



UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA

PLANIFICACIÓN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO EN MÁQUINA PAPELERA EN
BASE A CONFIABILIDAD

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL MECÁNICO

MATIAS NICOLÁS VALENZUELA HERMOSILLA

PROFESOR GUÍA:

VIVIANA MERUANE NARANJO

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:

ENRIQUE LOPEZ DROGUETT

RODRIGO PASCUAL JIMENEZ

SANTIAGO DE CHILE

2020

RESUMEN DE LA MEMORIA PARA OPTAR
AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL MECÁNICO
POR: MATÍAS NICOLÁS VALENZUELA HERMOSILLA
FECHA: ENERO 2020
PROF. GUÍA.: VIVIANA MERUANE NARANJO

PLANIFICACIÓN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO EN MÁQUINA PAPELERA EN
BASE A CONFIABILIDAD

Papeles Cordillera SpA, empresa ubicada en la comuna de Puente Alto, Santiago, Chile, dedicada a la producción de papel y cartón observó mediante estudios realizados a su proceso productivo, que una de las mayores fuentes de pérdidas de ingresos corresponde al lucro cesante, es decir, la detención de la producción de manera no planificada.

Para solucionar este problema es que se lleva a cabo este trabajo de memoria, donde se analizan las bombas de proceso que forman parte de la Máquina Papelera N°20 (MP20), la principal fuente de producción de la planta de Papeles Cordillera. En este estudio se utilizan métodos de análisis de confiabilidad, donde se recopila información histórica de fallas de los equipos observados, considerando como período de análisis desde el 01 de Enero de 2011 al 31 de Diciembre de 2019. Ya que en la MP20 se cuenta con 229 bombas de proceso, se procede a realizar una priorización de los equipos mediante estrategias de análisis de criticidad como son los diagramas de Pareto y Jack Knife, que consideran el número de fallas que presenta un equipo y el tiempo de detención de la producción que dicha avería generó.

Una vez se cuenta con una priorización de los equipos estudiados, se procede a modelar la vida útil de estos equipos. Lo anterior es realizado mediante métodos estadísticos en donde se ajusta la curva de la vida útil de un elemento o componente con una curva ya conocida, en nuestro caso la curva de Weibull. Para comprobar que el ajuste realizado es correcto, es decir, la vida útil del equipo estudiado efectivamente puede ser modelado con una curva de Weibull, se lleva a cabo una prueba de bondad de ajuste, el test de Mann, que permite verificar mediante métodos estadísticos si nuestros tiempos de falla describen la curva propuesta.

Mediante un estudio de la estructura de costos que define el mantenimiento tanto correctivo como preventivo, se procede a estimar la frecuencia de reemplazo preventivo de componentes críticos en los equipos estudiados. Estos cambios preventivos luego son programados para ser realizados en un horizonte de 3 años para permitir hacer una comparación de los costos en caso de mantener la situación actual vs la situación con la implementación del plan de mantenimiento preventivo creado. A partir de esta comparación de costos de ambos escenarios es posible indicar que una estrategia de mantenimiento preventivo en los equipos escogidos corresponde a una mejora respecto a la situación actual en costo asociado al mantenimiento, y por consiguiente, en disponibilidad de producción dentro de la MP20.

Tabla de Contenido

Capítulo 1: Introducción	1
1.1. Introducción	1
1.2. Objetivos.....	2
1.2.1. Objetivo general.....	2
1.2.2. Objetivos específicos.....	2
1.2.3. Alcances.....	2
Capítulo 2: Antecedentes	3
2.1. Antecedentes de la empresa	3
2.1.1. CMPC S.A.....	3
2.1.2. Papeles Cordillera SpA.....	3
2.2. Antecedentes teóricos.....	9
2.2.1. Mantenimiento.....	9
2.2.2. Análisis de confiabilidad.....	14
2.2.3. Modelo de Weibull para confiabilidad.....	16
2.2.4. Selección de estrategia de mantenimiento.....	17
2.2.5. Diagrama de Pareto.....	20
2.2.6. Diagrama de Jack Knife.....	22
Capítulo 3: Metodología	24
3.1. Recopilación de datos históricos	24
3.2. Estimación de parámetros de Weibull.....	30
3.3. Prueba de Bondad de Ajuste	31
Capítulo 4: Resultados	32
4.1. Análisis de fallas	32
4.2. Modos de falla.....	35
4.3. Selección de estrategia de mantenimiento	74
4.4. Planificación del mantenimiento preventivo	93
Capítulo 5: Discusión y conclusiones	97
Bibliografía	99
Anexo A1	100
Anexo A2	106

Capítulo 1

Introducción

1.1. Introducción

En la actualidad, una parte esencial del trabajo realizado en la industria en general corresponde al mantenimiento de los equipos involucrados en la producción. Este mantenimiento es realizado debido a que, a lo largo de su uso, los activos sufren deterioros que son propios de la operación a la que se ven sometidos, por lo que las reparaciones de componentes o el reemplazo completo de equipos son actividades que se encuentran ya contempladas como necesarias para el correcto desempeño del negocio.

En Papeles Cordillera SpA, el área de Planificación y Confiabilidad es la encargada de la toma de decisiones respecto de la reparación y cambio de los activos de la máquina papelera N°20 (MP20), que corresponde a la encargada de la producción desde su materia prima -ya sea papel reciclado o celulosa- hasta el producto final que corresponde a papel de distintas variedades dependiendo de la materia prima y el setup de la máquina.

Dentro de las tareas realizadas por el área de Planificación y Confiabilidad se incluye la reparación y reemplazo de equipos de manera tanto correctiva como preventiva. Para poder realizar trabajos de forma preventiva se debe hacer un análisis de la vida de los distintos componentes a lo largo del tiempo, por lo que contar con información histórica es de suma importancia. Es por esto que a finales del año 2010 se implementó en la empresa el uso del sistema SAP para el seguimiento de los activos utilizados en la MP20.

Según estudios realizados previamente por el área de Producción de Papeles Cordillera SpA, el lucro cesante corresponde a la mayor fuente de pérdidas en el proceso productivo, por lo que en el área de Mantenimiento el esfuerzo se ha centrado en reducir el tiempo de detención de la MP20 mediante la implementación de planes de mantenimiento preventivos, ya que la reparación y el reemplazo de equipos de manera correctiva toma más tiempo que cuando es realizado de manera preventiva, debido principalmente a la preparación del mantenimiento (disposición de repuestos para mantenimiento, llamado de personal en caso de que la falla se presente fuera de horas hábiles, coordinación entre distintas áreas, etc.).

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo General

Diseñar un plan de mantenimiento preventivo para bombas de proceso críticas, mediante análisis de confiabilidad basado en información histórica de fallas y estudio económico de las variables involucradas en la producción.

1.2.2. Objetivos Específicos

- Realizar análisis de confiabilidad en base a información histórica.
- Definir estructura de costos de componentes estudiados.
- Estimar frecuencia óptima de mantenimiento preventivo de bombas a partir de la información anterior.
- Realizar estudio de sensibilidad para estimar ganancia económica producto de nueva frecuencia de cambio.

1.3. Alcances

El trabajo de memoria a realizar se enfocará en las bombas de proceso de la máquina papelería N°20 (MP20) de la empresa Papeles Cordillera SpA, a partir de la información histórica recolectada por la empresa desde el año 2011 al 31 de Diciembre de 2019.

Capítulo 2

Antecedentes

2.1. Antecedentes de la empresa

2.1.1. CMPC S.A.

CMPC es una Sociedad Anónima abierta, fue creada por el Decreto Supremo N°589, el 12 de marzo de 1920. Su origen es producto de la fusión de las empresas productoras de papel Ebbinghaus, Hansel & Cía. y la Comunidad Fábrica de Cartón Maipú.

Posee más de 7.000 accionistas distribuidos en 200 millones de acciones. Se encuentra inscrita en el Registro de Valores de la Superintendencia de Valores y Seguros (SVS), estando sujeta a su fiscalización.

La compañía produce y comercializa rollizos (aserrables y pulpables) y maderas remanufacturadas y terciadas, celulosa blanca fibra larga y fibra corta, papeles gráficos, papel periódico, cartulinas y papeles para corrugar, productos tissue, pañales y toallas higiénicas, cajas de cartón corrugado, bandejas de pulpa y sacos de papel.

La gran mayoría de las marcas registradas por la empresa están asociadas a productos del negocio tissue: Babysec para pañales de niños, Cotidian para pañales de adultos. Para servilletas: Confort, Elite, Noble, Nova, Higienol, Sussex y Orquídea, ladysoft para protección femenina y Equalit para papel de fotocopia.

CMPC es una industria forestal integrada, la cual opera como un holding a través de cinco centros de negocios:

- Forestal Mininco.
- CMPC Celulosa.
- CMPC Papeles.
- CMPC Tissue.
- CMPC Productos de Papel.

Cada una de estas áreas funciona de manera independiente, encontrándose en el holding de la compañía la coordinación general y la administración financiera de estos negocios.

Abastecimiento, sistemas computacionales y otros relacionados a soporte administrativo, están centralizados a Servicios Compartidos CMPC S.A.

2.1.2. Papeles Cordillera SpA

Papeles Cordillera SpA. es una filial de CMPC S.A. ubicada en la comuna de Puente Alto a 20 km. al sudeste de Santiago de Chile, es una compañía de reconocida trayectoria en la industria del papel, comercializa alrededor de 320 mil toneladas al año de una variada gama de papeles.

Fundada en el año 1920, es una de las cuatro plantas ubicada en la comuna de Puente Alto, compartiendo instalaciones con la planta CMPC Tissue, CMPC Productos de papel y SOREPA. La fábrica antiguamente contaba de un total de cinco máquinas papeleras, de las cuales cuatro fueron dadas de baja, correspondiente a la máquina de papeles para corrugar, cuya producción anual estimada es de 280.00 ton/año, utilizando para la fabricación de los productos, el papel reciclado y celulosa en fardos como materia prima.

Dentro de los productos que se crean en la empresa se encuentran diversas gamas de papeles, los que se caracterizan por parámetros de producción como el gramaje, velocidad y ancho. En total existen seis grandes familias de papel, estos son:

- Liner blanco.
- Liner blanco económico.
- Construcción.
- Tesliner.
- Liner Cordillera.
- Onda

Papeles Cordillera es una planta que desde el año 2001 se encuentra certificada de acuerdo a la norma ISO 14.001, pues posee un sistema de gestión ambiental, además de contar desde el año 2000 con la certificación ISO 9001 correspondiente a gestión de calidad.

A partir de agosto del 2015 se dio inicio a la puesta en marcha de Planta de Cogeneración con el “Primer Encendido”, concluyendo en el mes de octubre. La planta de cogeneración está formada principalmente por el turbogenerador Rolls-Royce y la Caldera Recuperadora NEM, la que tiene una eficiencia energética superior al 70% y con capacidad de generar hasta 50 MW. Esto permitió a Papeles Cordillera cubrir la totalidad del consumo energético del complejo y obtener una cantidad de vapor de 60 toneladas por hora.

2.1.2.1. Misión de Papeles Cordillera SpA

“Nuestra misión es proveer a nuestros clientes, orientados a la excelencia del producto y del servicio. Es por eso que la empresa no sólo desarrolla productos de primera calidad utilizando para su fabricación las mejores materias primas, obteniendo así papeles con los más altos estándares de calidad, sino que además ha adquirido un real compromiso de servicio con cada uno de sus clientes internos y externos.

Un importante desafío para la compañía es ofrecer productos especializados que sirvan a cada cliente de acuerdo a sus necesidades.”

2.1.2.2. Ubicación de Papeles Cordillera SpA

La planta de Papeles Cordillera SpA. está ubicada en Avenida Eyzaguirre 01098, aproximadamente a 20 km al sudeste de Santiago de Chile, en la comuna de puente Alto de la región metropolitana. La principal ruta de acceso desde Santiago a la planta es a través de Avenida Vicuña Mackenna, luego Avenida Concha y Toro, para finalmente llegar a Avenida

Eyzaguirre, las coordenadas de acceso a la planta son: 33°36'39" S, 70°33'49" O, a una elevación de 711 metros sobre el nivel del mar.

En la Figura 2.1 se puede apreciar la ubicación específica de la planta, donde además se indica la ubicación de la máquina papelera MP-20, única máquina papelera que se encuentra operación y que será estudiada a lo largo de este trabajo de título.



Figura 2.1: Ubicación MP20

2.1.2.3. Proceso productivo de Papeles Cordillera SpA

Los parámetros operacionales de la máquina papelera MP-20, se definen según los parámetros mostrados en la Tabla 2.1:

Gramajes	110-300 [g/m ²]
Velocidad	450-1000 [m/min]
Ancho total del pope	4960 mm Papeles café 5080 mm Papeles construcción
Ancho útil bobinadora	4900 mm Papeles para corrugar 5040 mm Papeles Ivory
Diámetro en bobinadora	1450 – 1800 mm
Ancho mínimo de un rollo	2500 mm (con diámetro de 1,45 m)
Ancho máximo de un rollo	450 mm (con diámetro de 1,45 m) 600 mm (con diámetro de 1,80 m)
Número de cortes longitudinales	5 cortes
Ancho mínimo de corte	580 mm
Diámetro de bobina	3 y 4"

Tabla 2.1: Descripción proceso productivo Papeles Cordillera

El proceso productivo propiamente tal, se puede clasificar en las siguientes etapas:

- **Materias primas:** durante esta etapa se adquieren, acopian y clasifican todas las materias primas. Clasificando el papel reciclado según forma, tamaño, color, entre otras características, luego se realiza el proceso de carga en un pulper, dando inicio al proceso productivo.
- **Preparación pastas:** en esta etapa se disuelve la materia prima (celulosa o papel reciclado) por medio de la incorporación de agua en el pulper, para ello se bate el material por medio de la agitación y suspensión en el agua, luego, para el papel reciclado, se procede a depuración, etapa que permite la eliminación de impurezas. Finalmente, se refina el material, obteniéndolo con una gran limpieza y en condiciones para la siguiente etapa. En la Figura 2.2 se representa a grandes rasgos el proceso descrito.

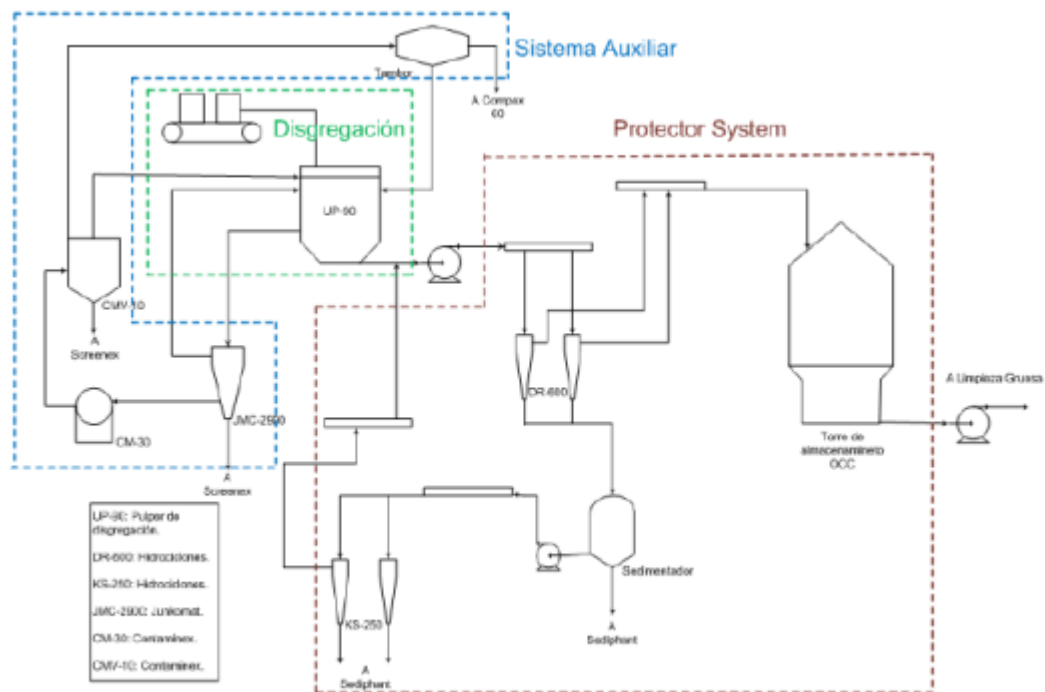


Figura 2.2: Diagrama sector preparación pasta

- **Caja de entrada:** Es acá donde empieza el proceso en la máquina papelera como tal, es de vital importancia ya que determina el perfil y la formación de la hoja. Está compuesto de tres partes principales: distribuidor, cuerpo interior y labios de salida. En la Figura 2.3 se tiene una representación esquemática de la etapa 3, donde se observa que se cuenta con una doble línea de tratamiento, denominadas cara y reverso, debido a que una vez que la pasta entra a cada uno de los cajones de entrada 9 y sale por el extremo opuesto, pliegan el papel, dándole el gramaje y dimensión especificada.

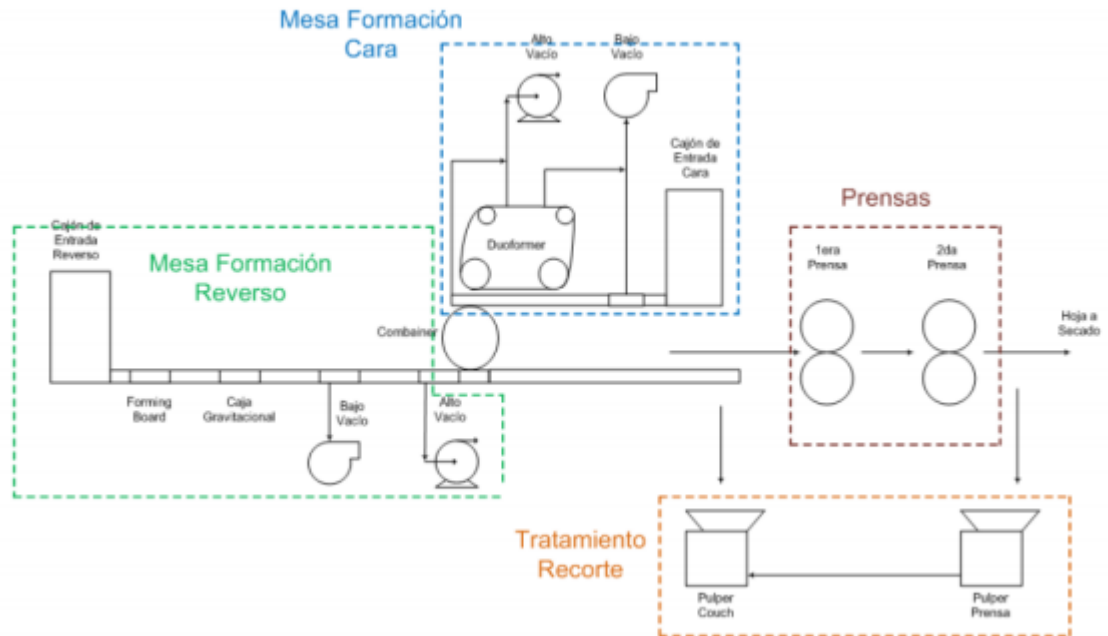


Figura 2.3: Diagrama sector caja de entrada

- Sección prensas: el proceso de prensado consiste en transferir una parte del agua de la hoja. Se divide en cuatro subetapas.
 - Comienzo de la compresión de la hoja y el fieltro.
 - La presión hidráulica comienza a crecer y el agua fluye hacia el fieltro.
 - La presión comienza a disminuir como consecuencia de la expansión de la hoja.
 - Tanto el papel como el fieltro se expanden, por lo que el papel deja de estar saturado de agua.
- Secado: en esta etapa se busca quitar el agua de las fibras. Consta de cuatro subetapas.
 - Ciclo de secado en cuatro fases.
 - Transmisión de calor.
 - Cilindro secador.
 - Secado del papel tissue.

En la Figura 2.4 se tiene un esquema de la etapa de secado de papel, donde la parte superior corresponde al área de aerotermia, es decir se aprovecha la energía calórica contenida en el aire. En el bloque de la zona media, se encuentran todos los grupos de secado, con sus respectivos rodillos.

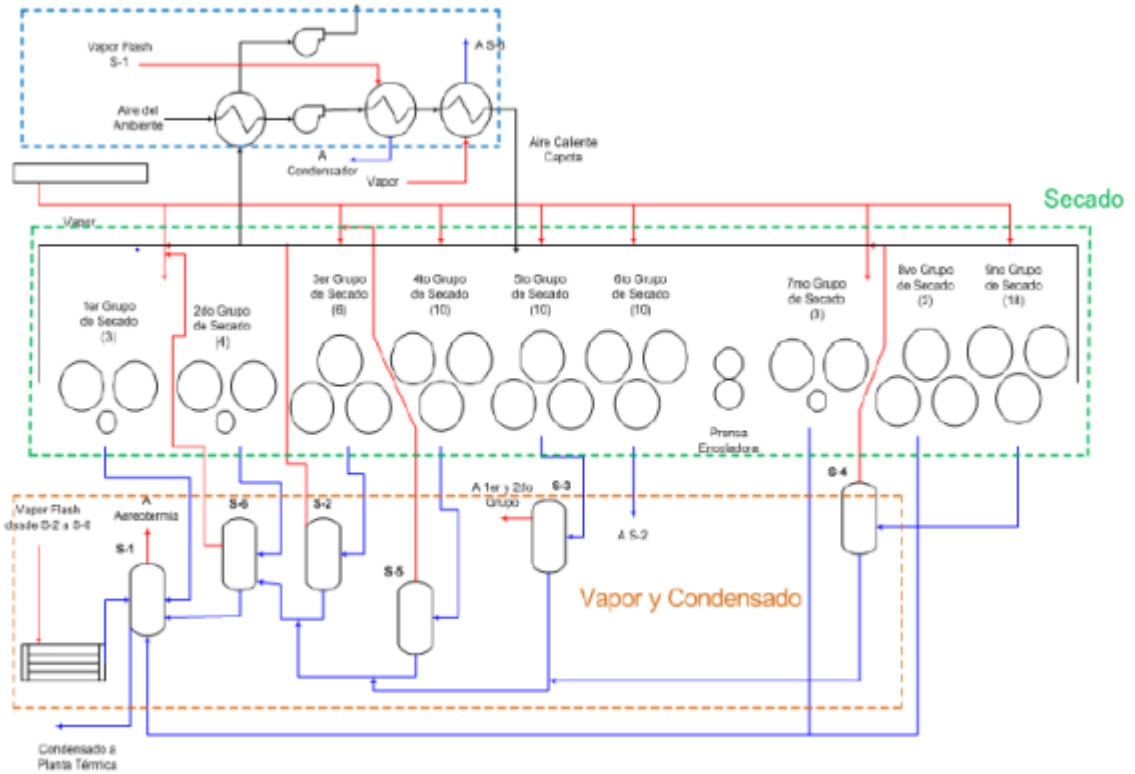


Figura 2.4: Diagrama sector secado

- Acabado de papel en máquina: Durante este proceso se pasa el papel entre rodillos de acero, de manera de igualar el espesor de papel. La serie de rodillos se suele llamar “lisa” y se componen por un total de 3 a 8 rodillos de fundición dura, rectificadas y pulidos. Luego se produce el enrollado al final de la máquina por medio de la enrolladora de tambor-soporte. Esta etapa debe ser continua, de tal forma que el intercambio de rollo no interrumpa el proceso y además la tensión debe ser la adecuada, evitando la rotura del papel y la posible formación de arrugas.
- Acabado de papel fuera de máquina: en esta etapa se produce el bobinado (enrollado del papel), proceso que permite facilitar las tareas posteriores a la máquina, como lo son el transporte, cortado y embalaje. Este proceso debe tener una velocidad de unas 3 veces mayor que la de máquina, con el fin de seguir su ritmo. Además, es durante el cortado que se le asigna el ancho y diámetro requerido por el cliente.

