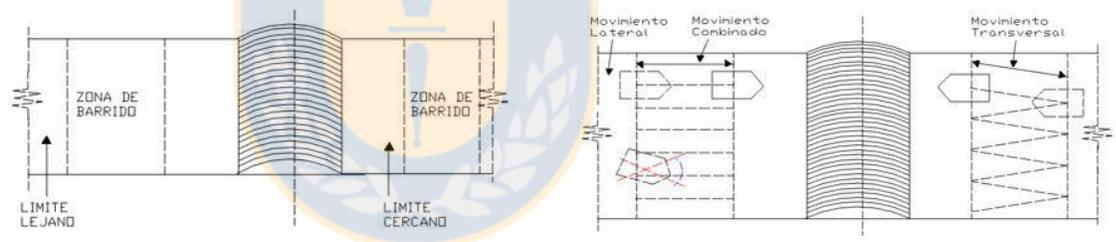


Figura 24 Zona de barrido y movimiento requerido (13)

En este trabajo se utilizarán los criterios de evaluación definidos en el código ASME Calderas y Recipientes a Presión en Calderas de Potencia, PW-52.3 (21). Los criterios serán los siguientes:

- Las grietas, faltas de fusión, falta de penetración no se aceptan independientemente su longitud.
- No se aceptan otras imperfecciones si la indicación supera el nivel de referencia y la longitud excede lo siguiente:
 - $\frac{1}{4}$ pulgada. (6 mm) para e hasta $\frac{3}{4}$ pulgadas. (19 mm)
 - $\frac{1}{3}$ de e, para t de $\frac{3}{4}$ pulg. (19 mm) a $2\frac{1}{4}$ pulg. (57 mm)

- $\frac{3}{4}$ pulg. (19 mm) para e mayor que $2\frac{1}{4}$ pulg. (57 mm)

“e”: corresponde al espesor del material a inspeccionar.

- Limpieza final: Se debe eliminar todos los restos de acoplante, cuando es tipo gel, se debe secar bien la pieza y dejar una capa delgada de aceite protector para evitar manchas de oxidación en la zona inspeccionada.

4. **Medición de dureza:** La medición de dureza se realiza en escala Shore A, la cual es utilizada para la medición de cauchos, elastómeros y polímeros. Los valores de dureza obtenidos deberán estar dentro las especificaciones técnicas del recubrimiento, las cuales se encuentran en los planos de fabricación del componente.

Se realizarán 4 mediciones a lo largo del recubrimiento, para lo cual se medirá la longitud del manto y se dividirá en 4 puntos equidistantes. Se debe considerar que cada punto de medición será el promedio entre tres mediciones.

Para asegurar la confiabilidad de esta medición se debe realizar una medición inicial sobre un bloque calibrado y terminada la actividad, se debe volver a realizar la medición sobre el mismo bloque calibrado. La diferencia no puede ser mayor a la precisión definida en el equipo. La inspección realizada debe quedar registrada como se indica en la Tabla 12 Medición de durezas”.

Largo del manto				
Medición inicial			Medición final	
Punto	1	2	3	Promedio
A				
B				
C				
D				
		Dureza Shore A		

Tabla 12 Medición de durezas

Las durezas obtenidas deben ser de acuerdo a las indicaciones del fabricante de la polea, cuando estas no se encuentren se tomarán como referencia las recomendadas por la asociación de fabricantes de equipos transportadores (ver tabla 13 “Durezas referenciales de los recubrimientos de poleas”).

Poleas	Dureza (Shore A)	Material
Motriz	60	Caucho vulcanizado en caliente
Conducida	45 - 60	Caucho vulcanizado en caliente
Tensora	70	Caucho vulcanizado en caliente

Tabla 13 Durezas referenciales de los recubrimientos de poleas (5)

4.3.2 Metrología en ejes y agujeros

Para efectos del presente trabajo, considerando la aplicación de poleas en sistemas transportadores, las clases de ajuste y grados IT a utilizar, serán h9 para ejes (se debe considerar que los rodamientos van montados sobre manguitos) y grado IT5 / 2 (18), para soportes H7, G7 y F7, dependiendo del fabricante y su diámetro, H7 y H8 para los manguitos de contracción.

A fin de asegurar la correcta geometría de los agujeros y ejes, se deben tomar 4 medidas en al menos tres secciones transversales. Se deja como referencia, la Figura 25 Metrología de referencia para ejes” y Figura 26 Metrología de referencia para agujeros”.

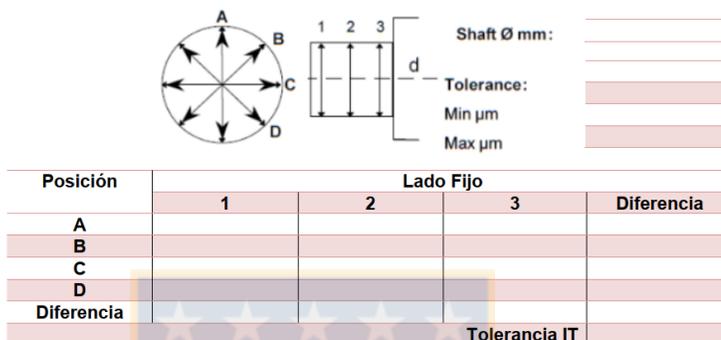


Figura 25 Metrología de referencia para ejes

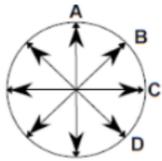


Figura 26 Metrología de referencia para agujeros

4.3.3 Metrología de los tambores de acero

La medición del diámetro del tambor, debe ser considerada como la distancia medida sin recubrimiento. Para la medición se deben realizar las mediciones en ambos lados de la polea cuando sea reparación, en caso de que se realice un cambio de tapas, se debe agregar dos mediciones adicionales en cada extremo

del tambor (sin tapas). El registro de medición será presentado de acuerdo a la Figura 27 Metrología de referencia para tambores”.



El diagrama muestra un círculo con cuatro flechas que apuntan hacia los ejes cardinal: A (arriba), B (derecha), C (abajo) y D (izquierda).

Diámetro Nominal	_____
pulgadas	_____
Tolerancia	_____
pulgadas	_____
mínimo	_____
máximo	_____

Posición	Lado Fijo			Diferencia
	1	2	3	
A				
B				
C				
D				
Diferencia				
				Desviación máxima

Figura 27 Metrología de referencia para tambores

Los criterios de valores y máximos permisibles, serán los indicados por la asociación de fabricantes de equipos transportadores (4), los cuales son mostrados en la Tabla 14 Desviaciones permisibles en diámetros de poleas .

Medida polea en pulgadas	desviación de diámetro (pulgadas)			
	Sobre el nominal		Bajo el nominal	
	Tambor	Tapa	Tambor	Tapa
6 a 26	1/4	1/8	1/8	3/8
sobre 26 a 66	5/8	1/8	1/8	3/4

Tabla 14 Desviaciones permisibles en diámetros de poleas (5)

4.3.4 Aplicación Test de adherencia a recubrimientos

La aplicación del test de adherencia será de acuerdo al estándar ASTM D429(14), método B. Se define que la fuerza mínima requerida para desprender el recubrimiento debe ser 10 Newton/milímetros (4).

La máquina eléctrica de prueba utilizada para medir la fuerza de adherencia, debe producir una tasa uniforme de separación del caucho al metal. El cabezal

de la máquina deberá desplazarse a una velocidad uniforme de 0.83 ± 0.08 milímetros/segundos.

La probeta consistirá en una tira de caucho 6.3 ± 0.1 milímetros de espesor, 25 ± 0.05 milímetros de ancho y 125 milímetros de largo, adherida a la cara de una placa de metal 1.6 ± 0.1 milímetros de espesor, 25 ± 0.05 milímetros de ancho, y 60 ± 1 milímetros de largo. La probeta deberá estar preparada de modo que el área unida de 25 por 25 milímetros, quede fijada aproximadamente al centro de la pieza de metal.

En la Figura 28 Ensayo de adherencia ASTM D429 método b”Figura 28, se observa a modo de referencia de color naranja, lo que corresponde al caucho y en color plata, el sustrato metálico, al cual se encuentra adherido.



Figura 28 Ensayo de adherencia ASTM D429 método b

Se debe considerar que la pieza a ensayar debe haber sido enfriada a temperatura ambiente un tiempo mínimo de 16 horas antes de su ensayo.

Una variación práctica de este ensayo para su aplicabilidad en talleres de reparación, puede consistir en fijar el sustrato y colgar una carga equivalente a 10 Newton/milímetros cuadrados. Se considerará como aceptada la prueba, cuando el caucho no sufra ningún tipo de desprendimiento al cabo de una hora. Para este efecto, se debe realizar una marca en el sustrato en la zona final del

caucho y pasada la hora de prueba, una nueva marca en la zona final del caucho, no registrando diferencia entre ambas marcas.



CAPÍTULO 5: RESULTADOS

5.1. Revisión de la data de detenciones de planta

Para la revisión de la data se extrajo desde SIDERE los datos asociados a detención de planta por fallas, SIDERE a su vez obtiene los datos desde el sistema PI, el cual registra todas las detenciones de equipo o su operación en vacío. Dentro de esta data, se consideran: fallas, detenciones operacionales, bajo stock de mineral, detención de camiones, mantenciones programadas y planificación de producción por recursos mineros.

Considerando que los datos de detención son gatillados de manera automática al generarse una detención, deben ser los operadores de planta quienes de manera manual deben indicar e imputar los tipos de detenciones que ocurrieron en sus respectivos turnos y equipos. Dado lo anterior, se realizó una depuración de las entradas a fin de unificar todas las detenciones calificadas como fallas y homologar los modos de falla que fueron indicados por los operadores. Cabe mencionar, que esta data completa presenta un total 66.484 entradas.

Con el fin de explicar de mejor manera el proceso productivo y donde ocurre cada evento se presenta en la Figura 29 Diagrama configuración de planta”. Con este diagrama, también se procede a realizar la configuración lógico funcional de la planta, la cual tiene la relevancia de definir la contribución de cada línea al proceso, considerando que no todos los equipos tienen el mismo impacto en la pérdida productiva. Dado lo anterior, se debe implementar una metodología que permita cuantificar de manera comparativa una línea o equipo con otro, por este motivo, las horas son transformadas a hora equivalente, las cuales son finalmente las que se utilizarán en todos los análisis posteriores en este trabajo.