En la Figura 2.5 se presenta un esquema de la zona de acabado de papel dentro y fuera de la máquina. El producto final corresponde a rollo denominado “jumbo”, el cual posee dimensiones tan grandes como la máquina permita.

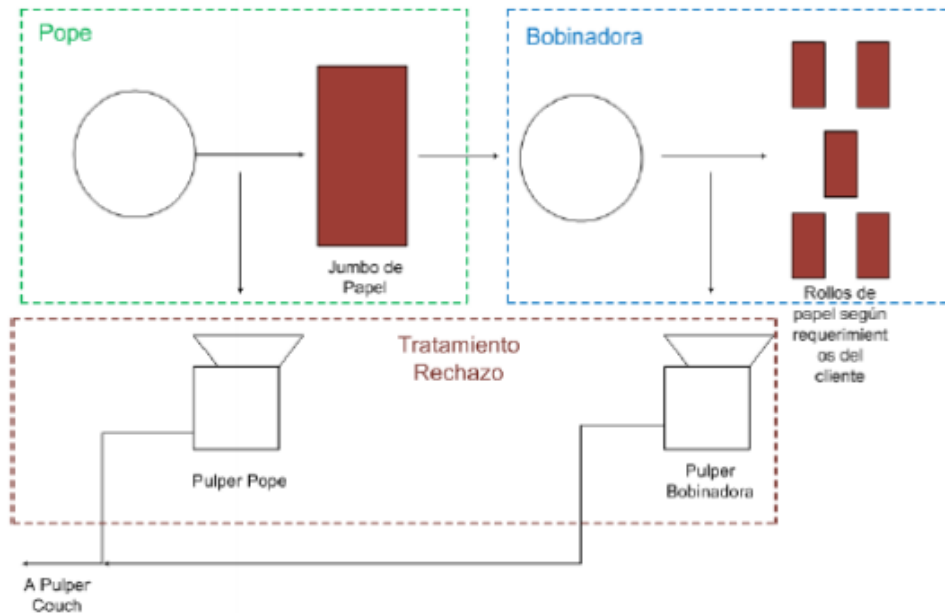


Figura 2.5: Diagrama sector acabado

2.2. Antecedentes teóricos

2.2.1. Mantenimiento

El mantenimiento constituye un sistema vital dentro de toda instalación industrial. Una de sus funciones consiste en reparar, ajustar, reemplazar o modificar los componentes presentes en cualquier planta industrial para que la misma tenga la capacidad de operar satisfactoriamente durante el periodo que se determine y al mismo tiempo asegurar que los parámetros del proceso productivo se mantengan en los niveles esperados, tanto en calidad del producto final como en los indicadores de seguridad laboral, respeto a las leyes de cuidado del medioambiente y la totalidad de factores que afectan el funcionamiento de una planta industrial.

El objetivo de la aplicación de mantenimiento dependerá netamente de lo esperado por la empresa que lo esté implementando, pero a grandes rasgos se pueden destacar dos grandes enfoques hacia los cuales se apunta al momento de decidir el tipo de mantenimiento que se pondrá en práctica:

- **Disponibilidad:** La disponibilidad en el mantenimiento es definida como la proporción de tiempo en que la instalación se encuentra en condiciones para producir, independientemente si la producción se llevó a cabo por razones ajenas a su estado, con respecto a la cantidad de tiempo que la instalación debió estar habilitada para su funcionamiento.

En este caso, el objetivo más importante es asegurar que la planta se encontrará en condiciones de producir durante una cierta cantidad de horas al año. Cabe destacar que esto no necesariamente implicará buscar un 100% disponibilidad, ya que, aunque es

posible en teoría, los costos para lograrlo pueden generar que la producción deje de ser rentable. Es por esto que en la mayoría de los casos se definen metas de disponibilidad que permitan un equilibrio entre las horas de producción pérdidas y el presupuesto que se asignará al mantenimiento.

Es de gran importancia el cómo se mide la disponibilidad de una operación, ya que se cuenta con muchos factores que se deben tener en cuenta, como por ejemplo cuál es el n° de horas totales de capacidad de producción, cuál será el n° de horas de indisponibilidad de producción, si dentro de dichas horas de indisponibilidad se consideran fallas de equipos que detengan la producción y/o mantenimientos programados.

Este enfoque es muy utilizado en plantas que funcionan durante las 24 horas del día, 7 días a la semana, como es el caso de Papeles Cordillera SpA, donde se utiliza este indicador para medir la gestión realizada por el área de Mantenimiento y Planificación.

- **Confiabilidad:** El mantenimiento basado en confiabilidad tiene como indicador principal la capacidad de la planta de cumplir su plan de producción presupuestado. En instalaciones que utilizan este enfoque, el no cumplimiento del programa productivo puede acarrear pérdidas monetarias ya sea por pérdida de clientes o penalizaciones monetarias.

Los principales factores a considerar al momento de implementar este enfoque de mantenimiento son las horas de producción totales disponibles, y las horas de producción perdidas o de menor producción debido a fallas, y por consecuencia, las horas asignadas a la atención y solución de dichas fallas. Para lograr un correcto seguimiento de este indicador se debe definir claramente la distinción entre mantenimientos programados y los no programados.

En las empresas que utilizan este tipo de mantenimiento se busca una alta confiabilidad, ya que el costo asociado a una falla suele ser muy alto.

Para lograr una correcta gestión del mantenimiento, se cuenta con distintas estrategias que pueden ser implementadas dentro de un proceso productivo, las cuales se detallan a continuación.

2.2.1.1. Mantenimiento Correctivo

Este tipo de mantenimiento es realizado cuando ha ocurrido una falla en el equipo o componente, y esta es solucionada generalmente con el reemplazo de la unidad que presentó la avería, con tal de poder retomar la operación de dicha unidad a la brevedad posible.

A priori puede parecer una de las políticas de mantenimiento más económica, ya que cuenta con varias ventajas desde el punto de vista operacional, tales como:

- **Mayor tiempo entre mantenciones:** La principal ventaja del mantenimiento correctivo es que permite que los equipos operen hasta que estos fallan, alargando el tiempo entre mantenciones.

- **Reducción del coste de las reparaciones:** Dado que este mantenimiento solo se produce cuando la máquina falla, los trabajos de reparación no suelen ser muy frecuentes. El único gasto se produce en el momento de la intervención, sin que la empresa tenga que destinar presupuesto a las actividades de prevención. Eso sí, a la larga puede salir más caro.
- **Más tiempo trabajando:** En ocasiones, la avería de la máquina no impide su funcionamiento, aunque, ciertamente, puede que lo haga por debajo del rendimiento normal.
- **Mejora en la gestión de compras:** Después de realizar el mantenimiento correctivo por causa de alguna avería, el equipo debe aportar la información resultante sobre la incidencia. Si se hace con inteligencia, esto va a servir para programar con tiempo la compra de los repuestos necesarios.
- **Carga de trabajo del personal:** El hecho de que el personal tenga que trabajar en buenas condiciones para que el mantenimiento sea efectivo suele provocar que se conformen equipos muy fiables, altamente especializados para poder afrontar sus tareas con seguridad.

A pesar de lo anterior, este tipo de mantenimiento cuenta con ciertas desventajas que lo hacen indeseable, sobre todo en una operación continúa como la que se lleva a cabo en Papeles Cordillera SpA. Estas desventajas se nombran a continuación:

- **Pérdida de producción:** Obviamente, cuando la maquinaria de una planta de producción falla, todo el proceso se detiene. Por muy eficiente que sea el mantenimiento correctivo, la producción va a sufrir un retraso que afectará a la planificación desarrollada.
- **Sobrecoste de mano de obra:** Cuando la maquinaria comienza a actuar de manera incorrecta, la empresa debe destinar a una parte de sus trabajadores para repararla. La urgencia que suele existir, para que la producción no se retrase, provoca que, muchas veces, se deban pagar horas extras o, incluso, contratar a personal ajeno.
- **Atraso en planes de mantenimiento:** Aunque depende mucho del tamaño de la empresa, en muchas los técnicos de mantenimiento son escasos. Si, por una avería, deben dedicarse a hacer trabajos correctivos, el mantenimiento preventivo se ve retrasado.
- **Sobrecoste en compras de repuestos:** A pesar de que sería deseable, es casi imposible que la empresa tenga en almacenaje todos los repuestos que pueden llegar a ser necesarios para solventar una avería. Esta circunstancia obliga a que, ante la necesidad de una intervención correctiva, se tenga que comprar de urgencia. La

necesidad puede hacer que no haya tiempo suficiente para comparar precios o para negociar con el proveedor y acabar adquiriendo una pieza más cara.

2.2.1.2. Mantenimiento Preventivo

Como su nombre lo indica el mantenimiento preventivo se diseñó con la idea de prever y anticiparse a los fallos de las máquinas y equipos, utilizando para ello una serie de datos sobre los distintos sistemas, sub-sistemas y componentes.

Bajo esa premisa se diseña el programa con frecuencias calendario o uso del equipo, para realizar cambios de sub-ensambles, cambio de partes, reparaciones, ajustes, cambios de aceite y lubricantes, etc., a maquinaria, equipos e instalaciones y que se considera importante realizar para evitar fallos.

Dentro de las principales ventajas que presenta un enfoque preventivo se destacan las siguientes:

- **Reducción de fallas y tiempos muertos:** Al programar el mantenimiento del equipo previo a que este presente una avería, se evita la falla en sí y también se reduce el tiempo en preparar el mantenimiento, ya sea en desconexiones eléctricas, traslado de equipos a terreno, etc.
- **Disminución de mantenimiento correctivo:** Cuando se ejecutan los planes de mantenimiento preventivo de manera correcta, se reduce la cantidad de intervenciones correctivas o inesperadas que deben realizarse.
- **Programación y preparación:** Al ser un mantenimiento planeado con anterioridad, es posible programarlo para ser realizado en ciertas fechas y crear un plan de mantenimiento.

Por otro lado, las desventajas que presenta esta política de mantenimiento pueden resumirse como las siguientes:

- **Dificultad de diagnóstico de componentes:** Es más complejo diagnosticar el nivel de desgaste que sufren las piezas que forman los diversos equipos.
- **Necesidad de personal de confiabilidad calificado:** Se ha de buscar un personal mucho más especializado y las recomendaciones del fabricante cobran especial valor. De lo contrario, este tipo de mantenimiento será poco eficaz y muy costoso.

2.2.1.3. Mantenimiento Predictivo

El mantenimiento predictivo es un conjunto de actividades de monitoreo y seguimiento continuo al funcionamiento y condiciones de un equipo, sistema o área, lo que permite una detección casi inmediata de cualquier anomalía que se presente durante la producción.

Este concepto se basa en que la mayoría de las fallas no ocurren de manera repentina, sino que se desarrollan a lo largo de un período de tiempo, y en muchos casos, presentan indicios de que se encuentran ocurriendo, como son la vibración, ruidos anormales y variaciones de temperatura.

Este tipo de mantenimiento presenta una gran variedad de maneras de implementación, ya que puede ejecutarse de manera muy básica contando con un inspector de condiciones que realice chequeos sin instrumentación especializada, o bien se puede instalar sensores de monitoreo de condiciones en todos los equipos relevantes. Todo esto dependerá del presupuesto que se tenga asignado al mantenimiento.

Las principales ventajas que presenta el mantenimiento predictivo son:

- **Diagnósticos precisos de condición de componentes:** El monitoreo continuo del componente permite saber de manera certera cuando este se encuentra próximo a una falla, por lo que no es necesario realizar cambios antes de que se presente la falla, generando un ahorro en repuestos.
- **Facilidad de programación del mantenimiento:** Debido al seguimiento que se realiza en los equipos y su evolución a lo largo del tiempo, esta estrategia permite programar las actividades de mantenimiento con anticipación y la preparación frente a posibles deterioros del equipo.
- **Gran cantidad de datos respecto a vida útil de equipos:** La implementación de mantenimiento predictivo genera gran cantidad de registros respecto a la condición de los equipos a lo largo de su operación, lo que permite hacer planes de acción en base a dicha información histórica.

Por otro lado, las desventajas que presenta el mantenimiento predictivo se detallan a continuación:

- **Costo de implementación:** En general, los costos asociados a la implementación de una estrategia de mantenimiento predictivo suelen ser altos, independientemente si se trata de un monitoreo básico o un sistema de monitoreo de gran envergadura.
- **Necesidad de personal altamente calificado:** Ya sea para realizar inspecciones o para operar los instrumentos y equipos necesarios para ejecutar el monitoreo, debe considerarse personal que cuente conocimientos y experiencia con estrategia de mantenimiento.

Es importante destacar que estas estrategias de mantenimiento no son necesariamente exclusivas entre sí, sobre todo en instalaciones de gran envergadura con equipos de distinta relevancia, ya que se puede contar con mantenimiento predictivo en componentes críticos para el funcionamiento del proceso, mientras que en equipos que se encuentran en sistemas redundantes, que no son indispensables para la producción y no presentan riesgos a la seguridad, pueden seguir un régimen de mantenimiento correctivo.

La decisión de qué tipo de mantenimiento seguir y donde se implementará es una de las tareas claves del área de Mantenimiento y Planificación, para asegurar el correcto desarrollo del proceso productivo y mantenerse apegado al presupuesto económico.

2.2.2. Análisis de confiabilidad

La **Confiabilidad** de un componente en el instante t , $R(T)$, es la probabilidad de que un ítem no falle en el intervalo $(0, t)$, dado que era nuevo o como nuevo en el instante $t = 0$. Un componente puede tener diferentes confiabilidades, asociadas a diferentes funciones.

La confiabilidad entonces es definida como:

$$R(t) = \Pr\{T \geq t\}$$

Donde T es el tiempo de falla, $R(t) \geq 0$ y $R(0) = 1$

De igual manera, se define la **Probabilidad acumulada de falla** $F(T)$ como la probabilidad de que un ítem falle en el intervalo $(0, t)$. Entonces:

$$F(t) = 1 - R(t) = \Pr\{T < t\}$$

La **Tasa de falla**, $\lambda(t)$, se define como como el número de fallas por unidad de tiempo. Consideremos un grupo de N componentes, en un tiempo t se han producido un total k fallas. El tiempo acumulado, T , viene dado por $N \cdot t$ y la tasa de falla estimada viene dada por:

$$\lambda = \frac{k}{T}$$

En la Figura 2.6 se muestra la “Curva de la bañera”, en la cual se muestra la variación de la tasa de falla de un componente a lo largo del tiempo, y permite caracterizar la falla según su ubicación en la curva.

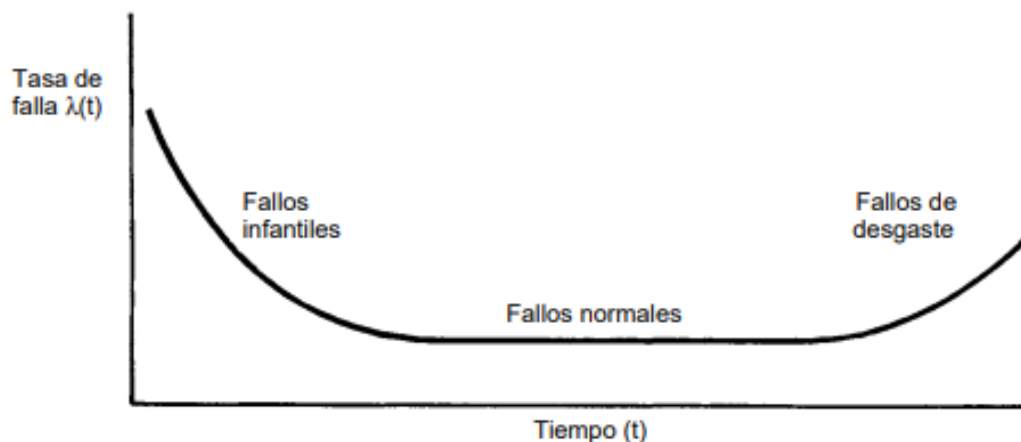


Figura 2.6: Curva de la bañera. Fuente: “Apunte Curso ME5701” Viviana Meruane

A continuación, se describen las distintas partes de la curva de la bañera.

- **Fallas tempranas o infantiles:** Se representan por la primera parte de la curva, las tasas de falla están asociadas con equipo nuevo y pueden ser causadas por partes faltantes, falta de capacitación de las personas que instalan el equipo, daño causado a los aparatos o dispositivos, o fallas por defectos de fabricación de las máquinas y por insuficiente asentamiento de las piezas o uniones.
- **Fallas aleatorias o normales:** Este tipo de fallas son inesperadas y pueden surgir por sobrecargas o averías, causadas por factores externos que generan las fallas de las piezas. En esta zona de la curva se estima que los componentes estudiados pueden sufrir fallas de forma aleatoria en su funcionamiento.
- **Fallas por desgaste u obsolescencia:** Se representan por la tercera parte de la curva y son las fallas debido a la obsolescencia del equipo ya sea por edad, fatiga, corrosión, abrasión, deterioro mecánico, hidráulico, o un bajo nivel de mantenimiento y reparación.

El **Tiempo medio para fallar** (*MTTF* por sus siglas en inglés, Medium Time To Failure) se define para un periodo determinado de tiempo en la vida de un componente como la razón entre el tiempo total acumulado y el número de fallas. Se calcula como la razón entre el tiempo total acumulado y el número de fallas.

$$MTTF = \frac{T}{k} = \frac{1}{\lambda}$$

El tiempo de paradas es el tiempo que el componente se encuentra detenido por una falla. El **Tiempo Medio de Paradas** (*MDT*) incluye el **Tiempo Medio para Reparar** (*MTTR*) que es función del diseño, herramientas disponibles, destreza y capacitación del personal, y del **Tiempo Medio de Espera** (*MWT*) que es función de la administración y el tiempo que se demore en detectar la falla.

Otro parámetro útil es la tasa de reparación (μ). Que es simplemente el tiempo medio para reparar expresado como una tasa:

$$\mu = \frac{1}{MTTR}$$

A partir del *MTTF* y *MTTR* se define el concepto de **Tiempo Medio Entre Fallas** (*MTBF* por sus siglas en inglés, Medium Time Between Failures), y corresponde a la suma entre el *MTTR* y el *MTTF*. Esto se puede observar en la Figura 2.7.

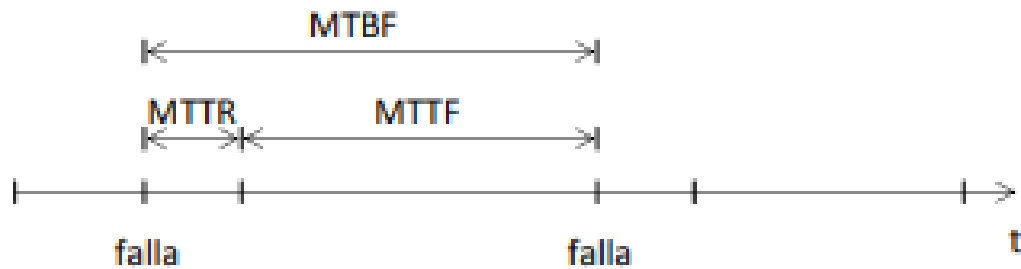


Figura 2.7: Desglose MTBF

En general, el $MTTR \ll MTTF$ y el $MTBF \approx MTTF$.

2.2.3. Modelo de Weibull para confiabilidad

Una de las distribuciones de probabilidad más utilizada para realizar análisis de confiabilidad es la distribución de Weibull, la cual es usada para modelar tasas de falla tanto crecientes como decrecientes. En este modelo la tasa de fallas se expresa como se observa a continuación.

$$\lambda(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t}{\eta} \right)^{\beta-1}$$

Donde $\eta > 0$, $\beta > 0$, $t \geq 0$

Los parámetros que componen a la distribución de Weibull son:

- **Parámetro de forma β :** El parámetro de forma en la distribución de Weibull indica el comportamiento de la tasa de falla del equipo estudiado, ya que cuando $\beta < 1$, esto indica que la tasa de falla va disminuyendo con el tiempo, mientras que cuando $\beta = 1$, la tasa de falla del equipo es constante en el tiempo, y en el caso en que $\beta > 1$, esto indica que la tasa de falla del equipo va en aumento, es decir, este se encuentra en deterioro. Esto se encuentra directamente con la “curva de la bañera”, según como se observa en la Figura 2.8.

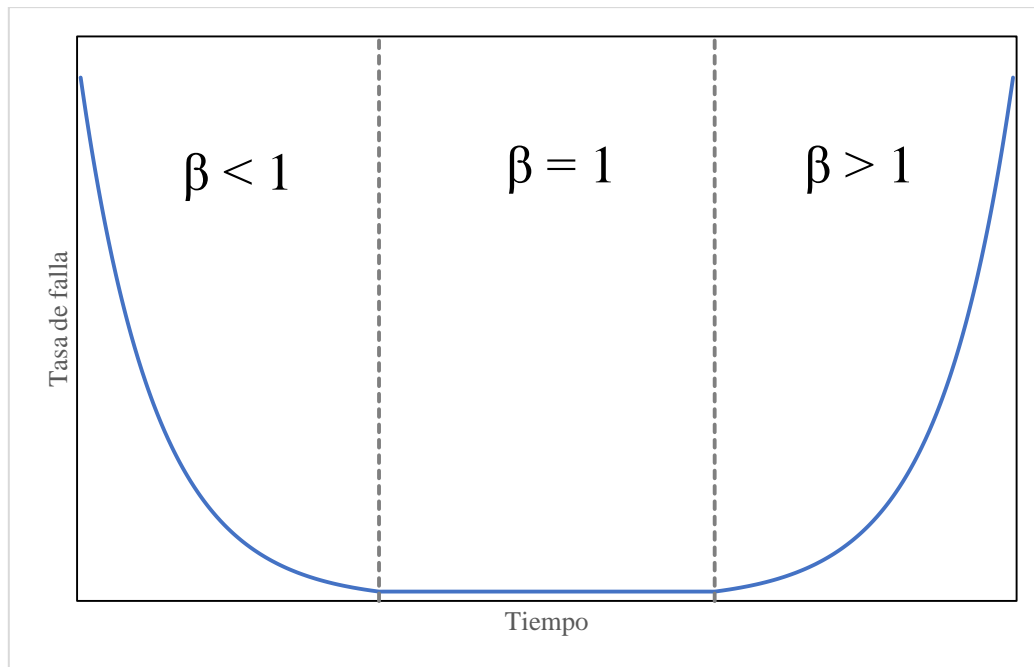


Figura 2.8: Curva de la bañera en modelo de Weibull

Parámetro de escala η : El parámetro de escala es un indicador de la dispersión de la distribución. Cuando se realiza un análisis de confiabilidad, sin importar cuál sea el parámetro de forma, cuando $t = \eta$ habrán fallado el 63,2% de las unidades estudiadas.

Para verificar que la distribución de Weibull efectivamente es un buen modelo para representar la vida de los componentes estudiados se realizará una prueba de bondad de ajuste estadística, la que compara la hipótesis nula (H_0), con una hipótesis alternativa (H_1), de la siguiente manera:

H_0 : Los tiempos de falla estudiados vienen de la distribución utilizada

H_1 : Los tiempos de falla estudiados **no** vienen de la distribución utilizada

La prueba consiste en calcular un valor estadístico a partir de las muestras de los tiempos de falla. Este valor luego es comparado con un valor crítico obtenido de tablas estadísticas utilizadas para este fin. Generalmente, si el valor calculado es menor que el valor crítico, se acepta la hipótesis nula (H_0). En caso contrario, la hipótesis alternativa (H_1) es aceptada.

El valor crítico dependerá del nivel de significancia de la prueba y el tamaño de la muestra de datos. El nivel de significancia es la probabilidad de rechazar erróneamente la hipótesis nula, aceptando la hipótesis alternativa.

2.2.4. Selección de estrategia de mantenimiento

Para realizar la elección de la estrategia de mantenimiento se debe tener en cuenta, además del análisis de confiabilidad, la estructura que tienen los costos implicados tanto en el

mantenimiento correctivo como en el preventivo. A continuación, se definen los costos que se deben considerar en cada uno de los casos:

- **Costo de Intervención (C_i):** Incluye los gastos que deben realizarse por concepto de la intervención del equipo en sí, como por ejemplo la mano de obra interna y externa necesaria para realizar el trabajo, los repuestos en bodega o comprados con tal de llevar a cabo la mantención, y los materiales fungibles que hayan sido utilizados en el trabajo.
- **Costo de Falla (C_f):** Corresponde a las pérdidas de utilidades originadas de la falla del equipo, lo que puede producir la detención de la operación, pérdida de materias primas, baja en la calidad del producto o pérdida de negocios.

Tomando en cuenta los costos anteriores, se define el costo de una intervención por mantenimiento preventivo y por mantenimiento correctivo.

- **Mantenimiento Preventivo:** Ya que la operación de la MP20 es continua, es decir, idealmente debería ser durante 24 horas y los 7 días de la semana, en el costo relacionado al mantenimiento preventivo se debe considerar el Costo de Intervención (C_i) y el Costo de Falla (C_f).

$$C_p = C_{i,p} + C_{f,p}$$

Donde:

C_p = Costo de mantenimiento preventivo

$C_{i,p}$ = Costo de intervención en caso preventivo

$C_{f,p}$ = Costo de falla en caso preventivo

- **Mantenimiento Correctivo:** Al igual que en el caso de la intervención preventiva, el costo de una intervención correctiva debido a una falla imprevista tiene dos componentes; el Costo de Intervención (C_i) más el Costo de Falla (C_f).

$$C_c = C_{i,c} + C_{f,c}$$

Donde:

C_c = Costo de mantenimiento correctivo

$C_{i,c}$ = Costo de intervención en caso correctivo

$C_{f,c}$ = Costo de falla en caso correctivo

Para comparar ambas estrategias de mantenimiento, se obtiene el costo total esperado por unidad de tiempo para el caso preventivo y el correctivo.

Siendo t_p el tiempo entre intervenciones preventivas, en el caso del mantenimiento preventivo, el costo total esperado corresponde a:

$$C_P = \frac{C_p R(t_p) + C_c [1 - R(t_p)]}{\int_0^{t_p} R(t) dt}$$

Mientras que el costo total esperado de un mantenimiento correctivo se obtiene de la siguiente ecuación:

$$C_C = \frac{C_c}{\int_0^{\infty} R(t) dt}$$

Por lo tanto la razón entre mantenimiento preventivo y correctivo se puede expresar de la siguiente forma:

$$\frac{C_P}{C_C} = (R(t_p)(\alpha - 1) + 1) \frac{\int_0^{\infty} R(t) dt}{\int_0^{t_p} R(t) dt}$$

Donde α es la razón entre una intervención preventiva y una correctiva.

$$\alpha = \frac{C_p}{C_c}$$

En el caso de realizar un análisis de confiabilidad basado en el modelo de Weibull, se debe hacer el siguiente cambio de variables:

$$x = \frac{t}{\eta}$$

La razón entre costos totales esperados de mantenimiento se expresa con la siguiente ecuación:

$$\frac{C_P}{C_C} = \frac{e^{-x_p^\beta} (\alpha - 1) + 1}{\Gamma(x_p^\beta, \frac{1}{\beta})}$$

Esta razón corresponde a una curva con distintos valores de x_p , como se observa en la Figura 2.9, por lo que para obtener el periodo óptimo entre intervenciones preventivas se debe buscar el mínimo de la curva, y con dicho valor mínimo de x_p procede a calcular t_p volviendo a nuestra variable original:

$$t_p = \eta x_p$$

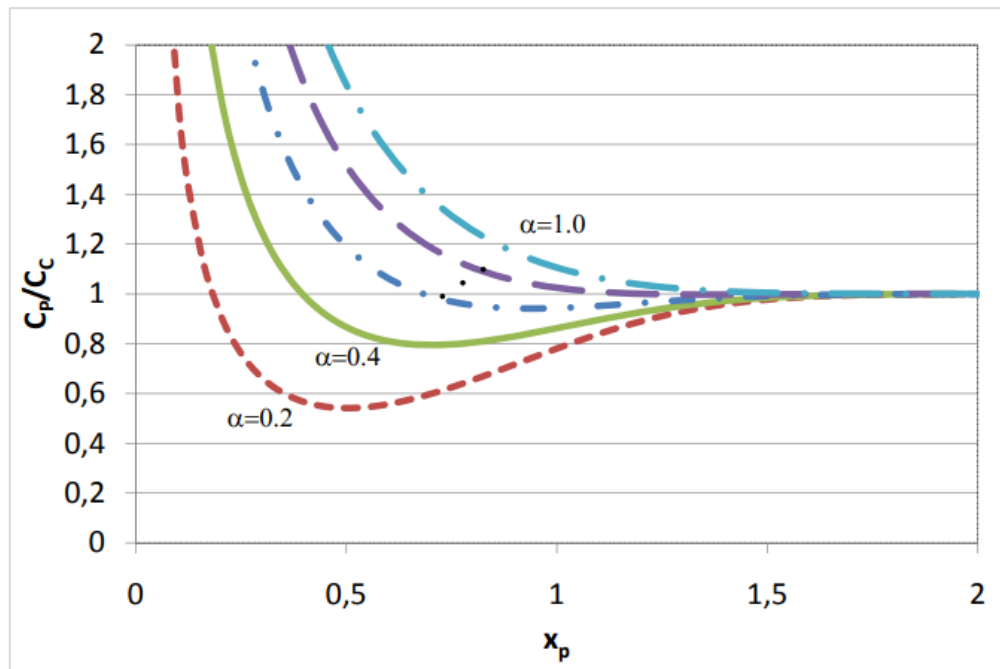


Figura 2.9: Razón $\frac{C_p}{C_c}$ para distintos valores de α , con $\beta=3$. Fuente: “Apunte Curso ME5701” Viviana Meruane

2.2.5. Diagrama de Pareto

El diagrama de Pareto corresponde a una herramienta utilizada en la toma de decisiones, permitiendo asignar un orden de prioridades a los problemas que se presentan, como por ejemplo en el caso del mantenimiento, las fallas en equipos y maquinarias.

Su finalidad es visibilizar todos los problemas que se encuentran dentro de un campo de estudio y determinar cuáles son los más graves y, por consiguiente, cuales son aquellos que deben solucionarse con mayor urgencia.

El principio de Pareto indica que, en la mayoría de las situaciones, el 80% de los problemas son debido al 20% de las causas posibles para ese problema. En el caso del mantenimiento, se podría entender como que el 20% de las fallas en un proceso producen el 80% de los costos. Aunque estas proporciones no son siempre exactas, este principio se cumple en la mayoría de las situaciones.

Para poder realizar el diagrama de Pareto, se debe tomar un horizonte de tiempo para llevar a cabo el análisis, y considerar los costos asociados al mantenimiento (intervenciones, fallas) o los tiempos de detención del proceso, por cada uno de los equipos. De esta manera, obtendremos en dos columnas la cantidad de fallas que se presentan por equipo, y los costos asociados a dichas fallas, como se observa en el ejemplo de la Tabla 2.2. A partir de esto podemos normalizar los costos asociados al mantenimiento y el número de fallas de cada equipo por su total, respectivamente. Luego, ordenándolos de manera decreciente según el costo normalizado, se obtiene un gráfico similar a la ilustrada en la Figura 2.10.

i	TFS_i	n_i	$\sum TFS_i$	$\sum n_i$	$\frac{1}{TFS_T} \sum TFS_i$	$\frac{1}{n_T} \sum n_i$
11	160	4	160	4	21 %	4 %
10	150	5	310	9	41 %	10 %
1	100	4	410	13	54 %	14 %
8	80	2	490	15	65 %	16 %
9	55	3	545	18	72 %	19 %
3	50	4	595	22	79 %	24 %
7	40	12	635	34	84 %	37 %
2	32	15	667	49	88 %	53 %
6	30	8	697	57	92 %	61 %
14	20	8	717	65	95 %	70 %
4	19	14	736	79	97 %	85 %
13	10	8	746	87	99 %	94 %
12	5	3	751	90	99 %	97 %
5	4	3	755	93	100 %	100 %
Σ	755	93				

Tabla 2.2: Información Análisis de Pareto. Fuente: “El arte de mantener” Rodrigo Pascual

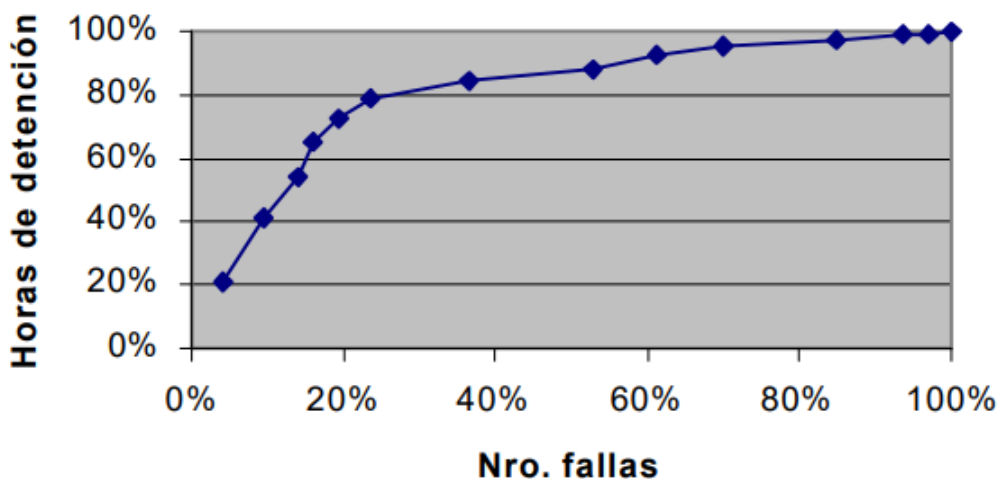


Figura 2.10: Diagrama de Pareto. Fuente: “El arte de mantener” Rodrigo Pascual

Esta curva se encuentra dividida en 3 zonas: A, B y C. En la zona A se encuentran aproximadamente el 20% de las fallas, que son aquellas que generan el 80% de los tiempos de detención del proceso, ubicando en este sector aquellas fallas que deben tratarse con urgencia ya que presentan la mayor cantidad de pérdidas dentro de la línea. Las decisiones más aplicadas en la solución de los problemas de la zona A corresponden a programación de mantenimiento preventivo, monitoreo de condición y nivel adecuado de stock de repuestos. En la zona B se concentran aproximadamente el 30% de las fallas, las que producen el 15% de los costos. En esta zona se concentrará el esfuerzo de mantención una vez se haya tratado todos los equipos pertenecientes a la zona A. Por último, en la zona C se concentran el 50% de las fallas que

generan el 5% de los costos. En esta zona no se ejecutan tareas de mantenimiento preventivo hasta una nueva evaluación de la situación de los equipos.

2.2.6. Diagrama de Jack Knife

El diagrama de Jack Knife, al igual que el diagrama de Pareto, es una técnica utilizada para la toma de decisiones en distintas áreas. Es un método para analizar el tiempo de indisponibilidad o inactividad de sistemas o equipos mediante el uso de diagramas de dispersión logarítmica, y utiliza como base el número de fallas y el tiempo medio de reparación (MTTR).

Para obtener la información necesaria para generar el gráfico de dispersión, se debe contar con la cantidad de fallas por equipo y el tiempo de detención de la producción producto de dichas fallas, datos con los cuales se procede a calcular el MTTR para cada uno de los equipos como se observa a continuación:

$$MTTR = \frac{\text{Tiempo de detención}}{\text{N}^\circ \text{ de fallas}}$$

Luego, se procede a calcular los valores de los ejes X e Y.

Eje Y:

$$\text{Límite MTTR} = \frac{\sum \text{Tiempo de falla total}}{\sum \text{N}^\circ \text{ de fallas total}}$$

Eje X:

$$\text{Límite N}^\circ \text{ de detenciones} = \frac{\sum \text{N}^\circ \text{ de fallas total}}{\sum \text{N}^\circ \text{ de equipos estudiados}}$$

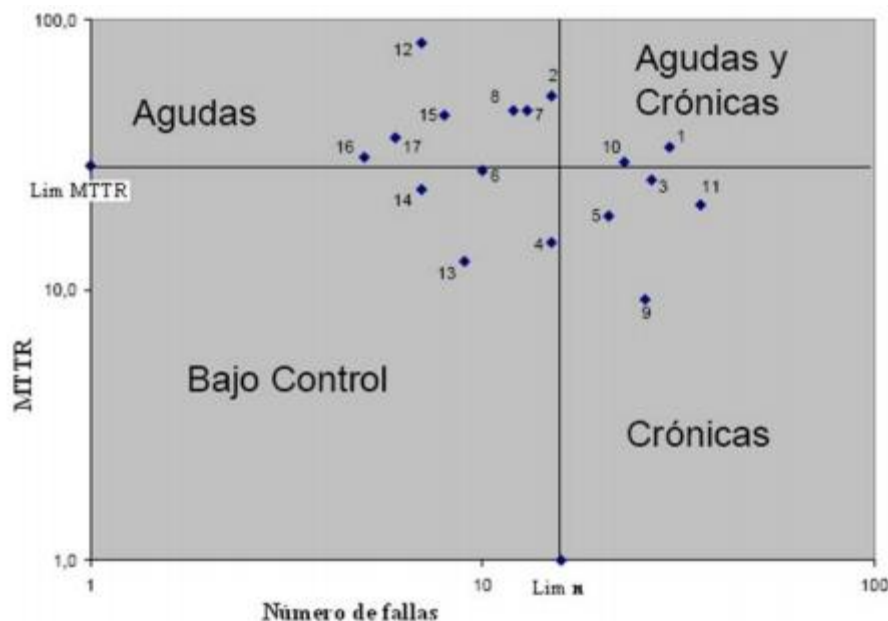


Figura 2.11: Diagrama de Jack Knife. Fuente: “Análisis de fallas en equipos industriales” Gabriel Barrientos

El gráfico generado mediante el análisis de Jack Knife se puede observar en la Figura 2.11, y puede ser estudiado en los cuatro cuadrantes presentes, que se explican a continuación:

- **Cuadrante Crónico-Agudo:** Es aquel conjunto de mayor criticidad, donde se agrupan los equipos que poseen un alto número de fallas y un elevado tiempo medio de reparación (MTTR), es decir, una baja confiabilidad y mantenibilidad.
- **Cuadrante Crónico:** Corresponde al grupo donde se encuentran los equipos con alto número de detenciones y un bajo tiempo medio de reparación, por lo que tienen una baja confiabilidad.
- **Cuadrante Agudo:** Es aquel donde se agrupan los equipos que poseen un alto tiempo medio de reparación y un bajo número de fallas, por lo que cuentan con baja mantenibilidad.
- **Cuadrante Leve:** Es donde se agrupan los equipos con baja cantidad de fallas y un bajo tiempo medio de reparación.

Finalmente, se procede a graficar las curvas de iso-no disponibilidad, que se utilizarán para analizar de manera visual que equipos provocaron tiempos de detención mayores al tiempo indicado en la curva. Es decir, si un equipo se encuentra sobre la curva de iso-no disponibilidad que representa 3 horas de detención, dicho equipo tuvo fallas que produjeron un tiempo de detención mayor a 3 horas.

Capítulo 3

Metodología

3.1. Recopilación de datos históricos

El sistema de gestión utilizado para llevar el seguimiento del mantenimiento de la planta de Papeles Cordillera es el módulo SAP PM. Este software es usado para la planificación, el procesamiento y organización de las tareas que deben llevarse a cabo dentro del mantenimiento de una planta, desde el tratamiento de cambio y reparación de equipos hasta la gestión de inventario de repuestos y componentes.

Esta herramienta de gestión permite, entre otras funciones:

- Realizar gestión de fallas de equipos y componentes.
- Obtener datos de vida útil de componentes, para poder realizar gestión sobre sus repuestos.
- Desarrollar un flujo de mantenimiento tanto correctivo como preventivo.
- Conocer las cargas de trabajo reales asignadas a las distintas tareas que engloban la actividad del área de mantenimiento.
- Disponer de información respecto a la gestión del mantenimiento y planificación de manera rápida y certera.

En la planta de Papeles Cordillera, el sistema SAP se encuentra implementado en todo el complejo, encontrándose representada toda la máquina papelera N°20 y sus servicios auxiliares. La forma de visualización de los activos en el módulo SAP PM es mediante las *ubicaciones técnicas*, que corresponden a representaciones de los distintos puntos de la instalación en un sistema virtual, donde las ubicaciones se encuentran ordenadas en modo de árbol desde la ubicación más general (en este caso, todo el complejo de Papeles Cordillera) hasta los niveles más específicos que componen la línea de producción, en este caso, al nivel de equipos generales, como bombas, motores, etc. En la Figura 3.1 se puede observar una visualización de las ubicaciones técnicas de la planta de Papeles Cordillera.

Este trabajo de memoria se concentrará en analizar los equipos que forman parte de la MP20, por lo que las ubicaciones técnicas a analizar corresponderán a aquellas iniciadas por la codificación 1901-001-460, que representa la máquina papelera. Las distintas zonas que componen el proceso, como la zona de tratamiento de pasta, zona de formación, zona de secado y zonas de bobinado se pueden observar en la Figura 3.2.

Repr.estructura ubicación técnica: Lista de estructura			
Ubic.téc.	1901	Válido de	24.02.2020
Denominación	PAPELES CORDILLERA PLANTA PUENTE ALTO		
▼ 1901	PAPELES CORDILLERA PLANTA PUENTE ALTO		
▼ 1901-001	DEPTO. PRODUCCION MAQUINA N° 20		
▶ 1901-001-460	MAQUINA PAPELERA N° 20		
• 1901-001-461	OFICINA DEPTO. PRODUCCION MAQUINA N° 20		
• 1901-001-462	PROCESOS E INGENIERIA PRODUCTOS MAQ.N°20		
▶ 1901-002	AREA DE FABRICACION		
▶ 1901-003	DEPTO. LOGISTICA MAQUINA N° 20		
▶ 1901-004	DEPTO. LOGISTICA OTRAS MAQUINAS		
▶ 1901-005	SUBGERENCIA ENERGIA Y MEDIO AMBIENTE		
▶ 1901-006	GERENCIA TECNICA		
▶ 1901-007	DEPTO. INGENIERIA DE PRODUCTOS		
▶ 1901-008	DEPTO. CONTROL OPERACIONES		
▶ 1901-009	SUBGERENCIA MANTENCION		
▶ 1901-010	SUBGERENCIA OTRAS MAQUINAS		
▶ 1901-011	DEPTO. OPERACION VENTAS		
▶ 1901-012	DEPTO. ADMINISTRACION Y FINANZAS		
▶ 1901-013	DEPTO. RECURSOS HUMANOS		
▶ 1901-014	GERENCIA DE OPERACIONES		
▶ 1901-015	GERENCIA COMERCIAL		
▶ 1901-016	ADMINISTRACION		
▶ 1901-018	EQUIPOS DESMONTADOS		
▶ 1901-019	TALLER MEC. MANTENCION (MAESTRANZA)		
▶ 1901-020	EQUIPOS DE MEDICION CONTROL SINTOMATICO		

Figura 3.1: Representación complejo Papeles Cordillera en SAP PM

▼ 1901-001-460	MAQUINA PAPELERA N° 20		
▶ 1901-001-460-001	SUBESTACION PASTA		
▶ 1901-001-460-002	SUBESTACION MAQUINA		
▶ 1901-001-460-003	SUBESTACION MAQUINA NUEVA		
▶ 1901-001-460-004	SUBESTACION BOBINADORA		
▶ 1901-001-460-005	SISTEMA DE CONTROL DISTRIBUIDO DCS		
▶ 1901-001-460-006	SISTEMA DE CONTROL DE CALIDAD QCS		
▶ 1901-001-460-010	AREA MAQUINA		
▶ 1901-001-460-011	TRANSPORTE DE ROLLOS		
▶ 1901-001-460-031	VAPOR Y CONDENSADO		
▶ 1901-001-460-032	AEROTERMIA		
▶ 1901-001-460-040	AMBIENTACION NAVE		
▶ 1901-001-460-050	CIRCUITO DE VACIO		
▶ 1901-001-460-060	CIRCUITO DE APROXIMACION		
▶ 1901-001-460-070	CIRCUITO DE RECORTES		
▶ 1901-001-460-080	AGUA DE PROCESO		
▶ 1901-001-460-100	ADITIVOS		
▶ 1901-001-460-120	CIRCUITOS DE CELULOSA		
▶ 1901-001-460-130	TRATAMIENTO PAPEL VIEJO		
▶ 1901-001-460-182	AIRE COMPRIMIDO		

Figura 3.2: Representación MP20 en SAP PM

Dentro de cada área de la MP20 se desglosan distintas subáreas del proceso como se observa en la Figura 3.3. Luego indicar dicha subárea se indica con un número de dos dígitos el tipo de equipo que se encuentra en dicha ubicación, como por ejemplo en la Figura 3.3 se observan motores (código 71), bombas hidráulicas (código 21), agitadores (código 22), etc. Finalmente los últimos números del código de ubicación técnica corresponden a la identificación de cada uno de los distintos tipos de equipo.

1901-001-460-130-014	CUBA DE TRANSF. LINE AOCL DE FIBRA LARGA
1901-001-460-130-014-55_015	CUBA DE TRANSF. LINE AOCL DE FIBRA LARGA
1901-001-460-130-014-22_016	AGITADOR CUBA DE TRANSFERENCIA LINE AOCL
1901-001-460-130-014-71_016	MOTOR AGITADOR CUBA DE TRANSF. LINE AOCL
1901-001-460-130-014-21_084	BOMBA ALIMENTACION FRACCIONADOR MSS12/12
1901-001-460-130-014-71_084	MOTOR BBA. ALIMENTACION MSS12/12
1901-001-460-130-014-21_2084	BOMBA ALIMENT. FRACCIONADORES
1901-001-460-130-014-71_2084	MOTOR BBA. ALIMENTACION FRACCIONADORES
1901-001-460-130-014-97_096	UNIDAD REF. TRANS. CONS. DES BBA 21-2084
1901-001-460-130-014-FIT_3095	FLUJOMETRO PASTA DESDE DISPERSOR
1901-001-460-130-014-HV_3006A	VALVULA ENTRADA ALIMENTACION
1901-001-460-130-014-HV_3006B	VALVULA ENTRADA ALIMENTACION
1901-001-460-130-014-LT_095	TRANSMISOR NIVEL CUBA TRANSF. LINE AOCL

Figura 3.3: Representación MP20 en SAP PM

Para facilitar el tratamiento de la información, la ubicación técnica puede ser reducida a su formato corto, en el cual sólo se utiliza el n° de área dentro de la MP20, el tipo de equipo y la distinción del tipo de equipo. Así, tomando como ejemplo la Bomba de Alimentación Fraccionador MSS12/12 que se encuentra en la Figura 3.3, su ubicación técnica larga corresponde a 1901-001-460-130-014-21_084, por lo que su ubicación técnica corta es 130-21_084.