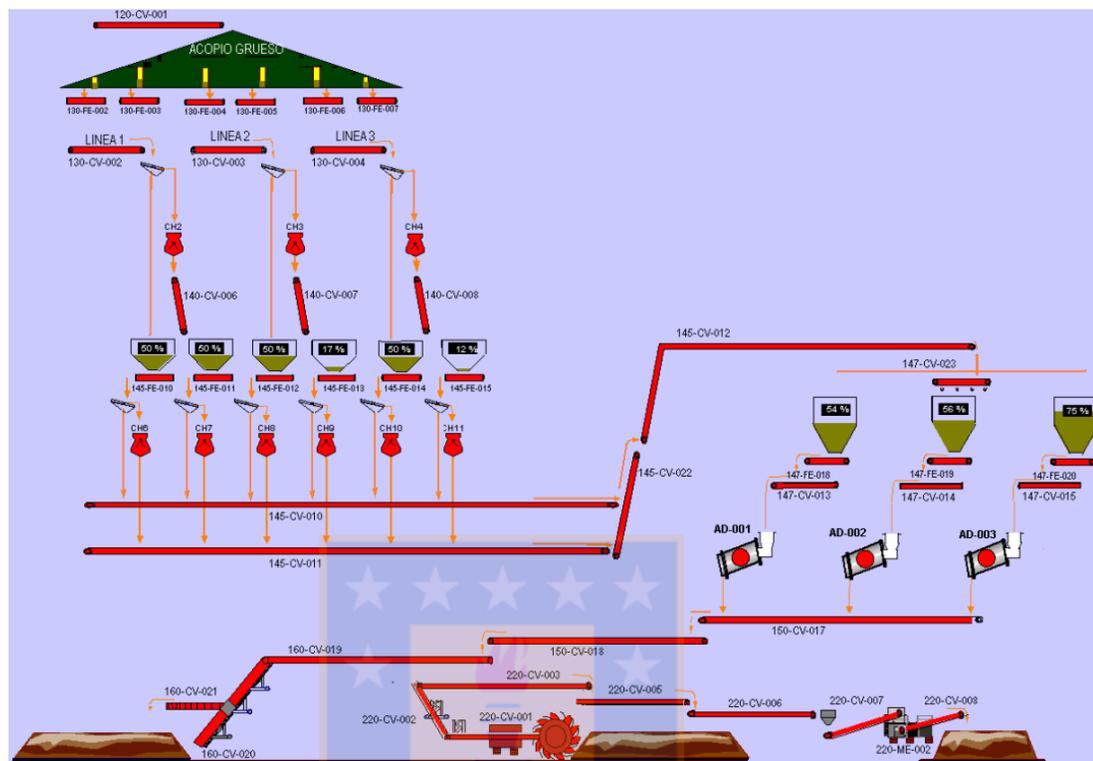


Figura 29 Diagrama configuración de planta

A continuación se procederá a realizar una breve descripción de la planta de óxidos de la División Gabriela Mistral. Esta puede ser dividida en cuatro grandes áreas, de acuerdo a sus respectivos procesos productivos, éstas son; chancado, acidificación, apilamiento y ripios. Todas ellas, conectadas por un sistema de 43 correas transportadoras con un largo aproximado de 23 kilómetros y un total de 152 poleas.

Realizado el correspondiente análisis de flujo de mineral a través de la configuración lógica funcional de la planta, se obtiene que los factores de hora equivalente de producción para cada equipo, son los mostrados en la Tabla 15 Tiempos equivalentes de producción”.

Equipo	Configuración	Factor Equivalente
110-CR-101	Serie	1
120-FE-101	Serie	1
120-CV-001	Serie	1
120-FE-102	Fraccionamiento	0,33
120-FE-103	Fraccionamiento	0,33
120-FE-104	Fraccionamiento	0,33
120-FE-105	Fraccionamiento	0,33
120-FE-106	Fraccionamiento	0,33
120-FE-107	Fraccionamiento	0,33
130-CV-002	Paralelo	0,33
130-CV-003	Paralelo	0,33
130-CV-004	Paralelo	0,33
140-SC-001	Paralelo	0,33
140-SC-002	Paralelo	0,33
140-SC-003	Paralelo	0,33
140-CR-002	Paralelo	0,33
140-CR-003	Paralelo	0,33
140-CR-004	Paralelo	0,33
140-CV-006	Paralelo	0,33
140-CV-007	Paralelo	0,33
140-CV-008	Paralelo	0,33
145-FE-010	Paralelo	0,17
145-FE-011	Paralelo	0,17
145-FE-012	Paralelo	0,17
145-FE-013	Paralelo	0,17
145-FE-014	Paralelo	0,17
145-FE-015	Paralelo	0,17
145-SC-005	Paralelo	0,17
145-SC-006	Paralelo	0,17
145-SC-007	Paralelo	0,17
145-SC-008	Paralelo	0,17
145-SC-009	Paralelo	0,17
145-SC-010	Paralelo	0,17
145-CR-006	Paralelo	0,17
145-CR-007	Paralelo	0,17
145-CR-008	Paralelo	0,17
145-CR-009	Paralelo	0,17
145-CR-010	Paralelo	0,17

145-CR-011	Paralelo	0,17
145-CV-010	Serie	1
145-CV-011	Serie	1
145-CV-012	Serie	1
145-CV-022	Serie	1
147-CV-023	Serie	1
147-FE-018	Paralelo	0,33
147-FE-019	Paralelo	0,33
147-FE-020	Paralelo	0,33
147-CV-013	Paralelo	0,33
147-CV-014	Paralelo	0,33
147-CV-015	Paralelo	0,33
147-AD-001	Paralelo	0,33
147-AD-002	Paralelo	0,33
147-AD-003	Paralelo	0,33
150-CV-017	Serie	1
150-CV-018	Serie	1
160-CV-019	Serie	1
160-CV-020	Serie	1
160-CV-021	Serie	1
ROTOPALA	Serie	1
220-CV-001	Serie	1
220-CV-002	Serie	1
220-CV-003	Serie	1
220-CV-005	Serie	1
220-CV-006	Serie	1
220-CV-007	Serie	1
220-CV-008	Serie	1
220-ME-002	Serie	1

Tabla 15 Tiempos equivalentes de producción

Utilizando los factores de la Tabla 15 Tiempos equivalentes de producción”, se recalculan los tiempos de falla.

Como se mencionó anteriormente, la data está compuesta de múltiples entradas, siendo los datos de interés para este análisis sólo aquellos atribuibles

a fallas, considerando este filtro, se obtuvo que para el análisis de falla del año 2018, se registraron una data total de 3.572 entradas.

Para poder continuar con el análisis de datos, se revisó la cantidad total de modos de falla, observándose que ésta estaba compuesta por un total de 301 modos de falla, los cuales al ser ingresados al sistema de forma manual y sin un criterio definido, ocasiona que eventos con el mismo modo de falla no sean imputados de la misma forma, por errores involuntarios de digitación o criterios diferentes para tratar el mismo evento. Para efectos de este trabajo y poder realizar un análisis más acabado, se realizó la verificación detallada de las entradas y se agruparon modos de fallas similares y se corrigieron otros datos mal ingresados. Obteniendo como resultado, una reducción de modos de falla a un total 159.

Analizando la Figura 30 “Pareto de horas equivalentes de falla 2018”, considerando los quince primeros modos de falla, los cuales representan un 68,1% del total de estos, se observa que las poleas ocupan el décimo primer lugar de modos de falla, con un total de horas equivalentes productivas de 110,4. Consideremos que por cada 10 minutos de detención, se tiene una pérdida de producción de 12 millones de pesos, el costo de la falta asociado a poleas corresponde a 7.950 millones de pesos aproximadamente. Si consideramos que hubo 5 fallas de poleas durante el año, cada una de éstas, tiene un costo aproximado de 1.590 millones de costo de la falta. Adicionalmente, se deben considerar los costos asociados a mano de obra, la cual tiene un costo promedio de 14 mil pesos hora por persona y en cada cambio de polea se requieren en promedio 12 personas, se tiene un costo en mano de obra de 18,5 millones de pesos y un costo de materiales aproximado de 10 millones de pesos.

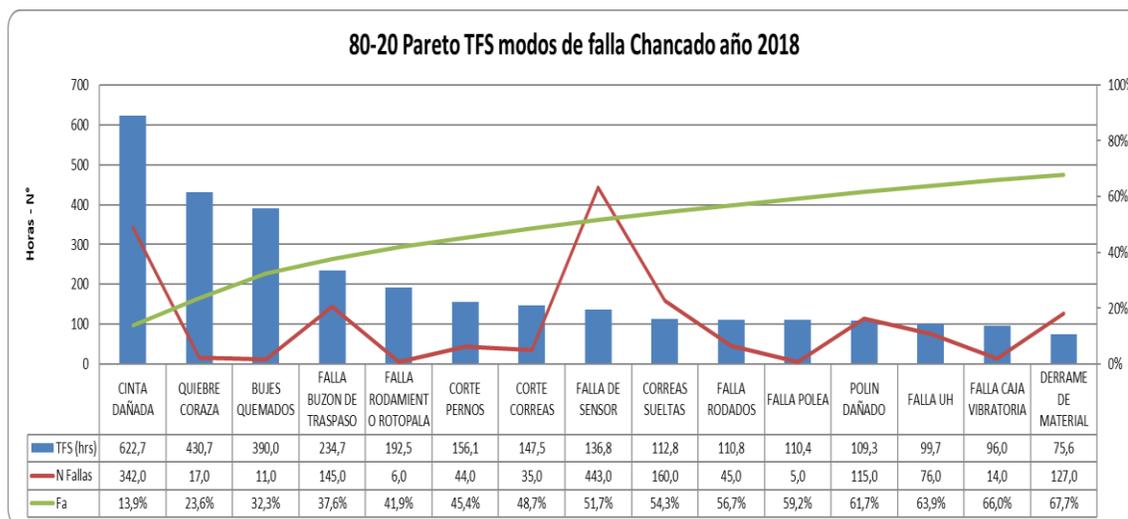


Figura 30 Pareto horas equivalentes modos de falla 2018

Por otro lado, analizando la memoria productiva de Codelco del año 2018, en la cual División Gabriela Mistral tuvo un aporte de 66 millones de dólares, se podría esperar que erradicando las fallas de poleas, se puede aumentar en aproximadamente un 11% los excedentes de la División y por ende la contribución al país.

5.2. Definición de componente reparable

Será definido como componente reparable todo aquel equipo y/o componente que pueda ser sometido a un proceso de reparación controlado, el cual devuelva su aptitud de servicio a la misma condición de un equipo nuevo, siempre y cuando cumpla con los siguientes criterios:

- El costo de dicha reparación incluyendo repuestos, transportes, almacenajes y cualquier otro costo logístico en el que se pudiese incurrir, no exceda el 60 % del costo de un equipo y/o componente nuevo.
- El valor del componente nuevo sea mayor a 5000 dólares o bien el componente no se encuentre en el mercado.

- El costo por unidad de tiempo de la vida útil del componente reparado debe ser igual o menor al costo por unidad de tiempo del componente nuevo, esto es:

$$\frac{\text{Costo de reparación}}{\text{Vida útil del componente reparado}} \leq \frac{\text{Costo del componente nuevo}}{\text{Vida útil del componente nuevo}}$$

- El componente no debe ser considerado como un elemento de desgaste.
- El componente debe ser parte de un sistema productivo.
- El componente debe estar catalogado en listado maestro de SAP, pudiendo ser montado y desmontado de este.
- La calidad de reparación no puede poner en riesgo a las personas, instalaciones, medio ambiente o disminuir la calidad del proceso productivo.

En casos excepcionales, y solo en aquellos casos en los cuales por motivos de disponibilidad de tiempos de entrega o falta de stock en bodega que pudiese comprometer la continuidad operacional, se autorizará reparar un componente, superando la política definida para estos elementos.

Los componentes reparados son consumidos en las actividades de mantenimiento como un repuesto más dentro de una orden de trabajo, de modo que el componente que se consume debe ser vinculado a la ubicación técnica en la que se utilizará a través del montaje del equipo SAP.

Los componentes que son retirados del proceso productivo, son devueltos a la bodega con la condición de dañados, para que luego el área responsable gestione su reparación utilizando una orden de trabajo de renovación, la cual imputa sus costos directamente al componente dañado. El componente, una vez reparado, se regresa a la bodega con la condición de reparado y queda disponible para ser nuevamente utilizado.

Los componentes serán dados de baja cuando:

- El costo por unidad de tiempo de la vida útil del componente reparado es igual o mayor al costo por unidad de tiempo del componente nuevo, esto es:

$$\frac{\text{Costo de reparación}}{\text{Vida útil del componente reparado}} \geq \frac{\text{Costo del componente nuevo}}{\text{Vida útil del componente nuevo}}$$

- El componente debido a su deterioro no pueda recuperar su nivel de confiabilidad o mantenibilidad.
- El costo de su reparación supere la política definida para este caso.

Para realizar el proceso de obsolescencia del componente, se debe indicar a bodegas el código de material y su respectivo número de equipo que será dado de baja para el tratamiento de liquidación en el sistema.

5.3. Diagramación del mapa de proceso del reparable

El diagrama de este proceso estará enfocado desde que el componente es retirado de operación y vuelve a ser montado en planta. Siempre el proceso será enfocado desde el punto de vista de su tratamiento vía SAP.

Para la realización del diagrama y mejor comprensión del flujo del proceso, éste será resumido en la Tabla 16 “Resumen etapas proceso de reparación”, la cual define los tiempos asociados a cada etapa, las personas involucradas en cada control del proceso y las actividades a realizar.

RESPONSABLES DE CONTROL												
Control mandante	✓				✓	✓	✓				✓	✓
Control externo		✓	✓	✓				✓	✓	✓	✓	
Control proveedor		✓	✓	✓		✓		✓	✓	✓	✓	
Controles Proceso reparación polea	1. Retiro de faena y envío de polea	2. Recepción polea	3. Diagnóstico de reparación Pauta de Control n°1	4. Envío presupuesto y solicitud de aportes a reparación	5. Aprobación de Presupuesto	6. Fecha Oficial inicio Trabajos	7. Envío componente Aportes de reparación	8. Recepción y validación componente nuevos y fabricados Pauta de control n°2	9. Armado de polea Pauta de control N°3	10. Termino de reparación de polea Inspección final y liberación de control externo	11. Despacho con guía e informe final con 10 puntos previos	12. Recepción y almacenaje según estándar
Control Días	Aviso 5 días antes a Proveedor	Día 0	5 días		1 día			15 días			5 días	1 días

Tabla 16 Resumen etapas del proceso de reparación

5.3.1 Diagrama del proceso en faena previa a la reparación

Esta etapa del proceso está comprendida desde que el componente es retirado desde su ubicación técnica hasta su despacho final en faena. Las actividades más relevantes asociados al proceso están relacionadas con su desmontaje en SAP, creación de la orden de trabajo de reparación, asignación del taller reparador, embalaje, carga bajo estándar y la verificación de número de equipo, el cual es extremadamente valioso para su trazabilidad, ya que es único para cada componente. Dicho proceso se representa a continuación en la Figura 31 “Proceso previo al envío”.

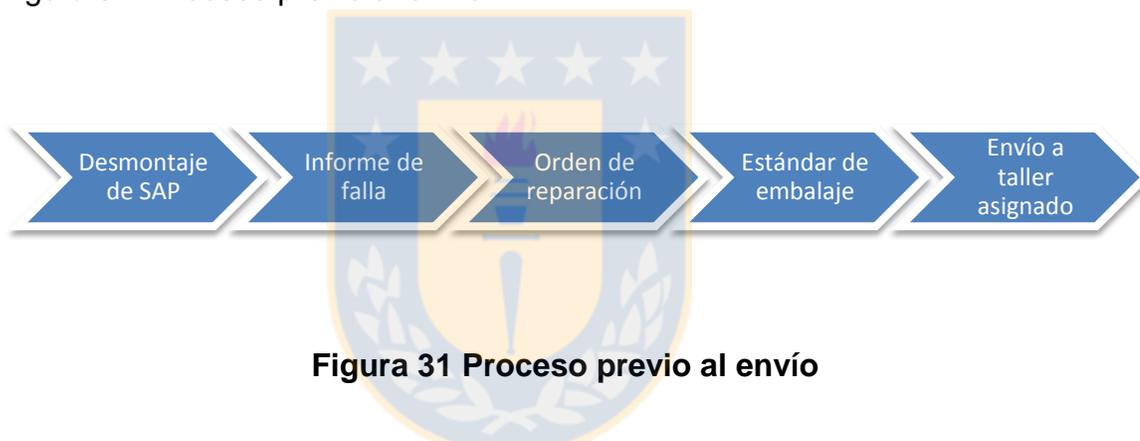


Figura 31 Proceso previo al envío

5.3.2 Diagrama del proceso en gestión previa a la reparación

Esta etapa del proceso contempla todas las acciones necesarias, desde que el componente llega al taller reparador y se realicen todas las evaluaciones técnicas económicas previas a la aprobación del presupuesto de reparación. Debe quedar claramente establecido el nivel de reparación, los aportes de componentes y los tiempos de espera de todos los repuestos, a fin de clarificar y definir el tiempo de inicio de reparación y el tiempo de retorno del componente. Dentro de este mismo proceso se genera la línea de dar de baja componentes, para lo cual se debe realizar esta tarea en SAP. Bajo ningún motivo, se debe realizar la práctica de reasignar el número de equipo, ya que este mal procedimiento causa la pérdida de trazabilidad contable del

componente. El detalle puede ser revisado en la Figura 32 Diagrama del proceso previo a la reparación”.

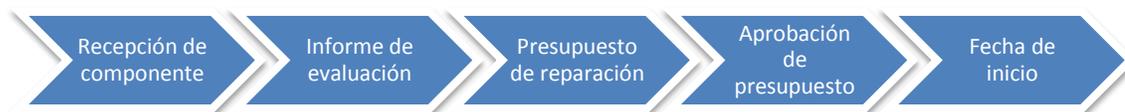


Figura 32 Diagrama del proceso previo a la reparación

5.3.4 Diagrama del proceso en gestión durante la reparación

En esta etapa del proceso, se vuelve clave la realización de todos los procesos de acuerdo a los criterios y parámetros definidos, la trazabilidad de cada una de las tareas debe ser total y estar disponible en cualquier etapa del proceso. La finalización del proceso, debe ir acompañada con la carpeta de calidad con todos los puntos solicitados y el componente no puede salir del taller sin este documento, ya que todo el proceso de garantías y cierre comercial del proceso será validado con dicho documento. Lo anterior, definido en la Figura 33 “Proceso de Reparación”.

Es importante destacar que todo componente nuevo o fabricado que se encuentre fuera de tolerancias o no pase una prueba de ensayo no destructivo, será dado de baja de manera inmediata y no se aceptarán reparaciones sobre éste. Para el caso de componentes, partes y/o piezas reparadas, éstas deberán a volver por el proceso integral de reparación siempre y cuando no existan restricciones por ciclos de fatiga térmica y/o deformaciones asociadas al proceso de reparación.

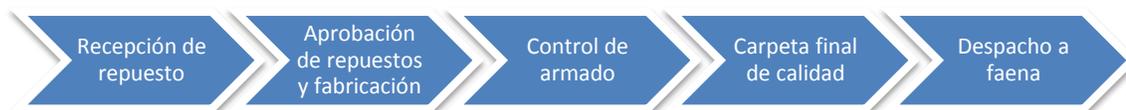


Figura 33 Proceso de Reparación

5.4. Cruce de fallas y técnicas de inspección

Para realizar el cruce de fallas y técnica de inspección se utilizará como referencia la Tabla 8 “Análisis de los modos de fallas y sus efectos”. Asignando a cada modo de falla un técnica de inspección apropiada (Tabla 17 “Cruce de modos de fallas y técnicas de inspección”).