Dentro de la representación de una ubicación técnica, que sólo nos entrega información del emplazamiento del equipo en el proceso productivo, se encuentra el *equipo*, que corresponde al activo que efectivamente se encuentra instalado en la ubicación técnica, con la información respectiva respecto a este, es decir, marcas, modelos y características del equipo en sí. Esto se puede observar en la Figura 3.4.

1901-001-460-120-001	TRANSPORTADOR ALIM. CELULOSA A UP60
1901-001-460-120-002	UNIPULPER UP60
1901-001-460-120-002-36_002	PULPER UP60
1901-001-460-120-002-71_002A	MOTOR PULPER UP60
1901-001-460-120-002-81_002A	REDUCTOR PULPER UP60
1901-001-460-120-002-21_013	BOMBA DESCARGA PULPER UP60
6003506	BOMBA SULZER, NPP 44-150 ROD. VORTEX

Figura 3.4: Representación Equipos en SAP PM

La información histórica obtenida a partir del módulo de mantenimiento SAP PM se encuentra categorizada en tres tipos de entradas distintas, que representan distintas instancias de desarrollo del trabajo de mantenimiento, las que se detallan a continuación.

- Aviso: Corresponde a la entrada que se realiza en el sistema luego de que se observa una anomalía en algún equipo. Para ser ingresada debe contar con información del equipo

sobre el que se está dando aviso, la ubicación dentro de la máquina papelera, al igual que información preliminar sobre la anomalía, como el componente del equipo que presenta la falla, posibles causas de la situación y la hora y fecha en que se tomó parte de la ocurrencia.

Cabe destacar que un aviso no equivale necesariamente a una falla que se haya manifestado en el equipo, ya que pueden ser generados como medidas preventivas, ya sea por ruidos anormales, válvulas o sensores en niveles fuera de lo común, altas temperaturas, etc. De esta forma, el formato del aviso se utiliza para dejar constancia de situaciones ocurridas en el proceso.

En la Figura 3.5 se observa la interfaz que se encuentra en un aviso, y la principal información que se debe ingresar al momento de ser creado.

Visualizar aviso-MT: Avería Cordillera

Nuevamente en trat.

Aviso: 60119292 P2 REPARAR BOMBA DE SULFATO

Status mensaje: MECE ORAS

Orden: 30007986

Objeto de referencia

Ubic.téc.: 1901-001-460-100-... BOMBA SULFATO A CIRCUITO REVERSO

Equipo: []

Conjunto: []

Circunstancias

Codificación: TIPAVIPI 0009 Mantenimiento programa semanal

Descripción: REPARAR BOMBA DE SULFATO

14.10.2019 10:43:25 CHILE IGNACIO EDGARDO Leon Jara (ILEON)
 DESMONTAR E INSPECCIONAR BOMBA DE SULFATO POR BAJA EFICIENCIA

Responsabilidades

Grupo planif.: 100 / 1901 Mec M20, Cogener.

Pto.tbjo.resp.: 13SMAM20 / 1901 Supervisor Mecanico Asignado Maquina 20

Dpto.responsabl: []

Responsable: []

Autor del aviso: ILEON Fecha de aviso: 14.10.2019 10:39:16

Fechas extremas

Inicio deseado: 14.10.2019 10:39:15 Prioridad: Media

Fin deseado: [] 00:00:00 Parada: []

Posición

Parte objeto: BOM-117 0011 IMPULSOR/RODETE

Sínt. avería: BOM-117 0002 FLUJO ESCASO

Texto: []

Causa: BOM-117 0005 DESGASTE EXCESIVO

Texto causa: []

Entrada 1 De 1

Figura 3.5: Aviso creado en SAP PM

- Orden: Es la orden de trabajo que se genera en el equipo a mantener a partir de la información obtenida mediante el aviso y una posterior recopilación de antecedentes por parte del planificador de mantenimiento, para corroborar que el diagnóstico entregado inicialmente y proceder a programar la tarea de manera correcta.

Al momento de generar una orden de trabajo, la principal información a entregar es la fecha de ejecución de la tarea, el área encargada de su realización, los repuestos y herramientas a utilizar y, en caso de ser necesario, las medidas de seguridad que deben tomarse, como permisos de trabajo en altura, en lugar confinado, trabajo en caliente, etc. De igual manera se asigna una prioridad a la orden para tener una clasificación de importancia de los trabajos y dejar claro el estado de la MP20 para realizar la tarea (máquina detenida o en funcionamiento)

En la Figura 3.6 se puede observar una orden de trabajo y la información que se incluye.

The screenshot displays the SAP PM interface for modifying a maintenance order. The title is 'Modificar No planificado Mecánico 30007986: Cabecera central'. The order number is CO01 30007986, and the description is 'REPARAR BOMBA DE SULFATO'. The status is 'CTEC NOTI IMPR DMNV EDET FENA MOVH NL...' and the plant is 'ZPM2'. The interface is divided into several sections: 'Datos cab.' (header data), 'Oper.' (operation), 'Componentes' (components), 'Costes' (costs), 'Objetos' (objects), 'Datos adic.' (additional data), 'Emplaz.' (location), and 'Planific.' (planning). The 'Oper.' section shows the responsible person as Ignacio León (ILEON) and the priority as 'Media'. The 'Objeto de referencia' section shows the technical location '1901-001-460-100-...' and the object 'BOMBA SULFATO A CIRCUITO REVERSO'. The 'Datos avería' section shows the start date '14.10.2019' and time '10:39:15'. The 'Primera operación' section shows the operation 'REPARAR BOMBA DE SULFATO' and the number of persons '0'.

Figura 3.6: Orden creada en SAP PM

- Notificación: Luego de que el trabajo programado fue llevado a cabo, se debe realizar una notificación en la que se deja constancia del desarrollo y resultado de la tarea, ya sea que esta fue ejecutada en su totalidad o de manera parcial, los motivos de las posibles

desviaciones generadas, y también la duración real de la tarea, si el tiempo planificado para la ejecución fue correcto o no y la causa de dicha variación de tiempo.

La notificación permite cerrar el ciclo generado al momento de crear el aviso. La vista de una notificación en el módulo SAP PM se observa en la Figura 3.7.

Notificación de orden MT Visualizar : Datos reales

Mensaje Lista de objetos Documentos medición Gestión

Orden: 80007986 REPARAR BOMBA DE SULFATO
Operación: 0010 REPARAR BOMBA DE SULFATO
Status sistema: NOTI CTEC

Datos de notificación

Notificación: 12832044 / 1 I40
Puesto trabajo: 1MECE-03 1901 Grupo N°3 Mecánico Ejecutor
N° personal: 0 CC-nómina:
Trabajo real: 8,00 H Clase actividad: Fecha contab.: 18.10.2019
 Notif.final Sin tbjo.rest. Criterio calc.:
 Comp.reservas Tbjo.restante: 0,00 H
Inicio trabajo: 14.10.2019 08:15:00 Dur.real notif.: 4,0 H
Fin trabajo: 14.10.2019 15:26:45 Fin pronóstico: 24:00:00
Mot.desviac.: 0001 Sin Desviación
Texto notific.: TRABAJO REALIZADO OKSE REALIZA REPARACIO Existe btx.expl.

Datos de notificación totales

Trbj.real acum.	8,000 H	Durac.real	6,8 H
Pronóst.trabajo	8,0 H	Dur.planif.	6,8 H
Inicio real	14.10.2019 08:15:00	Fin real	14.10.2019 15:26:45

Figura 3.7: Notificación creada en SAP PM

Cabe destacar que todas estas instancias de la gestión del mantenimiento se crean y desarrollan en referencia a la ubicación técnica, no con respecto a los equipos, ya que los equipos pueden ser utilizados en distintas ubicaciones dependiendo de su uso, por lo que al crear un aviso de, por ejemplo, golpeteo en el motor de un estanque, se debe gestionar el mantenimiento con respecto a la ubicación técnica donde se encuentra dicho motor, y no al número de equipo en sí.

Debido a este flujo de las actividades de mantención, se utiliza como primer filtro los avisos generados para la totalidad de las bombas de proceso de la MP20, con la finalidad de identificar los equipos de mayor criticidad según los parámetros más relevantes para el área de Planificación, que en este caso corresponden al n° de fallas por equipo y al tiempo de detención de la MP20 producto de dichas fallas.

Para llevar a cabo lo anterior utilizamos los análisis estadísticos de Pareto y Jack Knife, como primer indicador de cuáles son los equipos en los que debería centrarse el estudio con tal de cumplir el objetivo principal de esta memoria.

Otro parámetro importante para el desarrollo de este estudio es el uso de un mismo modelo de bomba para distintas ubicaciones técnicas, lo que permite contar con repuestos comunes de componentes para aquellas posiciones.

3.2. Estimación de parámetros de Weibull

Para estimar los parámetros de la distribución de Weibull para nuestros datos, se utiliza el método gráfico.

Siendo la tasa acumulada de falla $F(t)$

$$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta}$$

Se realiza el cambio de variable

$$x = \ln(t)$$

$$y = \ln\left(\ln\left(\frac{1}{1 - F(t)}\right)\right)$$

Se tiene que

$$\ln\left(\ln\left(\frac{1}{1 - F(t)}\right)\right) = \beta \ln(t) - \beta \ln(\eta)$$

$$y = ax + b$$

Donde $a = \beta$ y $b = -\beta \ln(\eta)$.

Los parámetros a y b se estiman por medio de una regresión lineal simple:

$$\hat{b} = \frac{\sum(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sum(x_i - \bar{x})^2}$$

$$\hat{a} = \bar{y} - b\bar{x}$$

De donde se obtiene que:

$$\beta = \hat{a}$$

$$\eta = e^{-\frac{\hat{b}}{\hat{a}}}$$

En caso de que se tengan n fallas, se sigue el siguiente procedimiento para realizar la estimación:

- Los n registros de tiempo de falla se ordenan de menor a mayor y se les asigna un número de orden i de 1 a n .
- Se calcula para cada falla la función probabilidad de falla $F(i)$. Si la población es pequeña $F(i)$ se puede utilizar el método de rangos medianos:

$$F(i) = \frac{i - 0,3}{n + 0,4}$$

- Se tabulan los datos (t_i , $F(i)$)

- Se realiza el cambio de variables definido anteriormente y se estiman los parámetros η y β por medio de una regresión lineal.

3.3. Prueba de Bondad de Ajuste

La prueba de bondad de ajuste a utilizar será el Test de Mann, prueba específica para la distribución de Weibull desarrollada por Mann, Schafer y Singpurwalla en 1974.

Las hipótesis de esta prueba son:

H_0 : Los tiempos de falla estudiados vienen de la distribución de Weibull

H_1 : Los tiempos de falla estudiados **no** vienen de la distribución de Weibull

El estadístico utilizado en la prueba se calcula de la siguiente forma:

$$M = \frac{k_1 \sum_{i=k_1+1}^{r-1} [(\ln(t_{i+1}) - \ln(t_i)) / M_i]}{k_2 \sum_{i=1}^{k_1} [(\ln(t_{i+1}) - \ln(t_i)) / M_i]}$$

Donde $k_1 = \left\lfloor \frac{n}{2} \right\rfloor$ y $k_2 = \left\lfloor \frac{n-1}{2} \right\rfloor$

$$M_i = Z_{i+1} - Z_i$$

$$Z_i = \ln \left[-\ln \left(1 - \frac{i-0.5}{n+0.25} \right) \right]$$

Siendo n el n° de fallas estudiadas.

El número de grados de libertad será $2k_1$ y $2k_2$. El valor crítico F_{crit} es obtenido a partir de la función de Excel DISTR.F.INV, que toma como argumentos los grados de libertad calculados anteriormente, y el nivel de significancia que será fijado en un 95% ($\alpha = 0.05$).

Capítulo 4

Resultados

4.1. Análisis de fallas

En la actualidad, a lo largo del proceso productivo de la MP20 se cuenta con 240 bombas de proceso, siendo estas de distintos tipos y cumpliendo diferentes funciones. De estos equipos, 229 han presentado fallas de algún tipo durante el período analizado para efectos de esta memoria (desde el 01-01-2011 hasta el 31-12-2019).

En el Anexo A1 se muestra la ubicación técnica, n° de avisos que fueron ingresados al sistema SAP PM que se generaron con respecto a cada una de las bombas a lo largo del período estudiado, y en caso que aplique, el tiempo de detención de la MP20 producto de la falla del equipo que fue informada en el aviso.

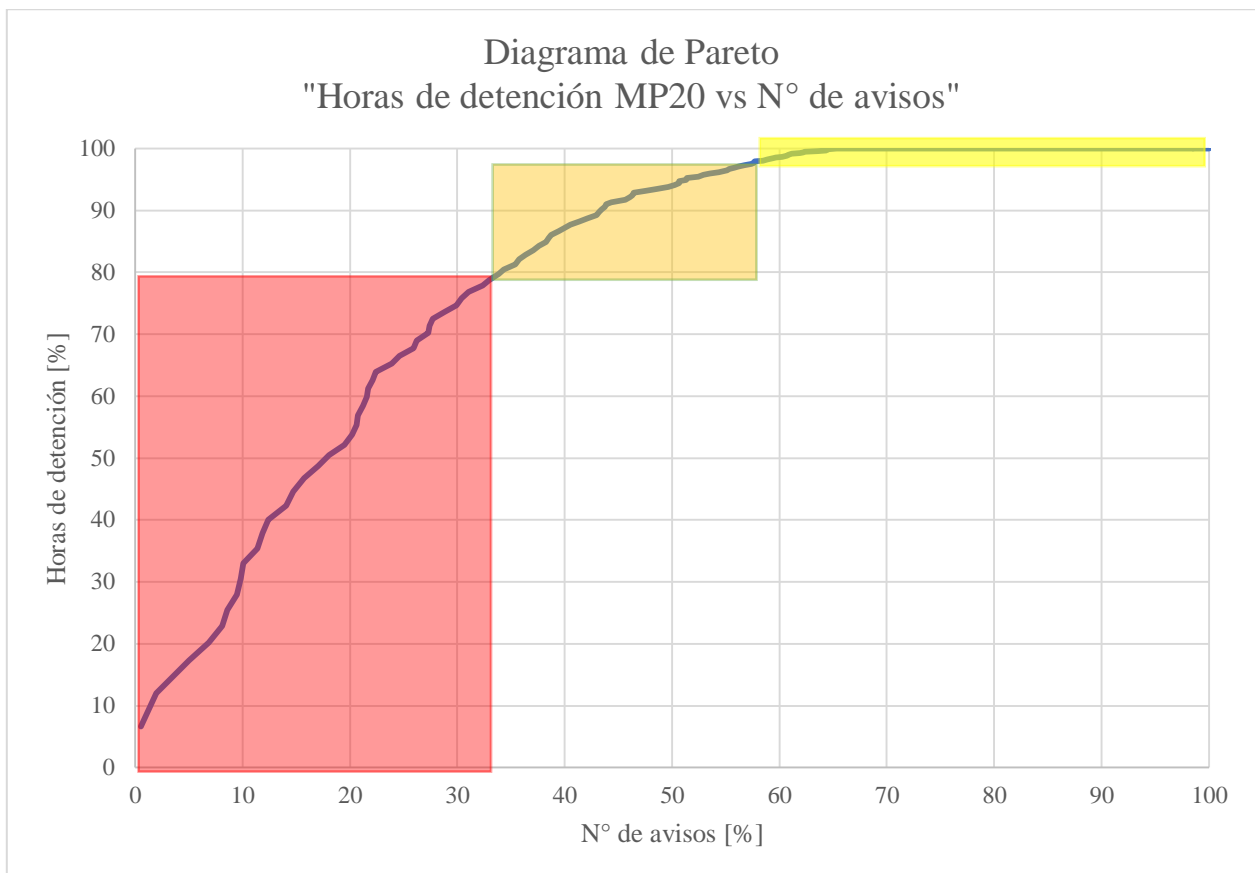


Figura 4.1: Diagrama de Pareto de Tiempo detención vs N° de avisos

Como se puede observar en la Figura 4.1, cerca del 33% de los avisos generados produjeron el 80% del tiempo de detención de la MP20 al considerar sólo detenciones producto de fallas de bombas. Estos son las bombas que se encuentran en la zona A del gráfico. Este

porcentaje de avisos fueron creados en las primeras 40 ubicaciones técnicas indicadas en el Anexo A1, por lo que es seguro asumir que estos son los equipos más críticos para la disponibilidad de producción de la máquina. Por otro lado los equipos que se ubican en la zona B cuentan con aproximadamente el 25% de los avisos y producen el 15% de los tiempos de detención de la MP20, por lo que sería conveniente algún tipo de gestión en estas bombas, pero no es de tanta urgencia como las que se encuentran en la zona A. Finalmente, las bombas que se encuentran en la zona C tienen cerca del 40% de los avisos y generan el 5% de las detenciones de la línea, por lo que por el momento no sería relevante realizar un plan de mantenimiento preventivo para estos equipos.

A partir de la información que se encuentra en el Anexo A2, se procede a crear un diagrama de Jackknife, lo que nos permitirá identificar los equipos que necesitan un mayor tiempo medio para reparar (MTTR), y aquellos que presentan una mayor cantidad de fallas, de esta manera podremos clasificar si las fallas que se han producido en estos equipos son leves, crónicas, agudas o críticas.

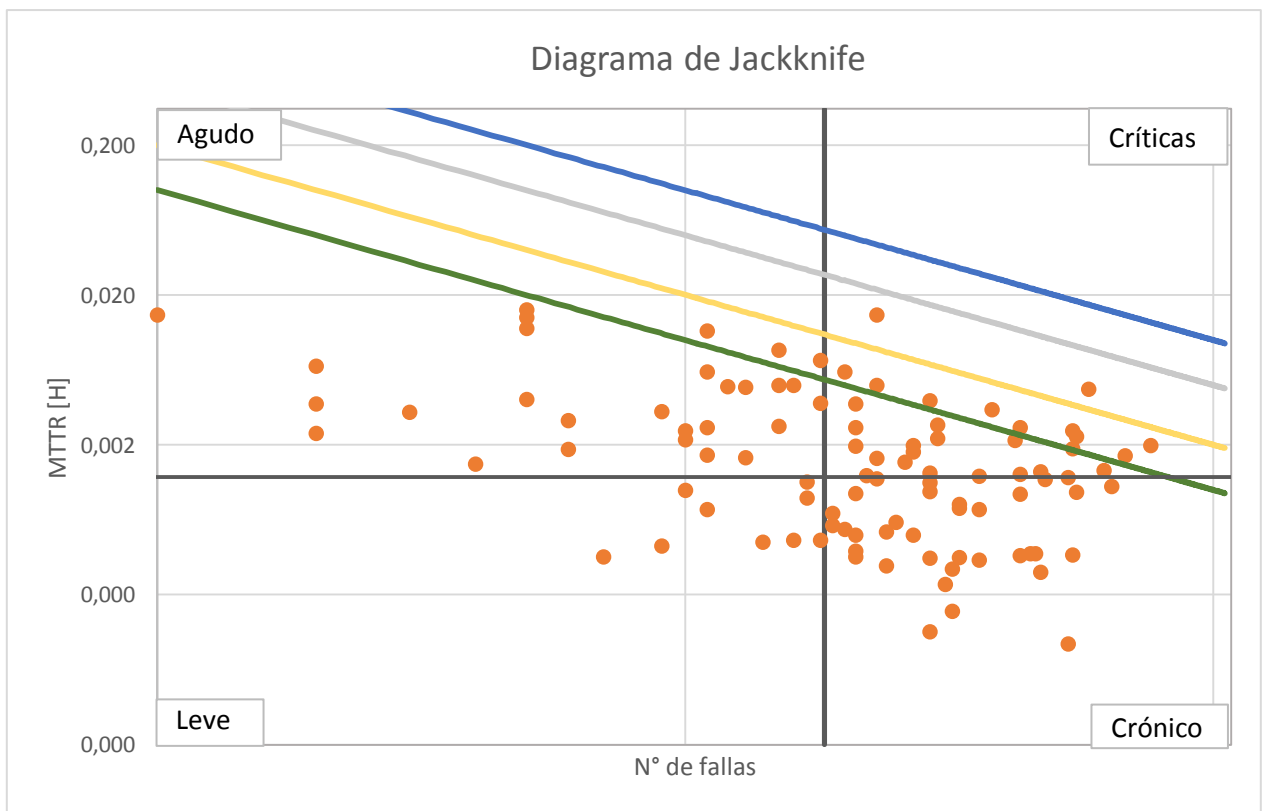


Figura 4.2: Diagrama de Jackknife

Con la finalidad de realizar los análisis de confiabilidad en los equipos más críticos, se hace un cruce entre los resultados obtenidos en el diagrama de Pareto, diagrama de Jack Knife, y además considerando como un factor importante que algunas ubicaciones técnicas utilizan los mismos modelos de bombas entre sí, por lo que en definitiva las bombas a analizar serán:

Ubicación Técnica	Denominación	Marca y Modelo	Zona Pareto	Zona Jack Knife
130-21_075	Bomba Descarga Pulper UP90	Bomba Sulzer NPP 44-150 Rodete Vortex	A	Crónico Agudo
120-21_013	Bomba Descarga Pulper UP60		C	Crónico
130-21_095	Bomba Estanque ATS-300		A	Crónico
130-21_077	Bomba Torre Almacenaje Papel Viejo	Bomba Sulzer APP 44-200 Rodete Abierto	A	Crónico Agudo
130-21_088	Bomba Alimentación 3ª Etapa Cleaners	Bomba Sulzer APP 31-125 Rodete Cerrado	A	Crónico Agudo
080-21_065	Bomba Red De Agua Fresca A Red De Lavado	Bomba Sulzer HPP 207-40 Rodete Cerrado	A	Crónico Agudo
130-21_086	Bomba Alimentación 1ª Etapa Cleaners	Bomba Sulzer APP 51-300 Rodete Cerrado	A	Crónico Agudo
130-21_093	Bomba Cuba de Transferencia Fibra Larga	Bomba Sulzer APP 44-200 Rodete Abierto	A	Crónico Agudo
130-21_076	Bomba Descarga Estanque Sedimentación	Bomba Sulzer NPP 33-100 Rodete Vortex	A	Crónico
130-21_098	Bomba Alimentación Torre Bombeo Estanque Fibra Larga	Bomba Sulzer MCE 22-100 Rodete Impulsor	A	Crónico Agudo

Tabla 4.1: Ubicaciones técnicas a estudiar

Para entender el funcionamiento de los equipos estudiados, se dará una breve descripción de cada una de las bombas escogidas, sus principales componentes y aplicaciones en las cuales se utiliza.

- Bombas Sulzer XXP: La codificación del modelo está compuesto por tres letras, las que indican diferentes características de la bomba.
 - La primera letra indica el tipo de hidráulica que utiliza la carcasa o voluta de la bomba, siendo la letra **A** una bomba de tipo estándar, la letra **N** indica que la hidráulica está hecha para trabajar con fluidos con grandes partículas o que cuenten con largas fibras, la letra **W** indica que la carcasa cuenta con mayor resistencia al desgaste, especialmente diseñada para trabajar con líquidos altamente corrosivos y/o abrasivos, mientras que la letra **H** indica que se trata de una bomba de varias etapas.
 - La segunda letra indica la disposición de la bomba, siendo la letra **P** una bomba básica horizontal, la letra **S** indica que la bomba es autocebante y la letra **R** significa que el equipo cuenta con separación de aire.
 - La tercera letra siempre es **P**, que indica que las dimensiones de la bomba y sus componentes son métricas.
- Bombas Sulzer MCE: Corresponden a bombas centrífugas creadas para pulpa de media consistencia. La geometría de su carcasa e impulsor son fabricados para romper la fibra a medida que la pulpa circula por su interior.