Modo de Falla	Ensayo Requerido	Criterio de Aceptación
Pérdida de revestimiento	Test de adherencia	Mínimo 10 N/mm ²
	Ultrasonido haz recto	Sin discontinuidades
	Medición de dureza	De acuerdo a plano o Ver Tabla 13 Durezas referenciales de los recubrimientos de poleas
	Medición de espesores	De acuerdo a plano
	Inspección visual	Sin discontinuidades
Rodamiento trabado	Control metrológico eje	Tolerancia ISO h9
	Control metrológico rodamiento	De acuerdo a fabricante
	Inspección visual	Sin corrosión o entalles mecánicos
Soporte fracturado	Control metrológico	De acuerdo a tolerancia del fabricante
	Líquidos penetrantes	Sin indicaciones relevantes
	Inspección visual	Sin corrosión o entalles mecánicos
Eje Fracturado	Ultrasonido haz recto	Sin indicaciones relevantes
	Líquidos	Sin indicaciones relevantes

	penetrantes	
	Medición de deflexión	0,0023 pulgadas por cada pulgada de diámetro
	Inspección visual	Sin pérdidas de material
Tambor fracturado	Ultrasonido haz angular	Sin indicaciones relevantes
	Partículas magnéticas	Sin indicaciones relevantes
	Medición de espesores	De acuerdo a plano y diferencia máxima de acuerdo a Tabla 14 Desviaciones permisibles en diámetros de poleas
Elemento de fijación eje-tambor suelto	Metrología del agujero de la tapa	Tolerancia ISO H7 o según fabricante
	Control de torque de pernos	Según fabricante
Tapa Fracturada	Ultrasonido haz angular	Sin indicaciones relevantes
	Líquidos penetrantes	Sin indicaciones relevantes

Tabla 17 Cruce modos de fallas y técnicas de inspección

Para los criterios de evaluación y su consideración de relevante o no relevante, se deben considerar los criterios definidos anteriormente en el párrafo

4.2.1 Aplicación de ensayos no destructivos”. En caso de que se ocupe una referencia de fabricación distinta, éstas deben quedar registradas en las respectivas carpetas de calidad. Por otra parte, si el fabricante del componente tiene tolerancias, criterios, estándares definidos, estos últimos serán siempre los que definirán los criterios de aceptación o rechazo y bajo ningún caso se aceptarán criterios basados en la experiencia del taller reparados, salvo el caso mencionado que corresponda a la misma fábrica del componente.

A continuación se muestra una tabla resumen con las imputaciones de detenciones existentes en la data de planta, las cuales fueron extraídas directamente de la base completa (Tabla 18 “Imputaciones de detenciones de planta”). Sin embargo, se aplicaron filtros en las columnas asociados a tipo de detención, seleccionado solo las fallas asociadas a poleas.

Fecha	Tipo de Detención	Equipo	Causa	Comentario	Modo de Falla	Inicio	Fin	Tiempo Detención (hrs)
24-mar	Falla	145-FE-015	Falla Mecánica	Pérdida de revestimiento	FALLA POLEA	2:49:00	20:00:00	17,18
10-may	Falla	220-CV-002	Falla Mecánica	Daño en rodamiento	FALLA POLEA	21:31:55	23:20:35	25,81
16-jul	Falla	145-FE-010	Falla Mecánica	Fractura de soportes	FALLA POLEA	16:29:30	3:25:05	10,93
19-ago	Falla	220-CV-002	Falla Mecánica	Daño en rodamiento	FALLA POLEA	15:29:05	20:00:00	28,52
16-dic	Falla	220-CV-003	Falla Mecánica	Daño en rodamiento	FALLA POLEA	8:06:00	12:01:35	27,93
								110,36

Tabla 18 Imputaciones de detenciones planta

Se puede observar, que comparando la Tabla 17 “Cruce modos de fallas y técnicas de inspección” con la Tabla 18 “Imputaciones de detenciones planta”, los modos de falla presentes se encuentran considerados en el análisis de efectos de modos de falla y su respectiva técnica de inspección.

5.5. Generación de pautas de control e inspección

Para la elaboración de las pautas de control, se considera como base el desarme de la polea en componentes inspeccionables, de acuerdo la Tabla 17 “Cruce modos de fallas y técnicas de inspección”. Será siempre complemento a toda metodología de trabajo propuesta de catálogos, manuales y referencias entregadas por los fabricantes de equipos y/o componentes.

Adicionalmente, se deben solicitar todos los documentos asociados al origen de materiales y componentes a fin de asegurar su calidad y origen. Estos controles quedarán como ítem a inspeccionar dentro de la pauta de control.

Las pautas de inspección generadas contemplan las tres etapas de inspección definidas; desarme, fabricación y armado. Estas pautas como parte definida del

proceso serán documentos auditables y parte de los requerimientos mínimos para el proceso de generación de estados de pago, de esta forma se asegura que siempre se encuentren realizados y darle la importancia que se requiere, también serán evidencias claves en caso de posibles fallas y los respectivos proceso de garantías que pudiesen verse involucrados.

5.5.1 Pautas de control etapa de desarme

La aplicación de esta pauta de control mostrada en la Tabla 19 “Pauta de Evaluación de poleas”, tiene por objetivo principal definir de manera correcta y temprana la necesidad de componentes a reemplazar y/o fabricar, a fin de no tener que repetir etapas del proceso o retrasos en los tiempos de entrega de componentes.



PAUTA DE EVALUACIÓN DE POLEAS				
Orden de trabajo	Código Material			N° de Informe
N° de equipo	Tipo de Polea			
Fecha	Especificaciones			
Inspector	Taller			
TAMBOR		Aceptado	Rechazado	Observación
Revisión dimensiones generales				
Medición de espesores a manto				
Inspección visual soldaduras y manto en general				
Ensayo de partículas magnéticas soldaduras manto tapa				
Ensayo de ultrasonido angular soldaduras manto tapa				
TAPAS		Aceptado	Rechazado	Observación
Revisión dimensiones generales				
Metrología agujero de alojamiento manguito contracción				
Inspección visual soldaduras y en general				
Ensayo de líquidos penetrantes a soldaduras tapa				
Ensayo de ultrasonido angular soldaduras tapa				
EJE		Aceptado	Rechazado	Observación
Verificación calidad material eje según detalle de plano				
Revisión dimensiones generales según plano				
Control metrológico a eje en zona de soportes y alojamientos				
Medición de deflexión a eje				
Ensayo de ultrasonido haz recto				
Ensayo de líquidos penetrantes en cambio de sección				
Inspección visual general del eje				
ELEMENTOS DE FIJACIÓN		Aceptado	Rechazado	Observación
Inspección visual estado de manguito de fijación				
SOPORTES		Aceptado	Rechazado	Observación
Control metrológico de los soportes				
Inspección visual de los soportes				
Ensayo de líquidos penetrantes (solo caso reutilizados)				
Observaciones:				

Tabla 19 Pauta de Evaluación de poleas

5.5.2 Pautas de control etapa reparación y fabricación

Esta pauta mostrada en la Tabla 20 “Pauta de control reparación y fabricación”, tiene como finalidad controlar los componentes reparados y fabricados de manera previa al armado a fin de asegurar que no haya procesos deficientes en el ensamble final.

PAUTA DE EVALUACIÓN FABRICACIÓN Y REPARACIÓN				
Orden de trabajo	Código Material		Número de Informe	
Número de equipo	Tipo de Polea			
Fecha	Informe Evaluación			
Inspector	Taller Reparación			
RECUBRIMIENTO		Aceptado	Rechazado	Observación
Inspección visual a recubrimiento				
Medición de espesores a recubrimiento				
Ensayo de ultrasonido con haz recto				
Ensayo de adherencia a probeta estandar				
TAMBOR		Aceptado	Rechazado	Observación
Revisión dimensiones generales				
Medición de espesores a manto				
Inspección visual soldaduras y manto en general				
Ensayo de partículas magnéticas soldaduras manto tapa				
Ensayo de ultrasonido angular soldaduras manto tapa				
Inspección visual a anillos de refuerzos				
Certificado de material para tambores nuevos				
TAPAS		Aceptado	Rechazado	Observación
Revisión dimensiones generales				
Metrología agujero de alojamiento manguito contracción				
Inspección visual soldaduras y en general				
Ensayo de líquidos penetrantes a soldaduras tapa				

Ensayo de ultrasonido angular soldaduras tapa			
Certificado de material para tapas nuevas			
EJE	Aceptado	Rechazado	Observación
Verificación calidad material eje según detalle de plano			
Revisión dimensiones generales según plano			
Control metrológico a eje en zonade soportes y alojamientos			
Medición de deflexión a eje			
Ensayo de ultrasonido haz recto			
Ensayo de líquidos penetrantes en cambio de sección			
Inspección visual general del eje			
Certificado de material para ejes nuevos			
ELEMENTOS DE FIJACIÓN	Aceptado	Rechazado	Observación
Inspección visual estado de manguito de fijación			
Certificado de origen para manguitos nuevos			
SOPORTES	Aceptado	Rechazado	Observación
Control metrológico de los soportes			
Inspección visual de los soportes			
Ensayo de líquidos penetrantes (solo caso reutilizados)			
Certificado de origen para soportes nuevos			
RODAMIENTOS	Aceptado	Rechazado	Observación
Control metrológico de los rodamientos			
Inspección visual de los rodamientos			
Certificado de origen para rodamientos nuevos			
Observaciones:			

Tabla 20 Pauta de control reparación y fabricación

5.5.3 Pautas de control etapa de armado

Esta pauta de control mostrada en la Tabla 21 “Pauta armado de poleas”, tiene como finalidad la correcta configuración dimensional de la polea de acuerdo al plano de montaje y asegurar la correcta cantidad y tipo de grasa, así como también entregar la información técnica del componente.

PAUTA DE INSPECCIÓN ARMADO DE POLEAS				
OT	Código Material			Número de Informe
N° equipo	Tipo de Polea			
Fecha	Informe de Reparación			
Inspector	Taller Reparación			
DATOS TECNICOS Y MEDICIONES DE ARMADO				
Recubrimiento de Goma		Información		Observación
Tipo de Dibujo				
Espesor (mm)				
Dureza Recubrimiento Goma				
Tambor		Información		Observación
Nuevo:_____ Reparado:_____		Diámetro:	Largo:	
Anillo Refuerzo Manto		Si: No:	Cantidad:	
Eje		Información		Observación
Nuevo:_____ Reparado:_____		Diámetro:	Largo:	
Soportes		Fijo	Móvil	Observación
Marca				
Modelo				
tipo de fundición de descansos				
Rodamientos		Fijo	Móvil	Observación
Marca				
Modelo				
Jugo Radial interno inicial				
Jugo Radial interno final				
juego Residual				
Manguitos de fijación rodamiento		Fijo	Móvil	Observación
Marca				

Modelo			
Tipo de seguro			
Sellos	Fijo	Móvil	Observación
Marca			
Modelo			
Grasa	Fijo	Móvil	Observación
Tipo			
Marca			
Cantidad (kg)			
9.- Torque Elementos de Fijación.	Descansos	Manguito	Observación
Grado			
Torque			
10.- Distancia Montaje Rodamientos	Fijo	Móvil	Observación
Distancia entre centros de rodamientos			
Observaciones:			

Tabla 21 Pauta armado de poleas

5.5.4 Aplicación de pautas y controles

Con el fin de determinar oportunidades de mejora y dar una mejor visualización al trabajo realizado, se procedió a aplicar las pautas en las poleas reparadas entre enero de 2019 y primera semana de marzo 2019, obteniéndose los resultados de la Tabla 22 Aplicación de pautas de control”:

Equipo	Tipo	TAG	Estado	Comentario
Polea	Bimotriz	220-CV-006	Rechazado	No fue posible validar todos los procesos de reparación por falta de recursos
Polea	Deflectora	140-CV-06/07/08	Aprobado	
Polea	Tensora	220-CV-001	Rechazado	No fue posible validar todos los procesos de reparación por falta de recursos
Polea	Deflectora	145-CV-022	Rechazado	Polea presenta menor diámetro de tambor al indicado por diseño
Polea	Tensora	145-CV-022	Rechazado	Se reutilizan rodamiento con juego radial inicial fuera de rango por no contar con repuestos a tiempo
Polea	Cola	145-CV-022	Evaluación	Sólo se realiza evaluación solicitada para poleas de Proyectos. Se identifica juego radial excesivo medido en los rodamientos.
Polea	Deflectora	140-CV-06/07/08	Aprobado	
Polea	Tensora	145-CV-022	Evaluación	Sólo se realiza evaluación solicitada para poleas de Proyectos. Se identifica juego radial excesivo medido en los rodamientos.
Polea	Motriz	147-CV-023	Aprobado	No fue posible validar todos los procesos de reparación. Solo se realiza cambio de rodamientos
Polea	Snap	145-CV-012	Rechazado	Manto bajo espesor por falta de tiempo para su fabricación.
Polea	Deflectora	120-CV-001	Evaluación	Polea Proyectos. Se evalúan juegos radiales (Rodamientos fuera de juego teórico), control dimensional y lubricación (Se recomienda cambiar por Bel RayTermalene).
Polea	Cola	145-FE-010@015	Aprobado	
Polea	Deflectora	145-CV-022	Aprobado	

Tabla 22 Aplicación de pautas de control

De la tabla anterior, se puede desprender que de las 13 poleas evaluadas con las pautas definidas solo cinco de ellas se encuentran aprobadas, lo que representa aproximadamente un 38 % del total. Por otra parte, 3 poleas aún se encuentran en proceso de evaluación, sin embargo, ya se detectaron condiciones que indica que deben ser rechazadas. Por otro lado, se tienen 5

poleas rechazadas lo que también representa un 38 % de los equipos inspeccionados.

Con la información recopilada a la fecha, se realiza un análisis a fin de identificar por qué se tiene una tasa tan alta de rechazo en reparaciones de poleas. Como principal motivo se encuentra el tema de falta de tiempo para la espera de los componentes. De lo anterior, se desprenden tres aristas, la primera: si el tiempo definido para la reparación son los correctos, la segunda: si los tiempo de entrega de repuestos es el adecuado y la tercera: si se cuenta actualmente con la cantidad suficiente de componentes en bodega para dar continuidad operacional a la planta.

Para una mejor comprensión del primer punto, se revisan las bases específicas de licitación de los contratos de reparación de poleas, en éstas se define que el tiempo para una reparación dependerá del tipo de intervención requerida, las cuales están definidas según los siguientes criterios:

- Nivel I: cambio de acoplamiento, soportes y/o rodamientos, para esta tarea se dispone de un tiempo máximo de 72 horas, una vez llegada la polea al taller de reparación y se tenga la aprobación del presupuesto.
- Nivel II: cambio de revestimiento del tambor, para esta tarea se dispone de un tiempo máximo de 7 días continuos de trabajo, una vez llegada la polea al taller de reparación y se tenga la aprobación del presupuesto.
- Nivel III: fabricación de componentes principales de la polea como lo son ejes, tambores y/o tapas, para esta tarea se dispone de un tiempo máximo de 15 días de trabajo continuo, una vez llegada la polea al taller de reparación y se tenga la aprobación del presupuesto.

De acuerdo al análisis por tiempos disponibles para proceso de reparación, no se observa que hubiese una subestimación de tiempos para dichas actividades.

Con respecto al análisis de repuestos de poleas como son los soportes, manguitos de fijación y rodamientos, se observó que existen variaciones relevantes en los tiempos de entrega por parte de las fábricas principales, obteniéndose tiempos de entrega de hasta 180 días en estos componentes. También se observó, que dentro de la gama de soportes y manguitos de fijación utilizados, existen ciertos componentes especiales, los cuales son fabricados sólo a pedidos. Dada esta condición, se ve necesario implementar un sistema diferente de suministro de componentes, comenzando por una definición básica de componentes críticos y componentes estratégicos, los cuales serán definidos de la siguiente manera:

- Componentes críticos: serán considerados críticos todos aquellos repuestos de alta rotación y cuyo tiempo de entrega se vea amenazado por prolongados plazos de reposición. Para estos componentes se realizará una doble gestión. Primero se definirá un stock de inventario mínimo por parte de la empresa mandante y la empresa reparadora a fin de lograr un nivel de servicio óptimo para estos componentes. Este nivel mínimo será según se indica en la Tabla 23 "Stock mínimo recomendado para componentes críticos".

Rotación	Tiempo de entrega repuesto	Stock mínimo Mandante	Stock mínimo contrato
Mensual	> 1 mes	1 unidad	2 unidades
	> 3 meses	2 unidades	4 unidades
	> 6 meses	3 unidades	6 unidades
Trimestral	> 1 mes	0	1 unidad
	> 3 meses	1 unidad	2 unidades
	> 6 meses	2 unidades	2 unidades

Tabla 23 Stock mínimo recomendado para componentes críticos

- Componentes estratégicos: serán considerados como componentes estratégicos todos aquellos que su falta cause una detención prolongada

de planta, su tiempo de reposición sea superior a seis meses y que no existan componentes similares que pudiesen aplicar en su reemplazo. Para aquellos componentes reparables que caigan en esta condición se deberá contar siempre con un componente en bodega y otro en proceso de reparación, en este último caso sólo se realizará el armado cuando el componente de bodega sea requerido en operación.

Para el tercer caso, se realizó un levantamiento de códigos de materiales y las respectivas cantidades de códigos instalados en faena y su respectiva disponibilidad en bodega. Con estos datos, se realizó una definición básica de contar siempre con al menos un componente en bodega y otro en gestión de reparables. En este punto, se recomienda realizar un estudio logístico que permita determinar el punto óptimo de gestión de reparables tanto en bodega como en reparación, debido a que el costo de un sobre stock, es demasiado elevado.

Como evidencia del control de trabajos realizados en las maestrías reparadoras de poleas y la aplicación de las pautas de control definidas en el presente estudio, se muestran las seis imágenes en la figura 34 “Evidencia de aplicación de pautas de control”, tomadas de los procesos principales del armado de una polea con una reparación definida como nivel II.

Medición de deflexión en Metrología de eje
eje

Metrología de tapa tambor



Medición de juego radial

Balaceo estático

Medición distancia entre centros



Figura 34 Evidencia de aplicación de pautas de control

5.6. Generación de estándares básicos asociados al proceso

Para lograr una estandarización del control de calidad en poleas, lo primero es definir cuáles son las etapas que considera la reparación de la(s) polea(s). En este estudio se definirán tres etapas:

1. Envío del componente a taller: al momento de salir el componente a reparación, éste debe salir con un informe básico, donde se indique la descripción del componente, su ubicación técnica en la planta y los motivos que originaron su reemplazo. Los componentes deben salir en atril, en caso de no contar con este elemento se debe incluir la cotización de este elemento, ya que su uso será obligatorio en este estándar. Se implementará la ficha correspondiente a la tabla 24 “Identificación de componente a reparar” como adhesivo para la identificación del componente, antes de ser enviado al taller de reparación.

Identificación de componente a reparar:			
Número de equipo:			Fecha salida:
Ubicación Técnica:			Fecha retorno prevista:
Motivo de reemplazo:			
			Destino:
Despachado en atril:	Si: ___	No: ___	Firma Recepción:
Nombre recepción:			

Tabla 24 Identificación de componente a reparar

2. Evaluación de los componentes: en una primera etapa en taller, una vez desarmado el componente, cada una de sus partes debe ser sometida a un proceso de inspección mediante ensayos no destructivos y técnicas de metrología. Se debe realizar un listado con todos los componentes que deben ser reemplazados y/o reparados.

El encargado por parte Codelco, será el encargado de solicitar la cotización del servicio de reparación y cotización a proveedores por los repuestos requeridos. También puede ocurrir, que los talleres reparadores suministren los repuestos y sólo se emita una cotización inicial por todo el proceso. El proceso de reparación sólo procederá cuando el costo global de la reparación no supere el 60% de la compra

del activo nuevo o bien cuando el tiempo del componente nuevo ponga en riesgo la continuidad operacional. El desarrollo de este punto será abordado en detalle en el apartado de elaboración de pautas de control.