Los números que siguen a las letras indican el tamaño de la bomba, siendo el primer número el tamaño de rodamientos que utiliza la bomba, mientras que el segundo número indica el tamaño de la tapa de la carcasa. Los siguientes son los tamaños de bomba fabricados por Sulzer: **10, 11, 20, 21, 22, 23, 31, 32, 33, 42, 44**. En el caso de las bombas de múltiples etapas (**HPP**), se cuenta con tres números, de los cuales el primero el tamaño del rodamiento que utilizan, mientras que los siguientes dos números indican la cantidad de etapas con las que cuenta la bomba.

Los números que se encuentran después del guion indican el diámetro nominal de la salida de la bomba, en milímetros.

4.2. Modos de falla

Cada una de las bombas analizadas presenta distintos motivos de falla, los que en primera instancia son obtenidos de la información ingresada en cada aviso. De todas maneras, esta información solo es utilizada como primera aproximación del dato total de fallas ya que en ciertas situaciones el diagnóstico realizado en el aviso no es certero y debe ser corregido al momento de realizar la orden de trabajo, o incluso cuando se programa el mantenimiento en base al diagnóstico hecho en el aviso, al momento de ser llevado a cabo se observa que el modo de falla no es el indicado y se deben realizar las modificaciones necesarias al programa para solucionar la avería real.

Para tener una mayor seguridad de la información con la que se está tratando, en el caso de las bombas escogidas para llevar a cabo el análisis se utilizará la información ingresada en las notificaciones respecto al trabajo que efectivamente fue realizado en cada situación.

A continuación, se muestra el desglose de los distintos modos de falla para las bombas a analizar.

4.2.1. Bomba Descarga Pulper UP90

La bomba de la descarga del Pulper UP90 es la que más averías presenta a lo largo del período estudiado, lo que se debe principalmente a su ubicación en el proceso productivo. Esta bomba es la encargada de recibir la pulpa de material reciclado después de su primer proceso de mezcla, por lo que el fluido con el que trabaja es una pasta de alta consistencia y densidad. Además, debido a que la pulpa se genera a partir de papel reciclado, el que es comprado en fardos, en esta instancia es posible que la pasta contenga elementos extraños que podrían dañar los componentes del equipo.



Figura 4.3: Bomba de descarga UP90

Las fallas presentadas por esta bomba se muestran en la Tabla 4.2.

Modo de falla	Cantidad
Rodete	29
Cañería salida	15
Carcasa	10
Sello mecánico	8
Eje	6
Torpedo	4

Tabla 4.2: Modos de falla Bomba descarga UP90

El detalle respecto a cada uno de los modos de falla se muestra a continuación.

4.2.1.1. Rodete

Los tiempos de falla para el rodete de la bomba de descarga del Pulper UP90 se muestran en la Tabla 4.3.

Fecha	Nº Falla	TTF
01-01-2011	0	Instalación
10-03-2011	1	68
14-06-2011	2	96
14-03-2012	3	274
08-06-2012	4	86
19-12-2012	5	194
22-05-2013	6	154
10-09-2013	7	111
08-08-2014	8	332
29-10-2014	9	82

06-01-2015	10	69
03-03-2015	11	56
18-05-2015	12	76
13-08-2015	13	87
01-09-2015	14	19
26-11-2015	15	86
29-12-2015	16	33
28-01-2016	17	30
07-04-2016	18	70
17-08-2016	19	132
25-04-2017	20	251
02-10-2017	21	160
18-01-2018	22	108
01-08-2018	23	195
04-10-2018	24	64
06-11-2018	25	33
15-01-2019	26	70
19-02-2019	27	35
06-05-2019	28	76
07-08-2019	29	93

Tabla 4.3: Tiempo entre fallas Rodete Bomba descarga UP90

A partir de los datos de la Tabla 4.3, se procede a realizar una regresión de Weibull sobre la información según lo mostrado en la Tabla 4.4, obteniendo como resultado los parámetros indicados en la Tabla 4.5.

Id	TTF	R(i)	Y	X
0		1		
1	19	0,97	-3,38429	2,94444
2	30	0,93	-2,67375	3,40120
3	33	0,90	-2,25037	3,49651
4	33	0,87	-1,94421	3,49651
5	35	0,83	-1,70198	3,55535
6	56	0,80	-1,49994	4,02535
7	64	0,77	-1,32538	4,15888
8	68	0,73	-1,17068	4,21951
9	69	0,70	-1,03093	4,23411
10	70	0,67	-0,90272	4,24850
11	70	0,63	-0,78360	4,24850
12	76	0,60	-0,67173	4,33073
13	76	0,57	-0,56566	4,33073
14	82	0,53	-0,46425	4,40672
15	86	0,50	-0,36651	4,45435
16	86	0,47	-0,27162	4,45435

17	87	0,43	-0,17883	4,46591
18	93	0,40	-0,08742	4,53260
19	96	0,37	0,00330	4,56435
20	108	0,33	0,09405	4,68213
21	111	0,30	0,18563	4,70953
22	132	0,27	0,27896	4,88280
23	154	0,23	0,37520	5,03695
24	160	0,20	0,47588	5,07517
25	194	0,17	0,58320	5,26786
26	195	0,13	0,70057	5,27300
27	251	0,10	0,83403	5,52545
28	274	0,07	0,99623	5,61313
29	332	0,03	1,22413	5,80513

Tabla 4.4: Regresión lineal Rodete Bomba descarga UP90

η	121,310
β	1,598
R^2	0,94688
MTTF	108,77 días

Tabla 4.5: Parámetros de Weibull obtenidos

Realizando el test de Mann para verificar la bondad del ajuste, se obtienen los resultados mostrados en la Tabla 4.6.

k1	k2	M	Fcrit
14	14	1,83	1,882

Tabla 4.6: Parámetros de Weibull obtenidos

Ya que $M < F_{crit}$, el ajuste realizado es correcto y se valida la distribución de Weibull como modelo.

Con los parámetros de Weibull mostrados en la Tabla 4.5, se genera la Figura 4.4 donde se muestra la confiabilidad a lo largo del tiempo.

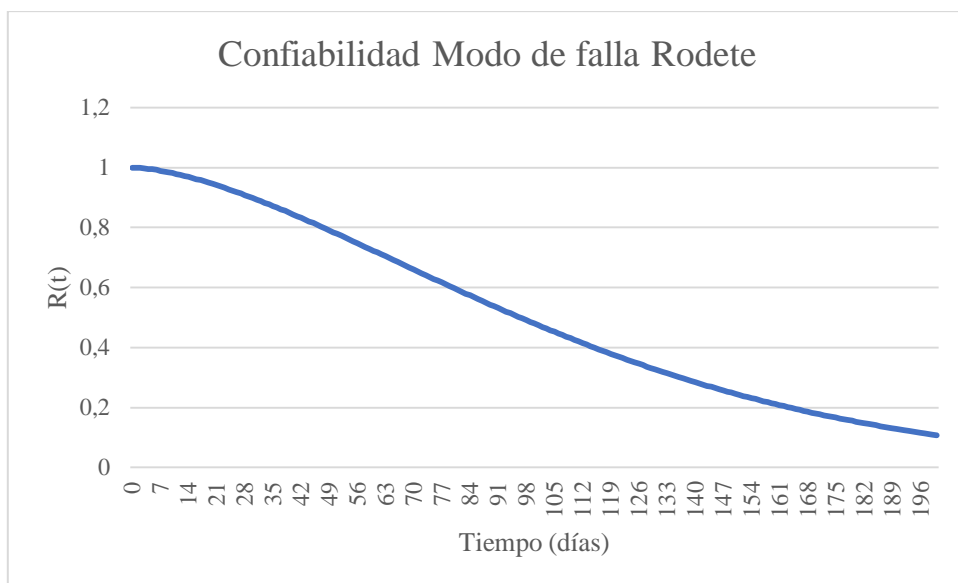


Figura 4.4: Confiabilidad Rodete de bomba descarga UP90

4.2.1.2. Cañería de salida

Los tiempos de falla para la cañería de salida de la bomba de descarga del Pulper UP90 se muestran en la Tabla 4.7.

Fecha	Falla	TTF
01-01-2011	0	Instalación
03-02-2011	1	33
10-11-2011	2	280
14-02-2012	3	96
28-07-2012	4	165
04-03-2013	5	219
09-05-2013	6	66
18-03-2014	7	313
26-01-2015	8	314
05-03-2015	9	38
15-10-2015	10	224
28-01-2016	11	105
26-07-2016	12	180
20-03-2017	13	237
15-06-2017	14	87
01-08-2018	15	412

Tabla 4.7: Tiempo entre fallas Cañería salida Bomba descarga UP90

A partir de los datos de la Tabla 4.7, se procede a realizar una regresión de Weibull sobre la información según lo mostrado en la Tabla 4.8, obteniendo como resultado los parámetros indicados en la Tabla 4.9.

Id	TTF	R(i)	Y	X
0		1		
1	33	0,94	-2,7405	3,4965
2	38	0,88	-2,0134	3,6376
3	66	0,81	-1,5720	4,1897
4	87	0,75	-1,2459	4,4659
5	96	0,69	-0,9816	4,5643
6	105	0,63	-0,7550	4,6540
7	165	0,56	-0,5528	5,1059
8	180	0,50	-0,3665	5,1930
9	219	0,44	-0,1903	5,3891
10	224	0,38	-0,0194	5,4116
11	237	0,31	0,1511	5,4681
12	280	0,25	0,3266	5,6348
13	313	0,19	0,5152	5,7462
14	314	0,13	0,7321	5,7494
15	412	0,06	1,0198	6,0210

Tabla 4.8: Regresión lineal Carcasa Bomba descarga UP90

η	213,817
β	1,338
R^2	0,97559
MTTF	196,38 días

Tabla 4.9: Parámetros de Weibull obtenidos

Realizando el test de Mann para verificar la bondad del ajuste, se obtienen los resultados mostrados en la Tabla 4.10.

k1	k2	M	Fcrit
7	7	0,297	2,483

Tabla 4.10: Parámetros de Weibull obtenidos

Ya que $M < F_{crit}$, el ajuste realizado es correcto y se valida la distribución de Weibull como modelo.

Con los parámetros de Weibull mostrados en la Tabla 4.9, se genera la Figura 4.5 donde se muestra la confiabilidad a lo largo del tiempo.

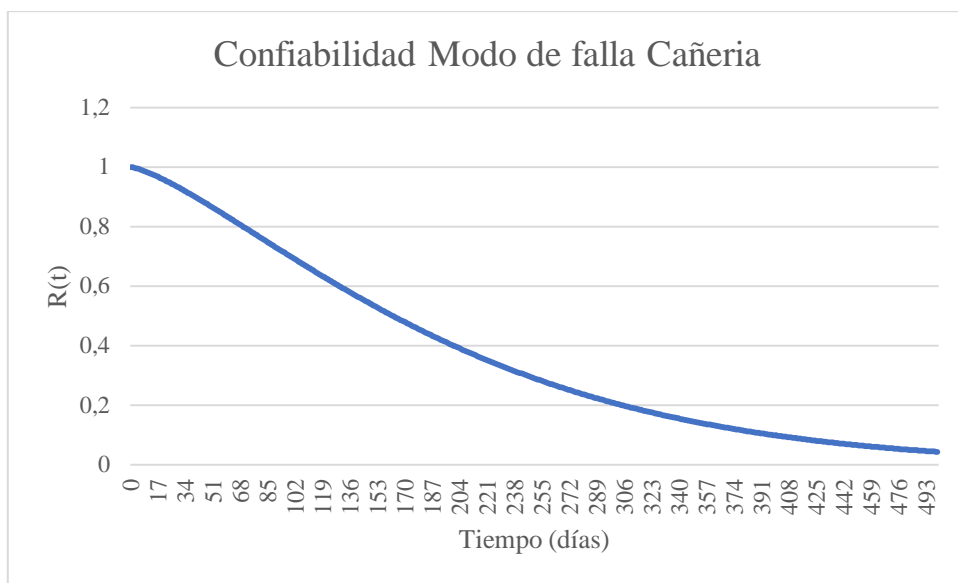


Figura 4.5: Confiabilidad Cañería salida Bomba Descarga UP90

4.2.1.3. Carcasa

Los tiempos de falla para la carcasa de la bomba de descarga del Pulper UP90 se muestran en la Tabla 4.11.

Fecha	Falla	TTF
01-01-2011	0	Instalación
14-06-2011	1	164
23-07-2012	2	405
06-08-2013	3	379
14-01-2014	4	161
03-12-2014	5	323
20-02-2015	6	79
22-04-2015	7	61
17-12-2015	8	239
09-09-2016	9	267
05-02-2019	10	879

Tabla 4.11: Tiempo entre fallas Carcasa Bomba descarga UP90

A partir de los datos de la Tabla 4.11, se procede a realizar una regresión de Weibull sobre la información según lo mostrado en la Tabla 4.12, obteniendo como resultado los parámetros indicados en la Tabla 4.13.

Id	TTF	R(i)	Y	X
0		1		
1	61	0,91	-2,35062	4,11087
2	79	0,82	-1,60609	4,36945
3	161	0,73	-1,14428	5,08140

4	164	0,64	-0,79411	5,09987
5	239	0,55	-0,50065	5,47646
6	267	0,45	-0,23768	5,58725
7	323	0,36	0,01153	5,77765
8	379	0,27	0,26181	5,93754
9	405	0,18	0,53342	6,00389
10	879	0,09	0,87459	6,77878

Tabla 4.12: Regresión lineal Carcasa Bomba descarga UP90

η	337,832
β	1,237
R^2	0,95894
MTTF	315,39 días

Tabla 4.13: Parámetros de Weibull obtenidos

Realizando el test de Mann para verificar la bondad del ajuste, se obtienen los resultados mostrados en la Tabla 4.14.

k1	k2	M	Fcrit
5	4	1,429	3,347

Tabla 4.14: Parámetros de Weibull obtenidos

Ya que $M < F_{crit}$, el ajuste realizado es correcto y se valida la distribución de Weibull como modelo.

Con los parámetros de Weibull mostrados en la Tabla 4.13, se genera la Figura 4.6 donde se muestra la confiabilidad a lo largo del tiempo.

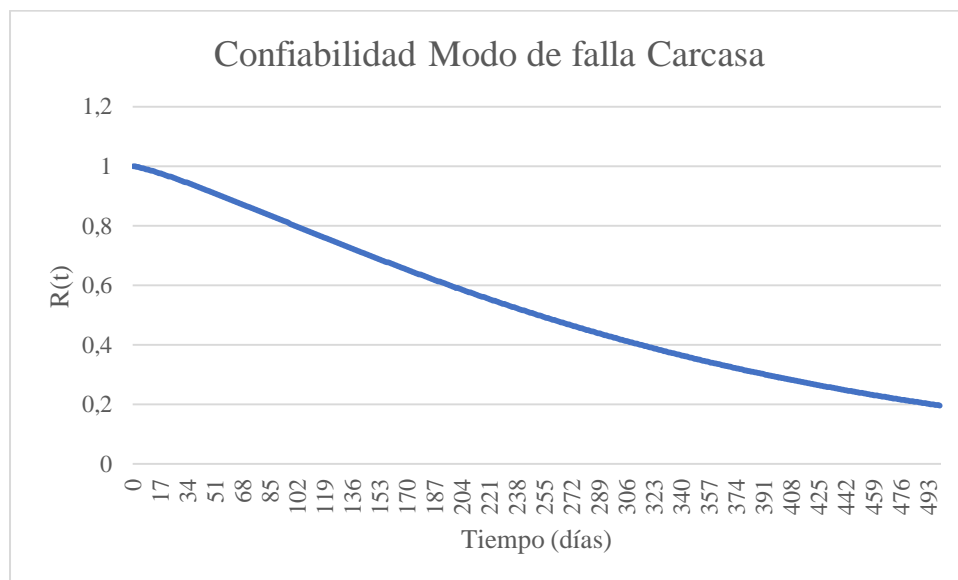


Figura 4.6: Confiabilidad Carcasa de bomba descarga UP90

4.2.2. Bomba Estanque ATS-300

Esta bomba se encuentra a la salida del estanque del Turboseparador ATS-300, equipo que es utilizado de manera continua para remover contaminantes pesados y livianos con una mínima pérdida de fibra utilizable, al mismo tiempo que lava y limpia la fibra.



Figura 4.7: Bomba Estanque ATS-300

Las fallas presentadas por esta bomba se muestran en la Tabla 4.15.

Modo de falla	Cantidad
Cañería salida	15
Junta de expansión	6
Sello estático	6
Eje	2
Torpedo	2

Tabla 4.15: Modos de falla Bomba Estanque ATS-300

El detalle respecto a cada uno de los modos de falla se muestra a continuación.

4.2.2.1. Cañería salida

Los tiempos de falla para la cañería de salida de la bomba de salida del turboseparador ATS-300 se muestran en la Tabla 4.16.

Fecha	Falla	TTF
01-01-2011	0	Instalación
23-06-2011	1	173
23-02-2012	2	245
13-03-2012	3	19
03-04-2012	4	21
05-06-2013	5	428

02-08-2013	6	58
22-10-2013	7	81
23-01-2014	8	93
11-02-2014	9	19
01-07-2014	10	140
01-10-2014	11	92
29-01-2016	12	485
30-05-2016	13	122
23-08-2017	14	450
22-10-2018	15	425

Tabla 4.16: Tiempo entre fallas cañería de salida Bomba Estanque ATS-300

A partir de los datos de la Tabla 4.16, se procede a realizar una regresión de Weibull sobre la información según lo mostrado en la Tabla 4.17, obteniendo como resultado los parámetros indicados en la Tabla 4.17.

Id	TTF	R(i)	Y	X
0		1		
1	35	0,94	-2,74049	3,55535
2	36	0,88	-2,01342	3,58352
3	63	0,81	-1,57195	4,14313
4	79	0,75	-1,24590	4,36945
5	157	0,69	-0,98165	5,05625
6	166	0,63	-0,75501	5,11199
7	169	0,56	-0,55275	5,12990
8	176	0,50	-0,36651	5,17048
9	193	0,44	-0,19034	5,26269
10	200	0,38	-0,01936	5,29832
11	225	0,31	0,15113	5,41610
12	229	0,25	0,32663	5,43372
13	251	0,19	0,51520	5,52545
14	266	0,13	0,73210	5,58350
15	299	0,06	1,01978	5,70044

Tabla 4.17: Regresión lineal Cañería de salida Bomba estanque ATS-300

η	204,445
β	0,899
R^2	0,94196
MTTF	215,24 días

Tabla 4.18: Parámetros de Weibull obtenidos

Realizando el test de Mann para verificar la bondad del ajuste, se obtienen los resultados mostrados en la Tabla 4.19.

k1	k2	M	Fcrit
7	7	1,228	2,483

Tabla 4.19: Parámetros de Weibull obtenidos

Ya que $M < F_{crit}$, el ajuste realizado es correcto y se valida la distribución de Weibull como modelo.

Con los parámetros de Weibull mostrados en la Tabla 4.18, se genera la Figura 4.8 donde se muestra la confiabilidad a lo largo del tiempo.

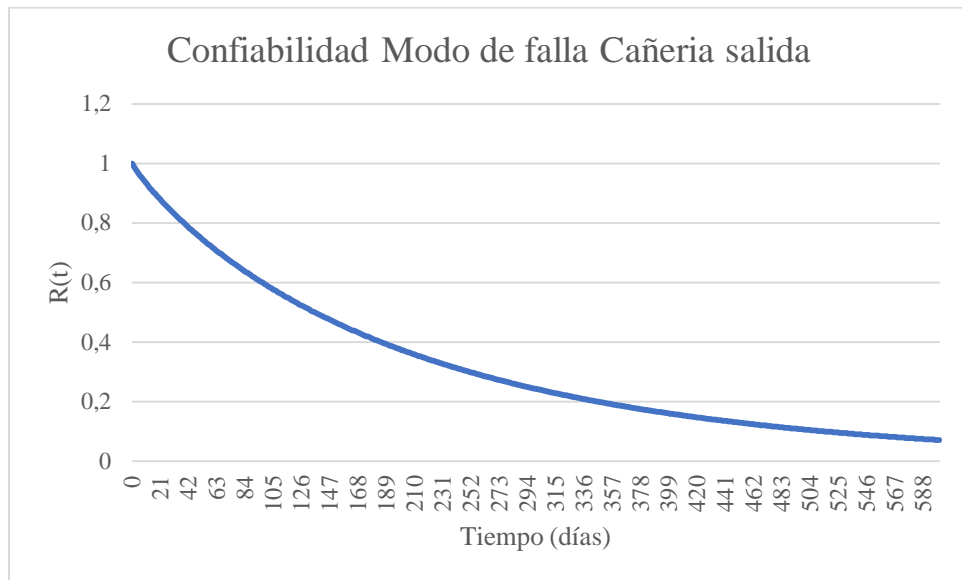


Figura 4.8: Confiabilidad Cañería salida Bomba estanque ATS-3000

4.2.2.2. Junta de expansión

Los tiempos de falla para la junta de expansión de la bomba de salida del turboseparador ATS-300 se muestran en la Tabla 4.20.

Fecha	Falla	TTF
01-01-2011	0	Instalación
02-08-2013	1	944
02-02-2016	2	914
06-02-2017	3	370
28-08-2017	4	203
22-05-2018	5	267
25-10-2018	6	156

Tabla 4.20: Tiempo entre fallas Junta de expansión Bomba Estanque ATS-300

A partir de los datos de la Tabla 4.20, se procede a realizar una regresión de Weibull sobre la información según lo mostrado en la Tabla 4.21, obteniendo como resultado los parámetros indicados en la Tabla 4.22.

Id	TTF	R(i)	Y	X
0		1		
1	156	0,86	-1,86982	5,04986
2	203	0,71	-1,08924	5,31321
3	267	0,57	-0,58050	5,58725
4	370	0,43	-0,16570	5,91350
5	914	0,29	0,22535	6,81783
6	944	0,14	0,66573	6,85013

Tabla 4.21: Regresión lineal Junta de expansión Bomba Estanque ATS-300

η	563,42
β	1,138
R^2	0,89235
MTTF	537,83 días

Tabla 4.22: Parámetros de Weibull obtenidos

Realizando el test de Mann para verificar la bondad del ajuste, se obtienen los resultados mostrados en la Tabla 4.23.

k1	k2	M	Fcrit
3	2	2,361	6,163

Tabla 4.23: Parámetros de Weibull obtenidos

Ya que $M < F_{crit}$, el ajuste realizado es correcto y se valida la distribución de Weibull como modelo.

Con los parámetros de Weibull mostrados en la Tabla 4.22, se genera la Figura 4.9 donde se muestra la confiabilidad a lo largo del tiempo.