3. Recepción de materiales: tanto para materiales nuevos (de fábrica) o de confección local, como así también para los componentes recuperados, se debe implementar una segunda pauta de control, la cual busca asegurar que antes del proceso de armado, cada componente a utilizar se encuentra con aptitud de servicio. Para el caso de componentes fabricados, se considerarán las tolerancias del fabricante original del componente, para el caso de componentes nuevos se consideran las tolerancias de este fabricante. El desarrollo de este punto será abordado en detalle en el apartado de elaboración de pautas de control.
4. Etapa de armado: para la etapa de armado se deben chequear que todas las tolerancias de los componentes se encuentren de especificaciones técnicas, como así también se deben verificar las distancia entre centro de rodamientos, los torques de los elementos de fijación eje tambor y sus secuencias de apriete, posición de los acoplamiento con respecto a la cara del eje (solo en el caso de poleas motrices), tipo y cantidad de grasa para la aplicación. A continuación en la Figura 35 “Cotas mínimas de armado”, se muestra un esquema básico tipo, de las medidas mínimas que deben ser controladas en la etapa de armado:

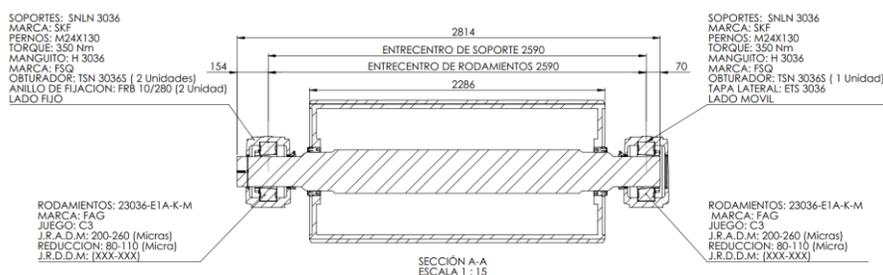


Figura 35 Cotas mínimas de armado

5. Despacho a faena: El componente enviado a faena debe ir siempre sobre un atril, el cual debe mantener fijo el tambor de la polea y libre los rodamientos, a fin de permitir el giro de éstos y que las pistas de rodadura no sufran marcas por el mismo peso de la polea. Para el manto se debe considerar el uso de film termo contraíble, el cual debe proteger al caucho de la degradación producida por la radiación UV y a los soportes del ingreso de humedad o contaminantes. Adicionalmente se debe considerar una placa visible, donde se indique como mínimo lo mostrado en la Tabla 25 "Identificación componente reparado", adicionalmente se anexa identificación de componente reparable en Figura 36 "Descripción de componente reparado".

Identificación del componente Reparado:			
Número de equipo:		Fecha entrega:	
Ubicación Técnica:		Proveedor:	
Tipo de grasa:		Código SAP:	
Cantidad de grasa:		Faena:	

Tabla 25 Identificación componente reparado



Figura 36 Descripción componente reparado

6. Almacenaje: el almacenaje debe ser en un lugar libre de radiación ultravioleta y contaminante. Se debe considerar una designación fija a cada tipo de componente, asegurando los espacios necesarios para realizar maniobras de izamiento desde sus atriles y no tener que desembalar el componente. Cada 6 meses, se debe retirar el film protector y realizar un giro manual del componente en a lo menos 10 giros completos y procurando que la posición final se encuentre desplazada en 180 grados con referencia a la posición inicial, esto a fin de evitar marcas en las pistas de rodadura de rodamiento. El termo contraíble debe ser remplazado cada vez que se realicen maniobras de giro, es decir destruido por eventos adversos. En la Figura 37 “Polea en estándar de embalaje” se muestra una polea en condiciones óptimas de embalaje y condiciones de preservación, con lo cual puede ingresar a bodega.



Figura 37 Polea en estándar de embalaje

7. Montaje: se debe realizar siempre una inspección visual de la polea antes de iniciar su manipulación, asegurando de esta forma, que se encuentren sus sellos en posición, indicación de lubricante, recubrimiento en buen estado, fijaciones al atril instaladas, entre otras variables. Para esta actividad, se debe asegurar siempre que la polea no pueda realizar

ningún tipo de desplazamiento en relación a su posición en el atril o de las maniobras con respecto a las estructuras soportantes o de apoyo.

Se debe verificar que todas las maniobras asociadas a la polea, se realicen sujetando ésta desde el eje. Para lo cual, las maniobras deben ser equilibradas en todo momento (sujetando de ambos lados) y considerando el uso de eslingas. No se considera el uso de cadenas.

Bajo ninguna circunstancia la polea debe ser manipulada desde los soportes, esta práctica puede ocasionar daño en los sellos, tapas y/o generar pre cargas en los rodamientos. Por otra parte, tampoco se recomienda la manipulación desde el manto, ya que esta práctica puede causar daño en el recubrimiento de la polea.

Antes de iniciar el montaje de la polea en sus soportes estructurales se debe realizar una inspección de éstos, para lo cual se debe eliminar todo rastro de óxidos y/o discontinuidades de servicio. Una vez finalizada la limpieza se debe verificar una planitud de superficie G7 y una rugosidad superficial menor a 12,5 micrómetros.

Cabe mencionar que para lograr un buen apoyo del soporte con su estructura, evitando de esta forma fracturas o grietas en los soportes, es necesario el uso de laines calibradas que cubran por completo la base del soporte, bajo ningún caso se deben utilizar laines que cubran solo un lado del soporte. En la Figura 38 “Uso correcto de laines” se puede apreciar el correcto uso de laines y el uso inadecuado de estas.



Figura 38 Uso correcto de linternas.

Posterior al chequeo de planitud de la base y estructura se debe alinear (con método láser) la polea con la unidad motriz (en caso de ir acoplada a un sistema motriz). En este punto se debe establecer como línea base del alineamiento, la perpendicularidad entre la línea centro de la cinta del transportador y la línea centro de la polea. Posteriormente, de establecer esta referencia, se debe realizar el alineamiento polea-reductor y finalmente reductor-motor. Como referencia del valor permisible de desalineamiento, se deben considerar las tablas propias de cada fabricante de acoplamiento. A modo de resumen del proceso de reparación se introduce la Figura 39.

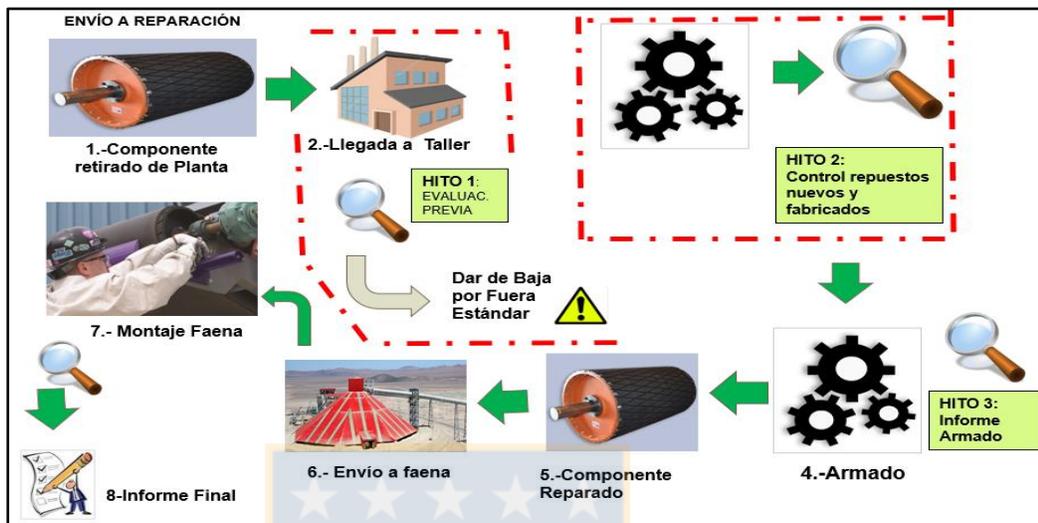


Figura 39 Resumen proceso de reparación.

5.6.1 Pautas de montaje en faena

Con el fin de asegurar la trazabilidad del proceso de montaje, se implementa la siguiente pauta de montaje en terreno (Tabla 26 “Pauta de inspección de montaje en faena”). El formato tiene un cambio con referencia a las pautas de inspección en taller, debido a que éstas por estar en planta, están asociadas a una hoja de ruta en SAP. Este tipo de hojas de rutas son ingresadas al sistema como hoja de ruta formato “stand alone”, lo cual significa que no está asociada a un plan matriz y se utiliza la condición, sin una frecuencia definida.

MANTENIMIENTO POLEAS MECÁNICO - FRECUENCIA STAND ALONE					
Frecuencias: Stand Alone	HH : 4 Hrs.	Personas: 2	Duración: 8 Hrs.	Cond. Eq: DETENIDO	Puesto Trabajo: INSPECCIÓN
Fecha Inicio Trabajo: __/__/__	Hora Inicio Trabajo: __:__:__	Fecha Término: __/__/__	Hora Término : __:__:__		
ÍTE M	COMPONENTE	DESCRIPCIÓN TAREA	LIMITES PERMISIBLES	CUMPLE	REFERENCIAS/REGISTROS
1	ESTRUCTURA	INSPECCIÓN DE LA ESTRUCTURA <ul style="list-style-type: none"> • Verificar de manera visual de la estructura • Verificar estado de los agujeros de anclaje del soporte • Verificar planitud del soporte • Realizar medición con inclinómetro y realizar comparativa en dos planos entre las dos vigas soportantes 	Sin grietas Concéntricos Tolerancia G7 Sin deformaciones mayores a 2 grados	SI() NO()	
2	POLEA	INSPECCIÓN DE MONTAJE <ul style="list-style-type: none"> • Verificar que le polea se encuentre validada por el proceso de QA/QC • Verificar el correcto alineamiento con respecto a la cinta • Verificar el correcto alineamiento con respecto a la cinta • Verificar la correcta instalaciones de laines • Verificar el correcto torque de soportes • Verificar que cuando aplique los sellos taconite se encuentren con dosificador de grasa • Verificar la instalación de dosificadores de grasas 	Con sello de reparables Perpendicular al eje de construcción máx. 0,3 ° entre soportes Laines completas y no más de 4 unid. Según tabla de perno Grado 5 Dosificador a 6 meses Grasa Termalene EP2	SI() NO()	
Nota : Todas las condiciones que "NO" cumplan, deberán ser anotadas e informada a su supervisión directa					
Observaciones:					
_____ NOMBRE Y FIRMA ENTREGA COLABORADOR			_____ NOMBRE Y FIRMA ENTREGA CODELCO		

Tabla 26 Pauta de inspección montaje en faena.

5.7. Evaluación económica de reparar vs comprar

Como parte final de este trabajo se realizó una evaluación económica del proceso de reparables, considerando como referencia los precios de un componente nuevo en contraste al mismo componente reparado. Para la referencia de los componentes nuevos, se realizó la extracción de precios vigentes en SAP para los respectivos códigos de material, con el uso de la transacción SAP mmbe (este código permite ingresar de manera directa a la función de visualizar materiales) y para el caso de los componentes reparados, el presupuesto enviado por el taller reparador con contrato vigente en la división.

Considerando los componentes reparados y aprobados bajo estándar de reparación definido en el presente trabajo, se obtuvo la tabla 27 “Comparación de precios de reparar vs comprar”.

Código de Material	TAG	Precio Componente	Precio Reparación	Relación de costos	Ahorro
4162037	140-CV-06/07/08	\$ 19.429.200	\$ 11.657.186	60%	\$ 7.772.014
4162037	140-CV-06/07/08	\$ 19.429.200	\$ 11.657.186	60%	\$ 7.772.014
4162026	147-CV-023	\$ 18.050.900	\$ 11.723.275	65%	\$ 6.327.625
1440408	145-FE-010@015	\$ 21.779.100	\$ 9.727.274	45%	\$12.051.826
4162043	145-CV-022	\$ 20.716.500	\$ 9.067.408	44%	\$11.649.092
Total Ahorrado					\$45.572.571

Tabla 27 Comparación de precios de reparar vs comprar

Realizando un análisis de la Tabla 27 Comparación de precios de reparar vs comprar“, se puede ver que a la fecha del 4 de marzo de 2019, se tiene un ahorro de \$ 45.572.571 millones, lo cual genera un ahorro promedio de \$ 9.114.514 por polea reparada. Realizando una proyección lineal del consumo de poleas reparables se espera un total de reparación para el año 2019 de 30 poleas, lo que generaría un ahorro aproximado de \$ 273.435.420 millones.

Por otro lado se tiene considerado que para realizar el control de calidad en polea, se requiere un contrato de dos personas en turno 7x7, el cual actualmente tiene un costo total de \$ 12.575.596 millones mensuales, el cual proyectado en un año da un costo total de \$ 150.907.156 millones. Considerando que este servicio es “con todo incluido y sin gastos reembolsables”, no existen otros costos ocultos en la implementación de este servicio.

Considerando los ahorros del proceso de reparables y los costos asociados a su aseguramiento de calidad, tenemos finalmente un ahorro total de \$ 122.528.264 millones. Lo cual implica, que el proceso de reparación puede ser sustentable por si solo y además considerando que la clave es mantener la confiabilidad de la planta, que es en donde se genera el real ahorro. Eliminando las fallas asociadas a malas reparaciones, se puede concluir que el proceso es altamente eficiente y su implementación produce un costo que puede ser compensado con el ahorro generado.

5.8. Evaluación de componentes reparados en operación

Con el fin de generar un cierre del componente reparable, se implementa como estándar un control de vibraciones dentro de las dos primeras horas de operación (ver tabla 28 “Evaluación de condición vibratoria”), pero no antes de

30 minutos. Con este control se puede determinar cualquier falla asociada a montaje de rodamientos, lubricación inadecuada, desbalance, desalineamiento, solturas mecánicas, principalmente.

TAG	FECHA CAMBIO	COMENTARIO	CONDICIÓN VIBRATORIA
140-CV-006	17-03-2019	Equipo apto para operación	Buena
140-CV-007	16-01-2019	Equipo apto para operación	Buena
145-CV-022	29-12-2018	Equipo apto para operación	Buena

Tabla 28 Evaluación de condición vibratoria

Los informes de estado de componentes y la siguiente recolección fue realizada por contrato de monitoreo de condiciones, el cual se encuentra actualmente operado por la empresa SKF. En las figuras 40, 41 y 42 “Espectro antes y después de falla” se puede apreciar que en todos los espectros de las poleas que han entrado a operación, en ninguno se aprecian componentes de falla asociadas a rodamientos, que pudiesen indicar una falla prematura atribuible a un montaje deficiente o bien a una marca por traslado o almacenaje inadecuado. Tampoco se aprecian componentes asociadas a un desalineamiento mecánico atribuible a un proceso deficiente de montaje.



Espectro en cascada de velocidad, mediciones previa y posterior al cambio

Figura 40 Espectro antes y después de falla 140-CV-006



Espectro en cascada de velocidad, mediciones previa y posterior al cambio

Figura 41 Espectro antes y después de falla 140-CV-007



Espectro en cascada de velocidad, mediciones previa y posterior al cambio

Figura 42 Espectro antes y después de la falla 145-CV-022

5.9. Oportunidades de mejora

Dentro de los procesos observados en la División Gabriela Mistral y en los talleres reparadores se encontraron oportunidades de mejora en pro de mejorar la gestión de componentes reparables y aumentar sus tiempos de vida útil en operación. Estas oportunidades serán abordadas de manera individual con sus respectivas recomendaciones y en algunos casos con implementaciones.

5.9.1 Selección de lubricantes y tiempos de re-lubricación

Un punto muy relevante dentro de la vida útil de un rodamiento es sin lugar a dudas la correcta lubricación, entendiéndose como una correcta lubricación; la correcta selección del tipo de lubricante, la cantidad de carga inicial, la cantidad de grasa a reponer y los períodos de re-lubricación.

En inspección realizada en División Gabriela Mistral, se observó que todos los dosificadores automáticos de grasa se encontraban con una configuración de dosificación de tiempo a un mes y no tenían asociada una pauta de verificación en la hoja de ruta en SAP, por este motivo se ha realizado una matriz de

lubricación para todas las poleas del área de chancado como plan piloto y sus respectivas pautas de inspección. Adicionalmente se revisó un problema de exceso de temperatura en un volante de inercia del transportador 147-CV-023, donde existía un problema serio de lubricante inadecuado, el cual será explicado en detalle más adelante.

5.9.1.1 Implementación de matriz de lubricación y pautas de inspección

El lubricante utilizado en las poleas de División Gabriela Mistral corresponde a la grasa Belray Termalene EP 2, una grasa multipropósito con un grado de viscosidad ISO VG 180, la cual se considera apropiada para la aplicación. Para corroborar lo anterior, se realizará el cálculo de factor Kappa, el cual es un factor de la viscosidad teórica requerida por un rodamiento y la corrección de viscosidad a la temperatura de operación. Este factor según recomendación de los fabricantes de rodamientos debe mantenerse en un óptimo entre 2 y 4, condición que asegura que la película de lubricante mantendrá una separación adecuada entre el elemento rodante y la pista de rodadura.

A modo de ejemplo, se realizó el cálculo de factor Kappa para el rodamiento más utilizado en poleas en División Gabriela Mistral, el que corresponde al rodamiento 22234 CCK/W33, el cual es un rodamiento de rodillo a rótula con agujero cónico, jaula de acero y agujero central de lubricación, además se evaluó la condición de operación. Para este cálculo se utilizó la herramienta Bearing Calculator (25) de la empresa SKF, obteniéndose el resultado de la Tabla 29 Cálculo de relación de viscosidad .

Designación 22234 CCK/W33				
Datos de rodamiento				
d	D	B	C	Co
170 mm	310 mm	86 mm	1183 kN	1460 kN
Viscosidad				
Velocidad de rotación				69 r/min
Temperatura de operación				40°C
Viscosidad a 40°C				180 mm ² /s
Resultados				
Viscosidad a la temperatura de operación				180 mm ² /s
Viscosidad requerida				74,5 mm ² /s
Relación de viscosidad (K)				2,42

Tabla 29 Cálculo de relación de viscosidad (25)

Del cálculo se obtuvo un factor de lubricación de 2.42, valor que se encuentra dentro del rango definido como óptimo para un rodamiento. Por lo cual, se considera adecuado el uso del lubricante antes mencionado.

Por otro lado, como se mencionó anteriormente todos los dosificadores se encontraban con una configuración a un mes y en este punto se realizaron los cálculos de intervalos de lubricación de acuerdo a la recomendación Noria según la fórmula y la cantidad de grasa para la re-lubricación de acuerdo a la recomendación de SKF según la fórmula:

$$G_p = B * D * 0,002$$

Ecuación 4 Cantidad de grasa a reponer

En donde G_p corresponde a la cantidad de grasa a reponer en gramos, B es el ancho del aro exterior del rodamiento, D el diámetro exterior del rodamiento y

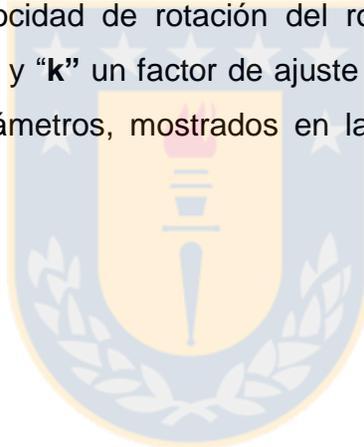
0,002 un factor utilizado para los rodamientos con lubricación central, en otro caso se debe usar 0,005.

Para el cálculo del intervalo de re-lubricación se utiliza la ecuación:

$$T = k * \left[\left(\frac{14.000.000}{n * \sqrt{d}} \right) - 4d \right]$$

Ecuación 5 Tiempo de re lubricación

En donde “**T**” corresponde al tiempo de re-lubricación en horas, “**n**” corresponde a la velocidad de rotación del rodamiento, “**d**” es el diámetro interno del rodamiento y “**k**” un factor de ajuste que resulta de la multiplicación de los siguientes parámetros, mostrados en la Tabla 30 “Parámetros de re-lubricación”.