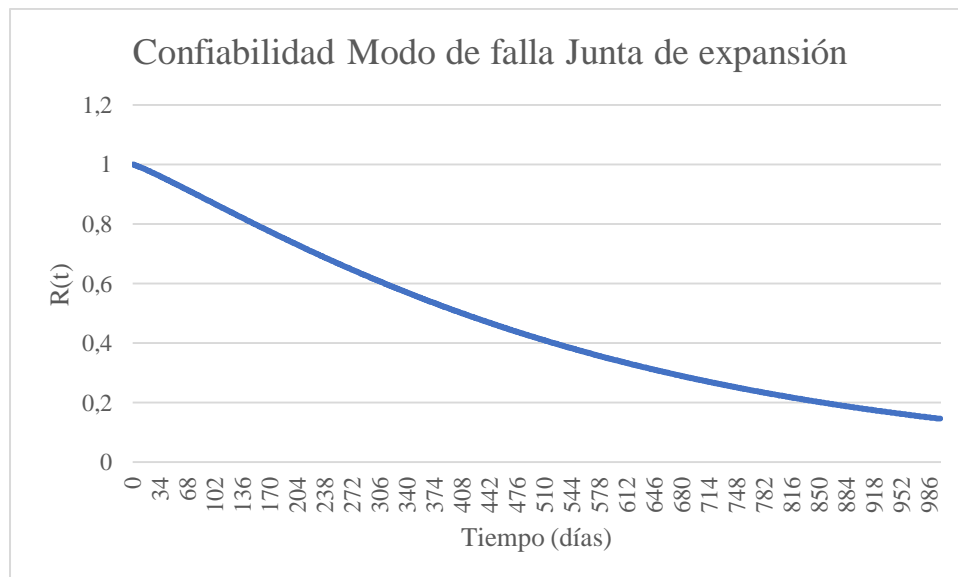


Figura 4.9: Confiabilidad Junta de expansión Bomba Estanque ATS-300

4.2.2.3. Sello estático

Los tiempos de falla para el sello estático de la bomba de salida del turboseparador ATS-300 se muestran en la Tabla 4.24.

Fecha	Falla	TTF
01-01-2011	0	Instalación
13-03-2012	1	437
09-09-2013	2	545
29-09-2014	3	385
26-10-2015	4	392
19-02-2018	5	847
29-04-2019	6	434

Tabla 4.24: Tiempo entre fallas sello estático Bomba Estanque ATS-300

A partir de los datos de la Tabla 4.24, se procede a realizar una regresión de Weibull sobre la información según lo mostrado en la Tabla 4.25, obteniendo como resultado los parámetros indicados en la Tabla 4.26.

Id	TTF	R(i)	Y	X
0		1		
1	385	0,86	-1,86982	5,95324
2	392	0,71	-1,08924	5,97126
3	434	0,57	-0,58050	6,07304
4	437	0,43	-0,16570	6,07993
5	545	0,29	0,22535	6,30079
6	847	0,14	0,66573	6,74170

Tabla 4.25: Regresión lineal Sello estático Bomba Estanque ATS-300

η	583,291
β	2,577
R^2	0,90196
MTTF	517,94 días

Tabla 4.26: Parámetros de Weibull obtenidos

Realizando el test de Mann para verificar la bondad del ajuste, se obtienen los resultados mostrados en la Tabla 4.27.

k1	k2	M	Fcrit
3	2	6,163	4,604

Tabla 4.27: Parámetros de Weibull obtenidos

Ya que $M < F_{crit}$, el ajuste realizado es correcto y se valida la distribución de Weibull como modelo.

Con los parámetros de Weibull mostrados en la Tabla 4.26, se genera la Figura 4.10 donde se muestra la confiabilidad a lo largo del tiempo.

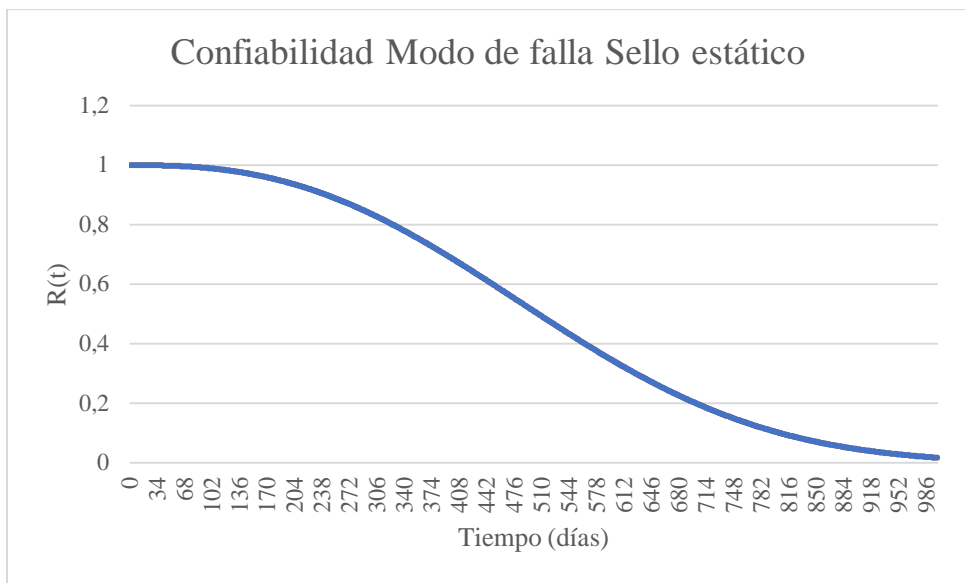


Figura 4.10: Confiabilidad Sello estático Bomba Estanque ATS-300

4.2.3. Bomba Descarga Pulper UP60

Esta bomba recibe la descarga del Pulper UP60, segundo equipo de mezcla en el proceso de creación de la pasta con la cual se crea posteriormente el papel. Aunque el fluido ya tiene una consistencia y densidad más baja que antes de entrar al pulper, esta pulpa sigue siendo de alta consistencia y con fibras de gran largo, lo que generalmente produce problemas en el sistema rotatorio de la bomba.



Figura 4.11: Bomba de descarga UP60

Las fallas presentadas por esta bomba se muestran en la Tabla 4.28.

Modo de falla	Cantidad
Rodete	11
Cañería de salida	9
Carcasa	3
Torpedo	2
Eje	1

Tabla 4.28: Modos de falla Bomba descarga UP60

El detalle respecto a cada uno de los modos de falla se muestra a continuación.

4.2.3.1. Rodete

Los tiempos de falla para el rodete de la bomba de descarga del Pulper UP60 se muestran en la Tabla 4.29.

Fecha	Falla	TTF
01-01-2011	0	Instalación
31-03-2011	1	89
09-02-2013	2	681
17-12-2014	3	676
27-11-2015	4	345
06-04-2016	5	131
20-12-2016	6	258
08-11-2017	7	323
05-11-2018	8	362
06-05-2019	9	182
07-08-2019	10	93
11-11-2019	11	96

Tabla 4.29: Tiempo entre fallas Rodete Bomba descarga UP60

A partir de los datos de la Tabla 4.29, se procede a realizar una regresión de Weibull sobre la información según lo mostrado en la Tabla 4.30, obteniendo como resultado los parámetros indicados en la Tabla 4.31.

Id	TTF	R(i)	Y	X
0		1		
1	89	0,92	-2,44172	4,48864
2	93	0,83	-1,70198	4,53260
3	96	0,75	-1,24590	4,56435
4	131	0,67	-0,90272	4,87520
5	182	0,58	-0,61805	5,20401
6	258	0,50	-0,36651	5,55296
7	323	0,42	-0,13300	5,77765
8	345	0,33	0,09405	5,84354
9	362	0,25	0,32663	5,89164

10	676	0,17	0,58320	6,51619
11	681	0,08	0,91024	6,52356

Tabla 4.30: Regresión lineal Rodete Bomba descarga UP60

η	338,27
β	1,28
R^2	0,90665
MTTF	313,4 días

Tabla 4.31: Parámetros de Weibull obtenidos

Realizando el test de Mann para verificar la bondad del ajuste, se obtienen los resultados mostrados en la Tabla 4.32.

k1	k2	M	Fcrit
5	5	1,131	2,978

Tabla 4.32: Parámetros de Weibull obtenidos

Ya que $M < F_{crit}$, el ajuste realizado es correcto y se valida la distribución de Weibull como modelo.

Con los parámetros de Weibull mostrados en la Tabla 4.31, se genera la Figura 4.12 donde se muestra la confiabilidad a lo largo del tiempo.

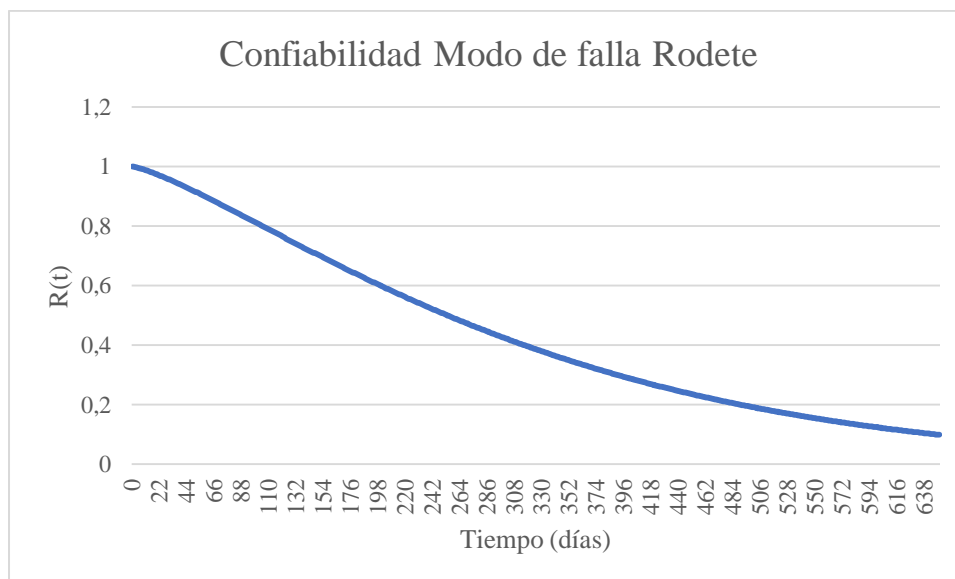


Figura 4.12: Confiabilidad Rodete Bomba descarga UP60

4.2.3.2. Cañería de salida

Los tiempos de falla para la cañería de salida de la bomba de descarga del Pulper UP60 se muestran en la Tabla 4.33.

Fecha	Falla	TTF
01-01-2011	0	Instalación
02-08-2011	1	213
05-07-2012	2	338
03-12-2012	3	151
01-04-2013	4	119
11-11-2013	5	224
06-04-2015	6	511
04-04-2016	7	364
29-08-2017	8	512
18-10-2018	9	415

Tabla 4.33: Tiempo entre fallas Cañería de salida Bomba descarga UP60

A partir de los datos de la Tabla 4.33, se procede a realizar una regresión de Weibull sobre la información según lo mostrado en la Tabla 4.34, obteniendo como resultado los parámetros indicados en la Tabla 4.35.

Id	TTF	R(i)	Y	X
0		1		
1	89	0,90	-2,25037	4,48864
2	93	0,80	-1,49994	4,53260
3	96	0,70	-1,03093	4,56435
4	131	0,60	-0,67173	4,87520
5	182	0,50	-0,36651	5,20401
6	258	0,40	-0,08742	5,55296
7	323	0,30	0,18563	5,77765
8	345	0,20	0,47588	5,84354
9	362	0,10	0,83403	5,89164

Tabla 4.34: Regresión lineal Cañería de salida Bomba descarga UP60

η	246,04
β	1,565
R^2	0,88669
MTTF	221,1 días

Tabla 4.35: Parámetros de Weibull obtenidos

Realizando el test de Mann para verificar la bondad del ajuste, se obtienen los resultados mostrados en la Tabla 4.36.

k1	k2	M	Fcrit
4	4	1,226	3,438

Tabla 4.36: Parámetros de Weibull obtenidos

Ya que $M < F_{crit}$, el ajuste realizado es correcto y se valida la distribución de Weibull como modelo.

Con los parámetros de Weibull mostrados en la Tabla 4.35, se genera la Figura 4.13 donde se muestra la confiabilidad a lo largo del tiempo.

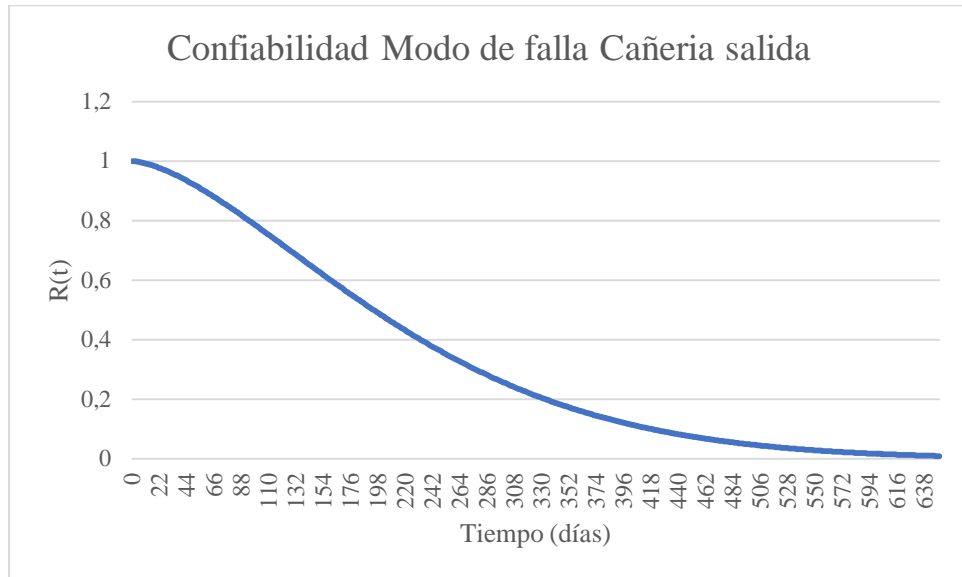


Figura 4.13: Confiabilidad Cañería de salida Bomba descarga UP60

4.2.4. Bomba Torre Almacenaje Papel Viejo

La torre de almacenaje de Papel Viejo es utilizada para almacenar la pasta luego de pasar por el proceso de su segundo filtrado a través del Pulper UP60, para ser usada en el momento que se necesite. Es por esto que esta bomba trabaja con una pasta de consistencia y densidad similar a la que sale de la bomba de descarga del Pulper UP60.



Figura 4.14: Bomba Torre Almacenaje Papel Viejo

Las fallas presentadas por esta bomba se muestran en la Tabla 4.37.

Modo de falla	Cantidad
Cañería salida	16
Sello estático	10
Rodete	7
Torpedo	6
Carcasa	1

Tabla 4.37: Modos de falla Bomba Torre Almacenaje Papel Viejo

El detalle respecto a cada uno de los modos de falla se muestra a continuación.

4.2.4.1. Cañería de salida

Los tiempos de falla para la cañería de salida de la bomba de la torre de almacenaje Papel Viejo se muestran en la Tabla 4.38.

Fecha	Falla	TTF
01-01-2011	0	Instalación
18-08-2011	1	229
27-02-2012	2	193
02-04-2012	3	35
08-05-2012	4	36
10-07-2012	5	63
14-12-2012	6	157
14-08-2014	7	608
22-04-2015	8	251
15-02-2016	9	299
02-08-2016	10	169
15-03-2017	11	225
01-10-2017	12	200
26-03-2018	13	176
13-06-2018	14	79
26-11-2018	15	166
19-08-2019	16	266

Tabla 4.38: Tiempo entre fallas Cañería de salida Bomba Torre Almacenaje Papel Viejo

A partir de los datos de la Tabla 4.38, se procede a realizar una regresión de Weibull sobre la información según lo mostrado en la Tabla 4.39, obteniendo como resultado los parámetros indicados en la Tabla 4.40.

Id	TTF	R(i)	Y	X
0		1		
1	35	0,94	-2,80305	3,55535
2	36	0,88	-2,07814	3,58352

3	63	0,82	-1,63909	4,14313
4	79	0,76	-1,31578	4,36945
5	157	0,71	-1,05467	5,05625
6	166	0,65	-0,83168	5,11199
7	169	0,59	-0,63369	5,12990
8	176	0,53	-0,45257	5,17048
9	193	0,47	-0,28267	5,26269
10	200	0,41	-0,11957	5,29832
11	225	0,35	0,04062	5,41610
12	229	0,29	0,20194	5,43372
13	251	0,24	0,36944	5,52545
14	266	0,18	0,55078	5,58350
15	299	0,12	0,76084	5,70044
16	608	0,06	1,04141	6,41017

Tabla 4.39: Regresión lineal Cañería de salida Bomba Torre Almacenaje Papel Viejo

η	228,99
β	1,332
R^2	0,92618
MTTF	210,4 días

Tabla 4.40: Parámetros de Weibull obtenidos

Realizando el test de Mann para verificar la bondad del ajuste, se obtienen los resultados mostrados en la Tabla 4.41.

k1	k2	M	Fcrit
8	7	1,028	2,444

Tabla 4.41: Parámetros de Weibull obtenidos

Ya que $M < F_{crit}$, el ajuste realizado es correcto y se valida la distribución de Weibull como modelo.

Con los parámetros de Weibull mostrados en la Tabla 4.40, se genera la Figura 4.15 donde se muestra la confiabilidad a lo largo del tiempo.

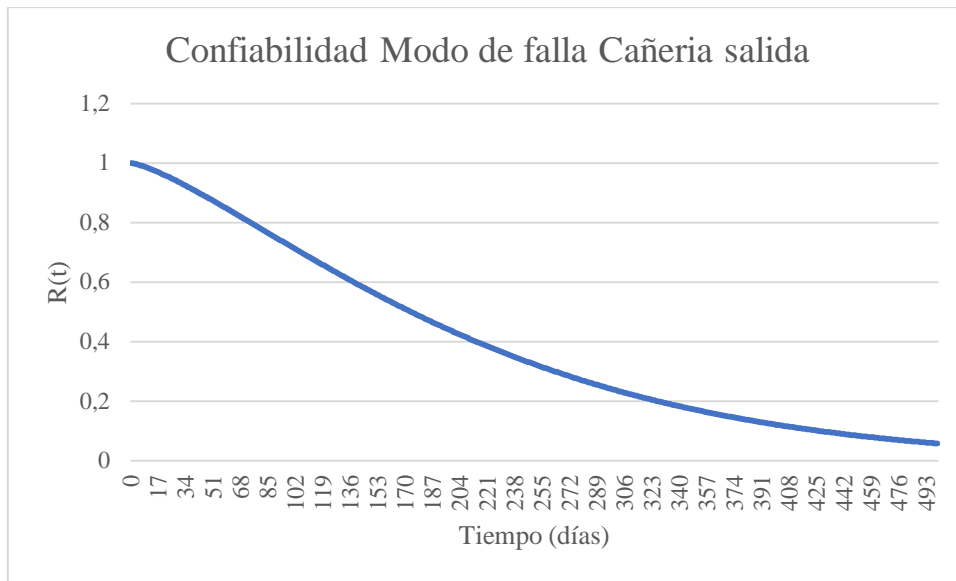


Figura 4.15: Confiabilidad Cañería de salida Bomba Torre Almacenaje Papel Viejo

4.2.4.2. Sello estático

Los tiempos de falla para el sello estático de la bomba de la torre de almacenaje Papel Viejo se muestran en la Tabla 4.41.

Fecha	Falla	TTF
01-01-2011	0	Instalación
18-08-2011	1	229
24-07-2012	2	341
23-05-2013	3	303
09-12-2013	4	200
09-10-2015	5	669
05-10-2016	6	362
08-06-2017	7	246
13-06-2018	8	370
11-07-2018	9	28
26-11-2018	10	138

Tabla 4.41: Tiempo entre fallas Sello estático Bomba Torre Almacenaje Papel Viejo

A partir de los datos de la Tabla 4.42, se procede a realizar una regresión de Weibull sobre la información según lo mostrado en la Tabla 4.43, obteniendo como resultado los parámetros indicados en la Tabla 4.44.

Id	TTF	R(i)	Y	X
0		1		
1	28	0,91	-2,35062	3,33220
2	138	0,82	-1,60609	4,92725
3	200	0,73	-1,14428	5,29832
4	229	0,64	-0,79411	5,43372

5	246	0,55	-0,50065	5,50533
6	303	0,45	-0,23768	5,71373
7	341	0,36	0,01153	5,83188
8	362	0,27	0,26181	5,89164
9	370	0,18	0,53342	5,91350
10	669	0,09	0,87459	6,50578

Tabla 4.43: Regresión lineal Sello estático Bomba Torre Almacenaje Papel Viejo

η	360,766
β	1,093
R^2	0,92474
MTTF	348,8 días

Tabla 4.44: Parámetros de Weibull obtenidos

Realizando el test de Mann para verificar la bondad del ajuste, se obtienen los resultados mostrados en la Tabla 4.45.

k1	k2	M	Fcrit
5	4	0,845	3,347

Tabla 4.45: Parámetros de Weibull obtenidos

Ya que $M < F_{crit}$, el ajuste realizado es correcto y se valida la distribución de Weibull como modelo.

Con los parámetros de Weibull mostrados en la Tabla 4.44, se genera la Figura 4.16 donde se muestra la confiabilidad a lo largo del tiempo.

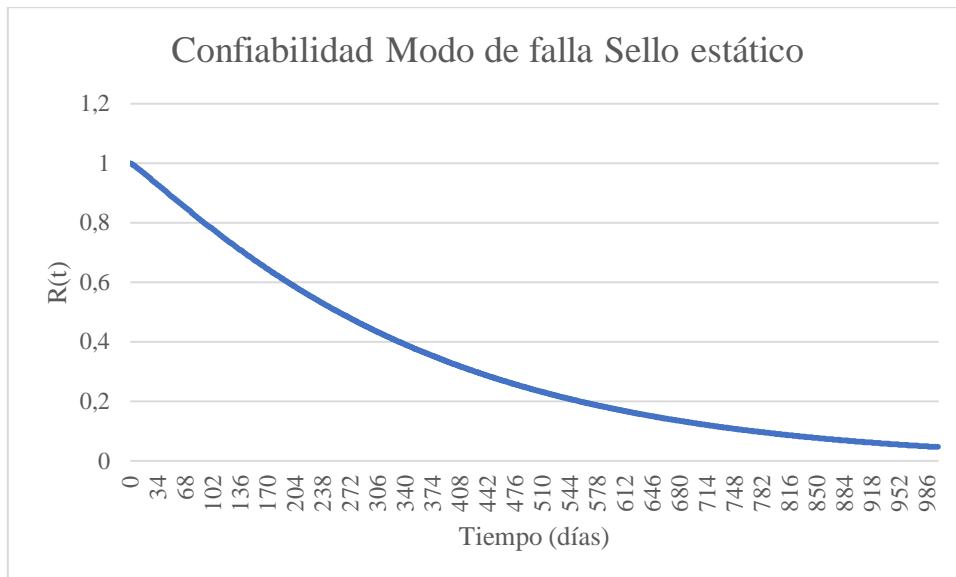


Figura 4.16: Confiabilidad Sello estático Bomba Torre Almacenaje Papel Viejo

4.2.4.3. Rodete

Los tiempos de falla para el rodete de la bomba de la torre de almacenaje Papel Viejo se muestran en la Tabla 4.46.

Fecha	Falla	TTF
01-01-2011	0	Instalación
11-08-2011	1	222
16-08-2012	2	371
28-04-2014	3	620
24-08-2015	4	483
05-06-2017	5	651
13-08-2018	6	434
21-09-2019	7	404

Tabla 4.46: Tiempo entre fallas Rodete Bomba Torre Almacenaje Papel Viejo

A partir de los datos de la Tabla 4.46, se procede a realizar una regresión de Weibull sobre la información según lo mostrado en la Tabla 4.47, obteniendo como resultado los parámetros indicados en la Tabla 4.48.