Factor	Condición	Rango de operación	Factor de corrección
Ft	Temperatura de carcasa	< 65°C	1
		65 a 80°C	0,5
		80 a 93°C	0,2
		> 93°C	0,1
Fc	Contaminación Sólida	Ligera, polvo no abrasivo	1
		Severa, polvo no abrasivo	0,7
		Ligera, Polvo abrasivo	0,4
		Severa, Polvo abrasivo	0,1
Fh	Humedad	< 80%	1
		80 a 90 %	0,7
		Condensación ocasional	0,4
		Agua ocasional	0,1
Fv	Vibración	Velocidad < 5 mm/s	1
		5 a 10 mm/s	0,5
		> a 10 mm/s	0,3
Fp	Posición del eje	Horizontal	1
		45 °	0,5
		Vertical	0,3
Fd	Diseño del rodamiento	De bolas	10
		Cilíndricos / Agujas	5
		Rodillos esféricos / cónicos	1

Tabla 30 Parámetros de re-lubricación

Para el caso del rodamiento 22234 CCK/W33, considerando su diámetro exterior de 310 mm y su ancho de 86 mm, se obtiene según la Ecuación 4 "Cantidad de grasa a reponer"; 53,3 gramos de grasa, ahora utilizando la Ecuación 5 "Tiempo de re lubricación se obtiene un tiempo de 2334 horas, lo que equivale a una necesidad diaria de 0,55 gramos de grasa. Considerando

que los dosificadores tienen un total de 110 gramos y sus configuraciones permiten programar a 1, 3, 6 y 12 meses, se cambia su programación de 1 mes a 3 meses, reduciendo de esta forma en 1/3 el consumo de grasa anual en poleas. Considerando que cada dosificador tiene un costo de 40 dólares, cada polea ocupa dos dosificados, se genera un ahorro de 80 dólares por poleas, por un total de 152 componentes, se puede esperar un ahorro de 12.160 dólares anuales, equivalentes a 8,5 millones de pesos.

Adicionalmente para dar continuidad a la matriz de lubricación a cada polea presente en la planta se le realizó una pauta de inspección y cambio de dosificadores, las cuales fueron cargadas a sus respectivas hojas de ruta de SAP. Considerando que las poleas son parte de un sistema motriz y los motores no tenían su pauta de lubricación, éstos fueron incluidos en las mismas pautas de poleas, dando origen a las pautas de lubricación de sistemas transportadores, la cual se puede observar en la tabla 31 “Pauta de lubricación de sistemas transportadores”.

MANTENIMIENTO TRANSPORTADORES ÁREA CHANCADO SECUNDARIO HIDRAULICA - FRECUENCIA 4S					
Frecuencias: 4S	HH : 2 Hrs.	Personas: 2	Duración: 1 Hrs.	Cond. Eq: FUNCIONANDO	Puesto Trabajo: HIDRÁULICO
Fecha Inicio Trabajo: __ / __ / ____		Hora Inicio Trabajo: __:__:__		Fecha Término Trabajo: __ / __ / ____	
				Hora Término Trabajo: __:__:__	
ÍTE M	COMPONE NTE	DESCRIPCIÓN TAREA	LIMITES PERMISIB LES	CUMPLE	REFERENCIAS/REGISTRO S
1	Motor CV002@00 4	<p>MEDICION DE NIVEL DE GRASA DEL DOSIFICADOR DE MOTORES</p> <ul style="list-style-type: none"> • Verificar que no existan fugas de lubricantes por conectores • Verificar nivel, rango mínimo 10%, si es menor a un 10% se debe realizar el cambio de manera inmediata • Marcar nivel en cada inspección con un plumón permanente, si no existe variación entre mediciones se debe generar aviso M1, criticidad 3 para programar inspección del flexible. • Verificar sujeción de lubricador, que no exista condición anormal, en el suelo o en una posición que no permita el correcto flujo de grasa del dispensador automático <p>Lado Libre:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Verificar que el vaso lubricador contenga grasa Komplex Alpha II, (aceite sintético, Jabón de compuesto de urea, NLGI-2, ISO-VG-100) ajustado a 6 meses para dosificadores de 125 cc y 12 meses para dosificadores de 240 cc <p>Lado Acople:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Verificar que el vaso lubricador contenga grasa Komplex Alpha II, (aceite sintético, Jabón de compuesto de urea, NLGI-2, ISO-VG-100) ajustado a 3 meses para dosificadores de 125 cc y 6 meses para dosificadores de 240 cc 	Nivel mínimo 10%	SI() NO()	Lado Libre Nivel actual _____ % Lado Carga Nivel actual _____ %
Nota : Todas las condiciones que "NO" cumplan, deberán ser anotadas e informada a su supervisión directa					
Observaciones:					
_____ NOMBRE Y FIRMA ENTREGA COLABORADOR			_____ NOMBRE Y FIRMA ENTREGA CODELCO		

Tabla 31 Pautas de Re lubricación poleas

Capítulo 6: Conclusiones

Implementar una política de gestión de componentes reparables puede ser considerado atractivo desde el punto de vista económico y técnico, como se observó, el proceso puede ser autosustentable por si solo desde un punto de vista netamente económico, sin embargo se deben tener presente que una metodología inadecuada en los procesos referidos a control de calidad y la gestión logística que implican estos, pueden terminar por ocasionar un impacto mayor en las pérdidas productivas asociadas, sobre todo al menoscabar los tiempos de entrega de repuestos y tener que forzar reparaciones fuera de un estándar controlado.

En las primeras etapas de implementación se hace necesario un control estricto sobre los talleres reparadores y auditorías específicas del proceso productivo implicado. Dado que estos procesos son ejecutados fuera de las instalaciones de la compañía minera, la implementación de un servicio dedicado y especializado en la aplicación de técnicas de inspección y ensayos se vuelve un factor clave en el éxito del modelo de reparables presentado. Sin embargo, la madurez de este proceso debe estar enfocado en lograr que los talleres reparadores internalicen los conceptos y tareas control y aseguramiento de calidad presentadas, a fin que sea parte intrínseca de su proceso productivo propiamente tal y no ser consideradas como tareas anexas, que solo retrasan el proceso.

La metodología para realizar pautas de control es totalmente escalable a cualquier clase de equipo. Esta tarea fue realizada en paralelo a la realización del presente estudio, logrando implementar el modelo en motores, reductores, cilindros, bombas de pistones, cabezas de chancadoras, ejes flotantes, cajas vibratorias, entre otros.

Como recomendación y complemento al presente estudio se recomienda trabajar en el diseño, implementación y criterios de evaluación para bancos de pruebas, con el fin de poder realizar análisis dinámicos de los equipos e investigar el cómo se ven afectados los modos de vibrar con respecto a los desgastes, grietas, deformaciones que pudiesen sufrir los equipos en operación y tener una mayor asertividad en los análisis vibratorios que se realizan actualmente en equipos de gran complejidad; como lo pueden ser harneros y chancadoras.



BIBLIOGRAFÍAS.

1. **Arata, Adolfo y Arata, Alessio.** *Ingeniería de la confiabilidad.* Santiago : RiL Editores, 2013.
2. **Arata, Adolfo y Furlanetto, Luciano.** *Manual de gestión de activos y mantenimiento.* Santiago : RiL, 2005.
3. **Codelco.** *Manual de operación de bolsillo area seca.* Sierra Gorda : s.n., 2012.
4. —. Codelco. [En línea] 2016. [Citado el: 08 de Diciembre de 2018.] https://www.codelco.com/division-gabriela-mistral/prontus_codelco/2016-02-25/162141.html.
5. **CEMA.** [aut. libro] Conveyor Equipment Manufacturers Association. *Belt Conveyor for bulk material.* Naples, USA : K-Kom INC, 2007.
6. **International Organization for Standardization.** ISO 14244 Collection and exchange of reliability and maintenance data for equipment. *Petroleum and natural gas industries.* Ginebra, Suiza : s.n., 2006.
7. **Aguilar Otero, José, Torres Arcique, Rocío y Magaña Jiménez, Diana.** Análisis de modos de falla, efectos y criticidad (AMFEC) para la planeación del mantenimiento. [En línea] 2010. [Citado el: 10 de Diciembre de 2018.] <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=48215094003>. 0186-6036.
8. **Indura.** Academia Edu. [En línea] [Citado el: 14 de Diciembre de 2018.] <https://www.academia.edu/>.

9. **American Society for nondestructive testing.** Personnel Qualification and Certification in Nondestructive Testing. [aut. libro] ASNT. *ASNT Standards and Practices*. s.l. : ASTM International, 2016.
10. **NDT Education Resource Center.** NDT Education Resource Center. [En línea] [Citado el: 10 de Diciembre de 2018.] https://www.nde-ed.org/EducationResources/CommunityCollege/PenetrantTest/cc_pt_index.php.
11. *Standard Test Method for Liquid Penetrant Examination E 165* . **American Society for Testing and Materials.** West Conshohocken, Pensylvania : ASTM, 1995.
12. **NDT Education Resource Center.** NDT Education Resource Center. [En línea] [Citado el: 10 de Diciembre de 2018.] <https://www.nde-ed.org/EducationResources/CommunityCollege/MagParticle/Introduction/basicprinciples.php>.
13. **Reyes Morales, Mauricio.** *Nivel II de ultrasonido*. Concepción : Profan Ltda, 2010.
14. **Serway, Raymond A. y Jewett, John W.** *Física para ciencias e ingeniería*. Ciudad de México : Cengage Learning, 2008. 978-607-481-357-9.
15. *Standard Test Methods for Rubber Property - Adhesion to Rigid Substrates*. **American Society for Testing and Materials.** West Conshohocken : ASTM, 2003.
16. *Standard Test Method for Rubber Property—Durometer Hardness*. **American Society for Testing and Materials.** West Conshohocken : ASTM, 2015.

17. Red nacional de metrología de Chile. [En línea] [Citado el: 12 de Diciembre de 2018.] <http://www.metrologia.cl/link.cgi/Metrologia/>.
18. International Organization for Standardization. ISO 286-1 Basis of tolerances, deviations and fits. *Geometrical product specifications - ISO code system for tolerances on linear size*. Ginebra, Suiza : s.n., 2010.
19. SKF. *Rodamientos*. Gotemburgo : SKF, 2015.
20. Instituto de Asset Management. PAS 55. [aut. libro] IAM. 2008.
21. Arata, Adolfo. *Confiabilidad Operacional para Magister en Gestión de Activos*. [Documento PDF] Calama : CGS, 2016.
22. *Standard Test Method for Visible Penetrant Examination Using the Water-Washable*. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. West Conshohocken, Pennsylvania : ASTM, 1999.
23. American Society of Mechanical Engineers. *Calderas y Recipientes a Presión en Calderas de Potencia*. [aut. libro] ASME. *Reglas para la construcción de calderas de potencia*. Nueva York : ASME, 2010.
24. *Standard Guide for Magnetic Particle E709*. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. West Conshohocken, Pennsylvania : ASTM, 2008.
25. SKF. [En línea] [Citado el: 13 de 2 de 2019.] <https://www.skf.com/cl/knowledge-centre/engineering-tools/index.html>.