Id	TTF	R(i)	Y	X
0		1		
1	222	0,88	-2,01342	5,40268
2	371	0,75	-1,24590	5,91620
3	404	0,63	-0,75501	6,00141
4	434	0,50	-0,36651	6,07304
5	483	0,38	-0,01936	6,18002
6	620	0,25	0,32663	6,42972
7	651	0,13	0,73210	6,47851

Tabla 4.47: Regresión lineal Rodete Bomba Torre Almacenaje Papel Viejo

η	521,027
β	2,553
R^2	0,95098
MTTF	462,5 días

Tabla 4.48: Parámetros de Weibull obtenidos

Realizando el test de Mann para verificar la bondad del ajuste, se obtienen los resultados mostrados en la Tabla 4.49.

k1	k2	M	Fcrit
3	3	1,398	4,283

Tabla 4.49: Parámetros de Weibull obtenidos

Ya que $M < F_{crit}$, el ajuste realizado es correcto y se valida la distribución de Weibull como modelo.

Con los parámetros de Weibull mostrados en la Tabla 4.48, se genera la Figura 4.17 donde se muestra la confiabilidad a lo largo del tiempo.

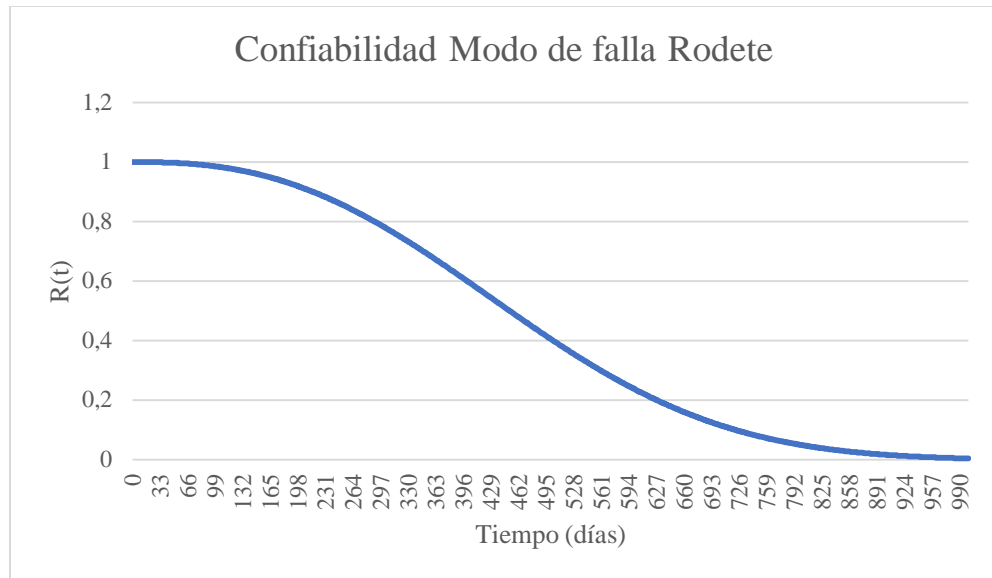


Figura 4.17: Confiabilidad Rodete Bomba Torre Almacenaje Papel Viejo

4.2.5. Bomba Alimentación 3ª Etapa Cleaners

Las bombas de alimentación a los equipos de depuración (cleaners) trabajan con una pasta de consistencia baja (4 a 5% BD), además de haber pasado por todos los procesos anteriores de filtrado de contaminantes de gran y mediano tamaño. Los equipos Cleaner son utilizados para remover las impurezas más pequeñas de la pasta antes de ser utilizada para la fabricación del papel.



Figura 4.18: Bomba Alimentación 3era Etapa Cleaners

Las fallas presentadas por esta bomba se muestran en la Tabla 4.50.

Modo de falla	Cantidad
Rodete	10
Torpedo	6
Carcasa	3
Cañería de salida	2
Expulsor	2
Eje	1

Tabla 4.50: Modos de falla Bomba Alimentación 3ª Etapa Cleaners

El detalle respecto a cada uno de los modos de falla se muestra a continuación.

4.2.5.1. Rodete

Los tiempos de falla para el rodete de la bomba de alimentación 3ª Etapa Cleaners se muestran en la Tabla 4.51.

Fecha	Falla	TTF
01-01-2011	0	Instalación
30-08-2011	1	241
30-12-2011	2	122
29-04-2013	3	486
03-09-2013	4	127
16-06-2014	5	286
06-07-2015	6	385
25-02-2016	7	234
25-05-2017	8	455
25-10-2018	9	518
23-04-2019	10	180

Tabla 4.51: Tiempo entre fallas Rodete Bomba Alimentación 3ª Etapa Cleaners

A partir de los datos de la Tabla 4.51, se procede a realizar una regresión de Weibull sobre la información según lo mostrado en la Tabla 4.52, obteniendo como resultado los parámetros indicados en la Tabla 4.53.

Id	TTF	R(i)	Y	X
0		1		
1	122	0,91	-2,35062	4,80402
2	127	0,82	-1,60609	4,84419
3	180	0,73	-1,14428	5,19296
4	234	0,64	-0,79411	5,45532
5	241	0,55	-0,50065	5,48480
6	286	0,45	-0,23768	5,65599
7	385	0,36	0,01153	5,95324

8	455	0,27	0,26181	6,12030
9	486	0,18	0,53342	6,18621
10	518	0,09	0,87459	6,24998

Tabla 4.52: Regresión lineal Rodete Bomba Alimentación 3ª Etapa Cleaners

η	352,517
β	1,831
R^2	0,95555
MTTF	313,2 días

Tabla 4.53: Parámetros de Weibull obtenidos

Realizando el test de Mann para verificar la bondad del ajuste, se obtienen los resultados mostrados en la Tabla 4.54.

k1	k2	M	Fcrit
5	4	1,328	3,347

Tabla 4.54: Parámetros de Weibull obtenidos

Ya que $M < F_{crit}$, el ajuste realizado es correcto y se valida la distribución de Weibull como modelo.

Con los parámetros de Weibull mostrados en la Tabla 4.52, se genera la Figura 4.19 donde se muestra la confiabilidad a lo largo del tiempo.

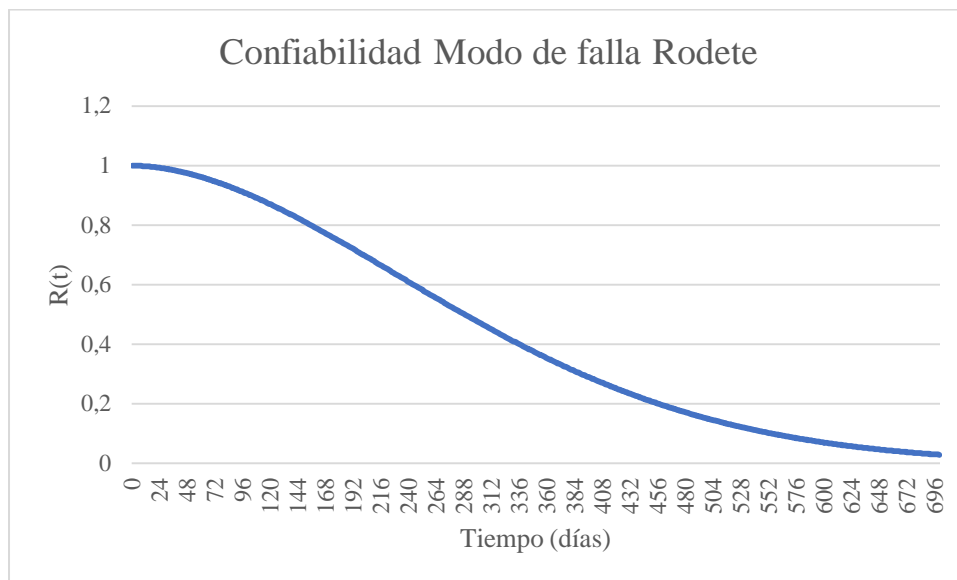


Figura 4.19: Confiabilidad Rodete Bomba Alimentación 3ª Etapa Cleaners

4.2.5.2. Torpedo

Los tiempos de falla para el torpedo de la bomba de alimentación 3ª Etapa Cleaners se muestran en la Tabla 4.55.

Fecha	Falla	TTF
01-01-2011	0	Instalación
19-02-2012	1	414
26-08-2013	2	554
14-07-2014	3	322
13-07-2015	4	364
20-06-2016	5	343
08-11-2018	6	871

Tabla 4.55: Tiempo entre fallas Torpedo Bomba Alimentación 3ª Etapa Cleaners

A partir de los datos de la Tabla 4.55, se procede a realizar una regresión de Weibull sobre la información según lo mostrado en la Tabla 4.56, obteniendo como resultado los parámetros indicados en la Tabla 4.57.

Id	TTF	R(i)	Y	X
0		1		
1	322	0,86	-1,86982	5,77455
2	343	0,71	-1,08924	5,83773
3	364	0,57	-0,58050	5,89715
4	414	0,43	-0,16570	6,02587
5	554	0,29	0,22535	6,31716
6	871	0,14	0,66573	6,76964

Tabla 4.56: Regresión lineal Torpedo Bomba Alimentación 3ª Etapa Cleaners

η	557,538
β	2,133
R^2	0,87296
MTTF	493,7 días

Tabla 4.57: Parámetros de Weibull obtenidos

Realizando el test de Mann para verificar la bondad del ajuste, se obtienen los resultados mostrados en la Tabla 4.58.

k1	k2	M	Fcrit
3	2	5,540	6,163

Tabla 4.58: Parámetros de Weibull obtenidos

Ya que $M < F_{crit}$, el ajuste realizado es correcto y se valida la distribución de Weibull como modelo.

Con los parámetros de Weibull mostrados en la Tabla 4.57, se genera la Figura 4.20 donde se muestra la confiabilidad a lo largo del tiempo.

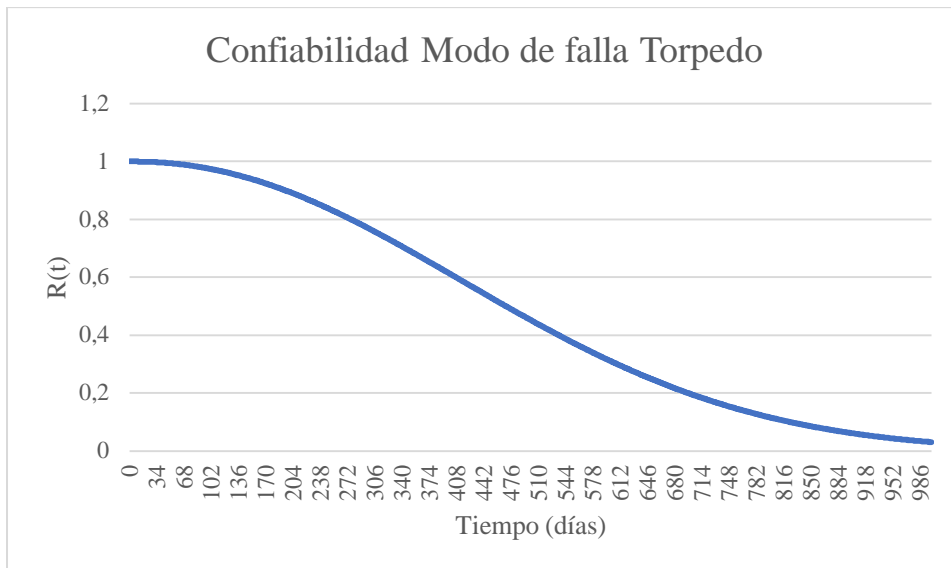


Figura 4.20: Confiabilidad Torpedo Bomba Alimentación 3ª Etapa Cleaners

4.2.6. Bomba Red de agua fresca a Red de lavado

Esta bomba, a diferencia de las estudiadas hasta este momento, tiene como función suplir agua clara la que es utilizada para limpiar el papel una vez se encuentra en su proceso de fabricación, mediante regaderas que rocían agua a presión en la superficie del papel mientras este circula por los polines del proceso de formación.

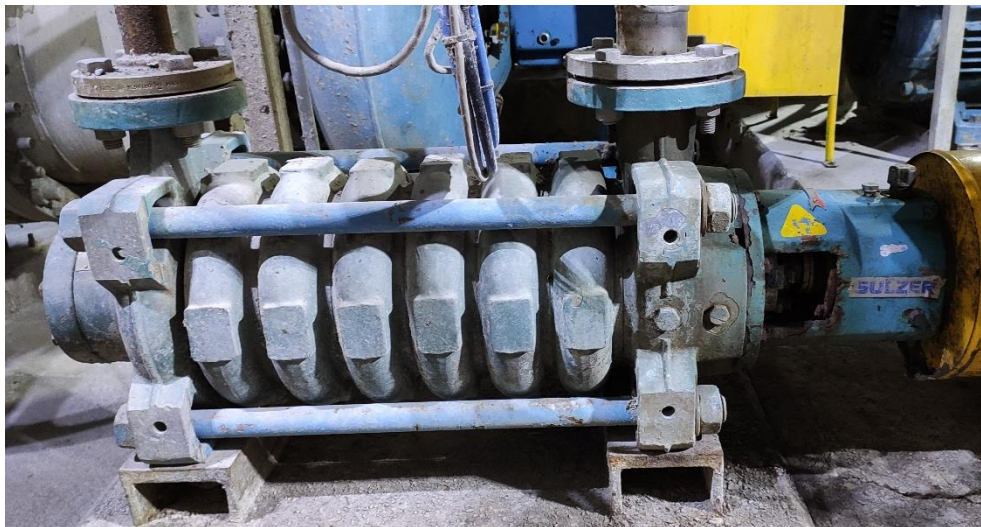


Figura 4.21: Bomba Red de agua fresca a Red de lavado

Las fallas presentadas por esta bomba se muestran en la Tabla 4.59.

Modo de falla	Cantidad
Sello mecánico	7
Prensa Estopa	3
Deflector	2
Junta de expansión	1

Tabla 4.59: Modos de falla Bomba Red de agua fresca a Red de lavado

El detalle respecto a los modos de falla estudiados se muestra a continuación.

4.2.6.1. Sello mecánico

Los tiempos de falla para el sello mecánico de la bomba red de agua fresca a red de lavado se muestran en la Tabla 4.60.

Fecha	Falla	TTF
01-01-2011	0	Instalación
31-05-2012	1	516
03-11-2013	2	521
12-06-2014	3	221
26-02-2016	4	624
26-08-2016	5	182
01-08-2017	6	340
24-12-2018	7	510

Tabla 4.60: Tiempo entre fallas Sello mecánico Bomba Red de agua fresca a Red de lavado

A partir de los datos de la Tabla 4.60, se procede a realizar una regresión de Weibull sobre la información según lo mostrado en la Tabla 4.61, obteniendo como resultado los parámetros indicados en la Tabla 4.62.

Id	TTF	R(i)	Y	X
0		1		
1	182	0,88	-2,01342	5,20401
2	221	0,75	-1,24590	5,39816
3	340	0,63	-0,75501	5,82895
4	510	0,50	-0,36651	6,23441
5	516	0,38	-0,01936	6,24611
6	521	0,25	0,32663	6,25575
7	624	0,13	0,73210	6,43615

Tabla 4.61: Regresión lineal Sello mecánico Bomba Red de agua fresca a Red de lavado

η	490,361
β	1,896
R^2	0,92153
MTTF	435,1 días

Tabla 4.62: Parámetros de Weibull obtenidos

Realizando el test de Mann para verificar la bondad del ajuste, se obtienen los resultados mostrados en la Tabla 4.63.

k1	k2	M	Fcrit
3	3	0,245	4,283

Tabla 4.63: Parámetros de Weibull obtenidos

Ya que $M < F_{crit}$, el ajuste realizado es correcto y se valida la distribución de Weibull como modelo.

Con los parámetros de Weibull mostrados en la Tabla 4.62, se genera la Figura 4.22 donde se muestra la confiabilidad a lo largo del tiempo.

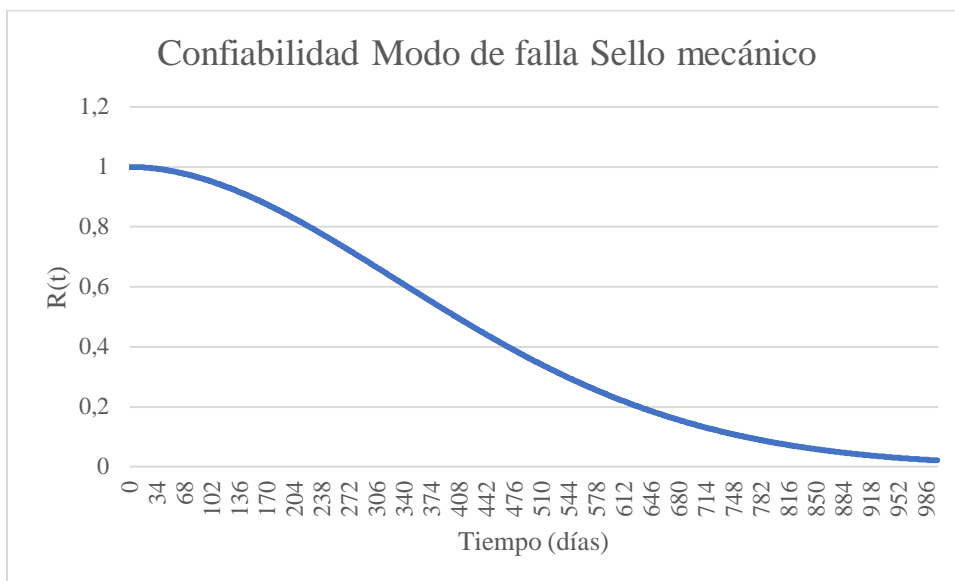


Figura 4.22: Confiabilidad Sello mecánico Bomba Red de agua fresca a Red de lavado

4.2.7. Bomba Descarga Estanque Sedimentación

Esta bomba se encuentra ubicada en la descarga del estanque de sedimentación que recoge el material de desecho del Pulper UP90, por lo que este material consiste principalmente en una pulpa de gran consistencia y residuos de descarte. Para recuperar la materia prima esta es filtrada dentro del estanque y luego enviada nuevamente al Pulper.



Figura 4.23: Bomba Descarga Estanque Sedimentación

Las fallas presentadas por esta bomba se muestran en la Tabla 4.64.

Modo de falla	Cantidad
Rodete	9
Plato desgaste	4
Sello mecánico	3
Carcasa	3

Tabla 4.64: Modos de falla Bomba Descarga Estanque Sedimentación

El detalle respecto a los modos de falla estudiados se muestra a continuación.

4.2.7.1. Rodete

Los tiempos de falla para el rodete de la bomba de descarga estanque sedimentación se muestran en la Tabla 4.65.

Fecha	Falla	TTF
01-01-2011	0	Instalación
15-05-2012	1	500
02-05-2013	2	352
11-11-2013	3	193
20-10-2014	4	343
04-06-2015	5	227
20-01-2016	6	230
17-05-2016	7	118
03-08-2017	8	443
05-10-2018	9	428

Tabla 4.65: Tiempo entre fallas Rodete Bomba Descarga Estanque Sedimentación

A partir de los datos de la Tabla 4.65, se procede a realizar una regresión de Weibull sobre la información según lo mostrado en la Tabla 4.66, obteniendo como resultado los parámetros indicados en la Tabla 4.67.

Id	TTF	R(i)	Y	X
0		1		
1	118	0,90	-2,25037	4,77068
2	193	0,80	-1,49994	5,26269
3	227	0,70	-1,03093	5,42495
4	230	0,60	-0,67173	5,43808
5	343	0,50	-0,36651	5,83773
6	352	0,40	-0,08742	5,86363
7	428	0,30	0,18563	6,05912
8	443	0,20	0,47588	6,09357
9	500	0,10	0,83403	6,21461

Tabla 4.66: Regresión lineal Rodete Bomba Descarga Estanque Sedimentación

η	365,494
β	2,055
R^2	0,96916
MTTF	323,7 días

Tabla 4.67: Parámetros de Weibull obtenidos

Realizando el test de Mann para verificar la bondad del ajuste, se obtienen los resultados mostrados en la Tabla 4.68.

k1	k2	M	Fcrit
4	4	0,598	3,483

Tabla 4.68: Parámetros de Weibull obtenidos

Ya que $M < F_{crit}$, el ajuste realizado es correcto y se valida la distribución de Weibull como modelo.

Con los parámetros de Weibull mostrados en la Tabla 4.67, se genera la Figura 4.24 donde se muestra la confiabilidad a lo largo del tiempo.

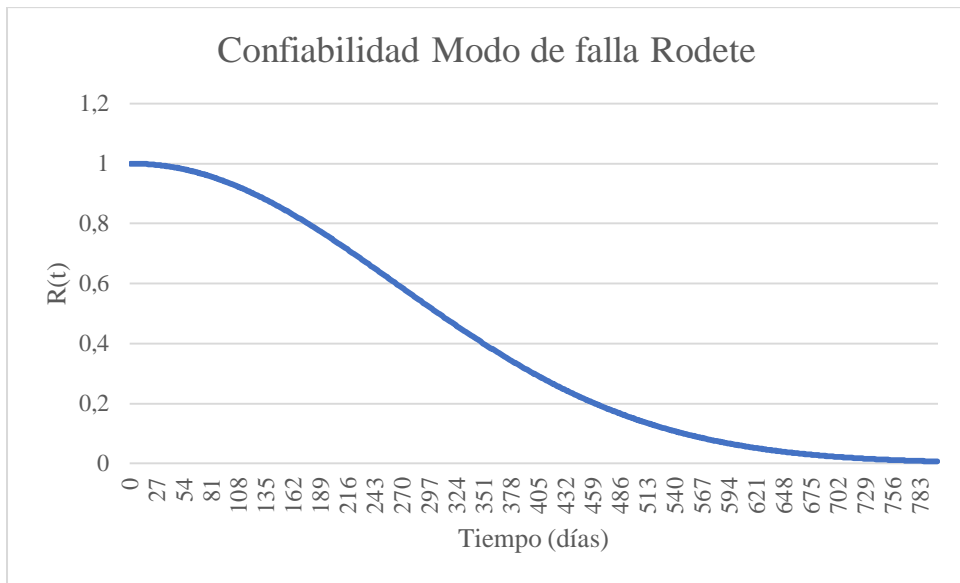


Figura 4.24: Confiabilidad Rodete Bomba Descarga Estanque Sedimentación

4.2.8. Bomba Alimentación 1era Etapa Cleaners

Esta bomba es utilizada para alimentar el primer equipo de limpieza (Cleaner) de la pasta, dentro de un circuito compuesto por cuatro equipos usados para remover impurezas dentro de la materia utilizada para la fabricación del papel.



Figura 4.25: Bomba Alimentación 1era Etapa Cleaners

Las fallas presentadas por esta bomba se muestran en la Tabla 4.69.

Modo de falla	Cantidad
Sello estático	7
Eje	2
Carcasa	2
Rodete	1

Tabla 4.69: Modos de falla Bomba Alimentación 1era Etapa Cleaners

El detalle respecto a los modos de falla estudiados se muestra a continuación.

4.2.8.1. Sello estático

Los tiempos de falla para el sello estático de la bomba alimentación 1era Etapa Cleaners se muestran en la Tabla 4.70.

Fecha	Falla	TTF
01-01-2011	0	Instalación
16-02-2012	1	411
06-09-2012	2	203
08-06-2014	3	640
06-10-2015	4	485
31-05-2016	5	238
24-02-2017	6	269
28-08-2017	7	185

Tabla 4.70: Tiempo entre fallas Sello estático Bomba Alimentación 1era Etapa Cleaners

A partir de los datos de la Tabla 4.70, se procede a realizar una regresión de Weibull sobre la información según lo mostrado en la Tabla 4.71, obteniendo como resultado los parámetros indicados en la Tabla 4.72.

Id	TTF	R(i)	Y	X
0		1		
1	185	0,88	-2,01342	5,22036
2	203	0,75	-1,24590	5,31321
3	238	0,63	-0,75501	5,47227
4	269	0,50	-0,36651	5,59471
5	411	0,38	-0,01936	6,01859
6	485	0,25	0,32663	6,18415
7	640	0,13	0,73210	6,46147

Tabla 4.71: Regresión lineal Sello estático Bomba Alimentación 1era Etapa Cleaners

η	404,902
β	1,898
R^2	0,90016
MTTF	359,3 días

Tabla 4.72: Parámetros de Weibull obtenidos

Realizando el test de Mann para verificar la bondad del ajuste, se obtienen los resultados mostrados en la Tabla 4.73.

k1	k2	M	Fcrit
3	3	3,431	4,283

Tabla 4.73: Parámetros de Weibull obtenidos

Ya que $M < F_{crit}$, el ajuste realizado es correcto y se valida la distribución de Weibull como modelo.

Con los parámetros de Weibull mostrados en la Tabla 4.72, se genera la Figura 4.26 donde se muestra la confiabilidad a lo largo del tiempo.

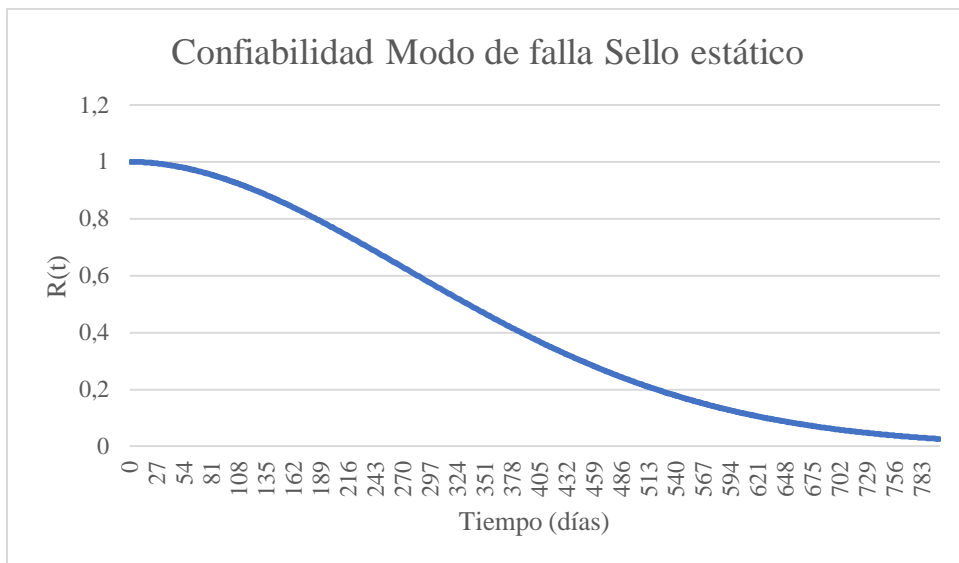


Figura 4.26: Confiabilidad Sello estático Bomba Alimentación 1era Etapa Cleaners

4.2.9. Bomba Cuba De Transferencia Fibra Larga

La bomba de la cuba de transferencia de fibra larga es utilizada para transportar, en el momento en que sea necesario por el proceso, la pulpa de mayor consistencia desde el estanque en que es recolectada hasta la zona de formación de papel.



Figura 4.27: Bomba Cuba de Transferencia Fibra Larga

Las fallas presentadas por esta bomba se muestran en la Tabla 4.74.

Modo de falla	Cantidad
Sello estático	7
Torpedo	3
Rodete	2
Plato de desgaste	2
Carcasa	2
Eje	1

Tabla 4.74: Modos de falla Bomba Cuba De Transferencia Fibra Larga

El detalle respecto a los modos de falla estudiados se muestra a continuación.

4.2.9.1. Sello estático

Los tiempos de falla para el sello estático de la bomba cuba de transferencia fibra larga se muestran en la Tabla 4.75.

Fecha	Falla	TTF
01-01-2011	0	Instalación
17-12-2012	1	716
13-08-2015	2	969
19-01-2016	3	159
15-11-2016	4	301
05-04-2017	5	141
23-09-2018	6	536
30-12-2019	7	463

Tabla 4.75: Tiempo entre fallas Sello estático Bomba Cuba De Transferencia Fibra Larga

A partir de los datos de la Tabla 4.75, se procede a realizar una regresión de Weibull sobre la información según lo mostrado en la Tabla 4.76, obteniendo como resultado los parámetros indicados en la Tabla 4.77.

Id	TTF	R(i)	Y	X
0		1		
1	141	0,88	-2,01342	4,94876
2	159	0,75	-1,24590	5,06890
3	301	0,63	-0,75501	5,70711
4	463	0,50	-0,36651	6,18415
5	536	0,38	-0,01936	6,28413
6	716	0,25	0,32663	6,57368
7	969	0,13	0,73210	6,87626

Tabla 4.76: Regresión lineal Sello estático Bomba Cuba De Transferencia Fibra Larga

η	560,642
β	1,256
R^2	0,95703
MTTF	521,6 días

Tabla 4.77: Parámetros de Weibull obtenidos

Realizando el test de Mann para verificar la bondad del ajuste, se obtienen los resultados mostrados en la Tabla 4.78.

k1	k2	M	Fcrit
3	3	0,743	4,283

Tabla 4.78: Parámetros de Weibull obtenidos

Ya que $M < F_{crit}$, el ajuste realizado es correcto y se valida la distribución de Weibull como modelo.

Con los parámetros de Weibull mostrados en la Tabla 4.77, se genera la Figura 4.28 donde se muestra la confiabilidad a lo largo del tiempo.

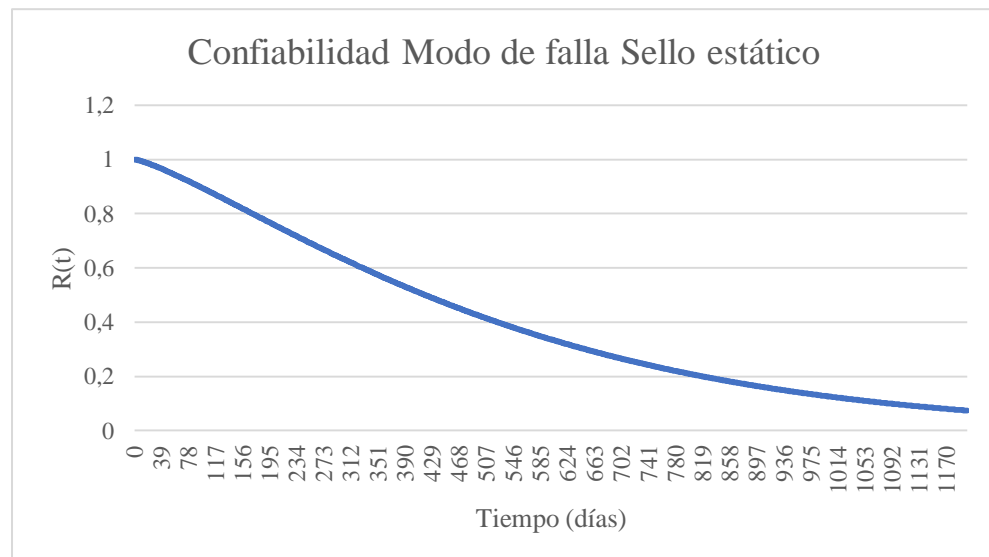


Figura 4.28: Confiabilidad Sello estático Bomba Cuba De Transferencia Fibra Larga

4.2.10. Bomba Alimentación Torre Bombeo Estanque Fibra Larga

Esta bomba es utilizada para alimentar el estanque de recolección de la pulpa de fibra larga, donde es reunida para su posterior utilización en el proceso de fabricación del papel.



Figura 4.29: Bomba Cuba de Transferencia Fibra Larga

Las fallas presentadas por esta bomba se muestran en la Tabla 4.79.

Modo de falla	Cantidad
Junta de expansión	7
Tapa Carcasa	4
Rodete	3
Eje	2
Carcasa	1

Tabla 4.79: Modos de falla Bomba Alimentación Torre Bombeo Estanque Fibra Larga

El detalle respecto a los modos de falla estudiados se muestra a continuación.

4.2.10.1. Junta de expansión

Los tiempos de falla para la junta de expansión de la bomba alimentación torre bombeo estanque fibra larga se muestran en la Tabla 4.80.

Fecha	Falla	TTF
01-01-2011	0	Instalación
10-01-2012	1	374
19-03-2013	2	434
26-11-2013	3	252
24-08-2015	4	636
21-07-2016	5	332
05-01-2019	6	898
21-11-2019	7	320

Tabla 4.80: Tiempo entre fallas Junta de expansión Bomba Cuba De Transferencia Fibra Larga

A partir de los datos de la Tabla 4.80, se procede a realizar una regresión de Weibull sobre la información según lo mostrado en la Tabla 4.81, obteniendo como resultado los parámetros indicados en la Tabla 4.82.

Id	TTF	R(i)	Y	X
0		1		
1	252	0,88	-2,01342	5,52943
2	320	0,75	-1,24590	5,76832
3	332	0,63	-0,75501	5,80513
4	374	0,50	-0,36651	5,92426
5	434	0,38	-0,01936	6,07304
6	636	0,25	0,32663	6,45520
7	898	0,13	0,73210	6,80017

Tabla 4.81: Regresión lineal Junta de expansión Bomba Cuba De Transferencia Fibra Larga

η	538,499
β	2,006
R^2	0,86608
MTTF	477,2 días

Tabla 4.82: Parámetros de Weibull obtenidos

Realizando el test de Mann para verificar la bondad del ajuste, se obtienen los resultados mostrados en la Tabla 4.83.

k1	k2	M	Fcrit
3	3	3,985	4,283

Tabla 4.83: Parámetros de Weibull obtenidos

Ya que $M < F_{crit}$, el ajuste realizado es correcto y se valida la distribución de Weibull como modelo.

Con los parámetros de Weibull mostrados en la Tabla 4.82, se genera la Figura 4.30 donde se muestra la confiabilidad a lo largo del tiempo.

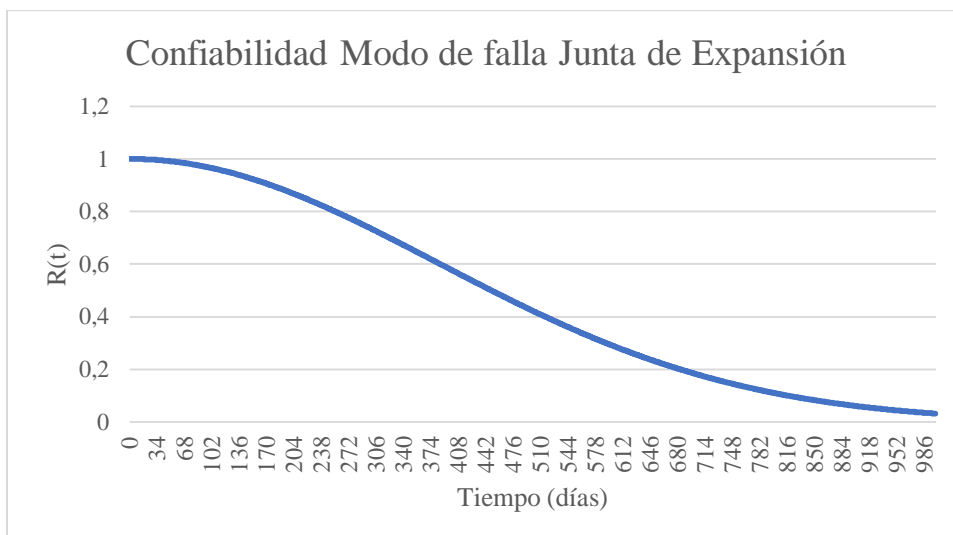


Figura 4.30: Confiabilidad Junta de expansión Bomba Cuba De Transferencia Fibra Larga

4.3. Selección de estrategia de mantenimiento

Con tal de determinar la estrategia correcta de mantenimiento a seguir, a continuación, se muestra el detalle de los costos que se encuentran ligados a la mantención de los distintos equipos estudiados, según como fueron definidos en la sección 2.2.4 “Selección de la estrategia de mantenimiento”.

Para definir el Costo de falla, tanto en el caso preventivo como correctivo, se considerará el valor del margen marginal, el cual es definido como la ganancia neta de ingresar una tonelada de papel a un mercado saturado por este producto, y que a la fecha del 01 de Diciembre del 2019 se encuentra valorizado en 6000 [USD/hora] de producción, lo que corresponde a 4.754.880 [CLP/hora].

En el caso del Costo de intervención, se considera el costo de la mano de obra necesaria para realizar los trabajos. Para llevar a cabo estas mantenciones se utiliza mano de obra contratista, la cual es solicitada según necesidad, y siempre es cotizada por equipos de trabajo, los que se encuentran compuestos por un maestro mecánico y un ayudante mecánico. Los valores cancelados a las empresas contratistas por cada HH trabajada por equipo mecánico se pueden observar en la Tabla 4.84.

Cargo	Costo HH [CLP/h]
Maestro mecánico	5.000
Ayudante mecánico	3.000
Total equipo:	8.000

Tabla 4.84: Costo de HH según calificación del personal

Finalmente, el valor asociado a los repuestos utilizados para llevar a cabo los mantenimientos indicados anteriormente se muestran en la Tabla 4.85.

Repuesto	Costo [CLP]
Carcasa Bomba Sulzer NPP 44-150	14.352.410
Rodete Vortex Bomba Sulzer NPP 44-150	3.230.870
Cañería de salida Bomba Sulzer NPP 44-150	297.028
Junta de expansión Bomba Sulzer NPP 44-150	130.460
Cañería de salida Bomba Sulzer NPP 44-200	372.213
Sello estático Bomba Sulzer NPP 44-200	287.218
Rodete Bomba Sulzer APP31-125	2.123.925
Torpedo Bomba Sulzer APP31-125	1.827.773
Sello mecánico Bomba Sulzer HPP 207-40	669.538
Sello estático Bomba Sulzer APP51-300	51.809
Rodete Bomba Sulzer NPP33-100	3.207.196
Junta de expansión Bomba MCE22-100	97.642

Tabla 4.85: Valor de los repuestos utilizados

Con esta información, se procede a seleccionar la estrategia de mantenimiento a partir de lo indicado en la Sección 2.2.4.

Para definir por completo los costos de realizar mantenciones preventivas y correctivas, deben definirse los tiempos que demoran estas intervenciones actualmente. Estos tiempos fueron estimados a partir de las duraciones de cada orden de trabajo generadas para realizar las mantenciones, y se pueden observar en la Tabla 4.86 a continuación.

Tarea	Duración Preventivo [h]	Duración Correctivo [h]
Cambio Rodete 130-21_075	4	7
Cambio Cañería de salida 130-21_075	3	6
Cambio Carcasa 130-21_075	5	9
Cambio Rodete 130-21_013	4	7
Cambio Cañería de salida 130-21_013	3	6
Cambio Junta de expansión 130-21_095	2	5
Cambio Sello estático 130-21_095	3	6
Cambio Cañería de salida 130-21_077	4	7
Cambio Sello estático 130-21_077	3	6
Cambio Rodete 130-21_077	4	7
Cambio Rodete 130-21_088	4	8
Cambio Torpedo 130-21_088	3	6
Cambio Sello mecánico 080-21_065	3	6
Cambio Sello estático 130-21_086	2	5
Cambio Sello estático 130-21_093	2	5
Cambio Rodete 130-21_076	3	6
Cambio Junta de Expansión 130-21_098	2	5

Tabla 4.86: Duración de mantenciones estudiadas

Las diferencias entre las duraciones de intervención preventiva y correctiva son atribuidas al tiempo de preparación que se requiere antes de ejecutar el trabajo, como la desenergización de los equipos o zonas en las cuales se trabajará, el traslado de los repuestos desde bodega y pañol hacía el sector en donde se realizará la mantención.

Una de las principales ventajas de realizar el cambio de componentes de manera preventiva es que será llevado a cabo durante una Parada de Planta, instancia en la que se ejecutan aproximadamente 50 trabajos por parada, por lo que el cálculo del lucro cesante se hará en base a la proporción de tiempo de producción perdida por concepto del trabajo analizado, es decir:

$$C_{f,p} \cong \frac{\text{Costo lucro cesante}}{50}$$

4.3.1. Bomba Descarga Pulper UP90

4.3.1.1. Rodete

Los costos calculados para el cambio preventivo de rodete se observan en la Tabla 4.87.

Rodete nuevo [CLP]	3.230.870
Mano de obra [CLP]	32.000
Costo de Falla [CLP]	361.920
Total Costo Preventivo [CLP]	3.624.790

Tabla 4.87: Costo mant. preventivo cambio Rodete Bomba 130-21_075

Mientras que el costo de un cambio correctivo de rodete se observa en la Tabla 4.88.

Rodete nuevo [CLP]	3.230.870
Mano de obra [CLP]	56.000
Costo de Falla [CLP]	31.668.000
Total Costo Correctivo [CLP]	34.954.870

Tabla 4.88: Costo mant. correctivo cambio Rodete Bomba 130-21_075

El gráfico que muestra la curva del costo de mantenimiento en función del tiempo entre intervenciones se muestra en la Figura 4.31. Los valores obtenidos al minimizar el costo total de mantenimiento se observan en la Tabla 4.89.

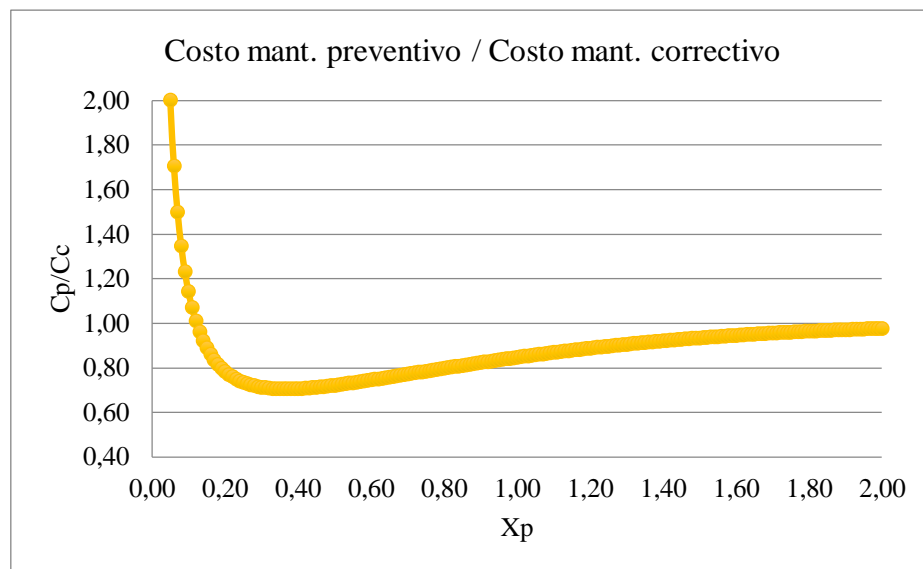


Figura 4.31: Curva Cp/Cc

Cp/Cc mínimo	0,7045
Xp	0,3663
Tp [días]	44

Tabla 4.89: Resultados de proceso de minimización

4.3.1.2. Cañería de salida

Los costos calculados para el cambio preventivo de cañería de salida se observan en la Tabla 4.90.

Cañería nueva [CLP]	297.028
Mano de obra [CLP]	24.000
Costo de Falla [CLP]	271.440
Total Costo Preventivo [CLP]	592.468

Tabla 4.90: Costo mant. preventivo cambio Cañería Bomba 130-21_075

Mientras que el costo de un cambio correctivo de rodete se observa en la Tabla 4.91.

Cañería nueva [CLP]	297.028
Mano de obra [CLP]	48.000
Costo de Falla [CLP]	27.144.000
Total Costo Correctivo [CLP]	27.489.028

Tabla 4.91: Costo mant. correctivo cambio Cañería Bomba 130-21_075

El gráfico que muestra la curva del costo de mantenimiento en función del tiempo entre intervenciones se muestra en la Figura 4.32. Los valores obtenidos al minimizar el costo total de mantenimiento se observan en la Tabla 4.92.

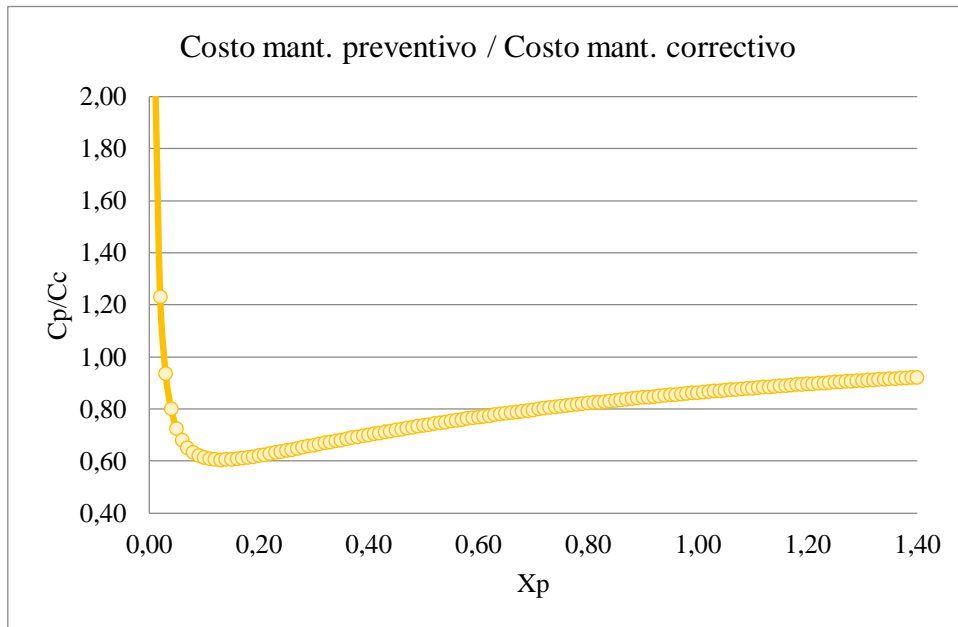


Figura 4.32: Curva Cp/Cc

Cp/Cc mínimo	0,6054
Xp	0,1313
Tp [días]	28

Tabla 4.92: Resultados de proceso de minimización

4.3.1.3. Carcasa

Los costos calculados para el cambio preventivo de carcasa se observan en la Tabla 4.93.

Carcasa nueva [CLP]	14.352.410
Mano de obra [CLP]	40.000
Costo de Falla [CLP]	452.400
Total Costo Preventivo [CLP]	14.994.810

Tabla 4.93: Costo mant. preventivo cambio Carcasa Bomba 130-21_075

Mientras que el costo de un cambio correctivo de rodete se observa en la Tabla 4.94.

Carcasa nueva [CLP]	14.352.410
Mano de obra [CLP]	72.000
Costo de Falla [CLP]	40.716.000
Total Costo Correctivo [CLP]	55.410.810

Tabla 4.94: Costo mant. correctivo cambio Carcasa Bomba 130-21_075

El gráfico que muestra la curva del costo de mantenimiento en función del tiempo entre intervenciones se muestra en la Figura 4.33.

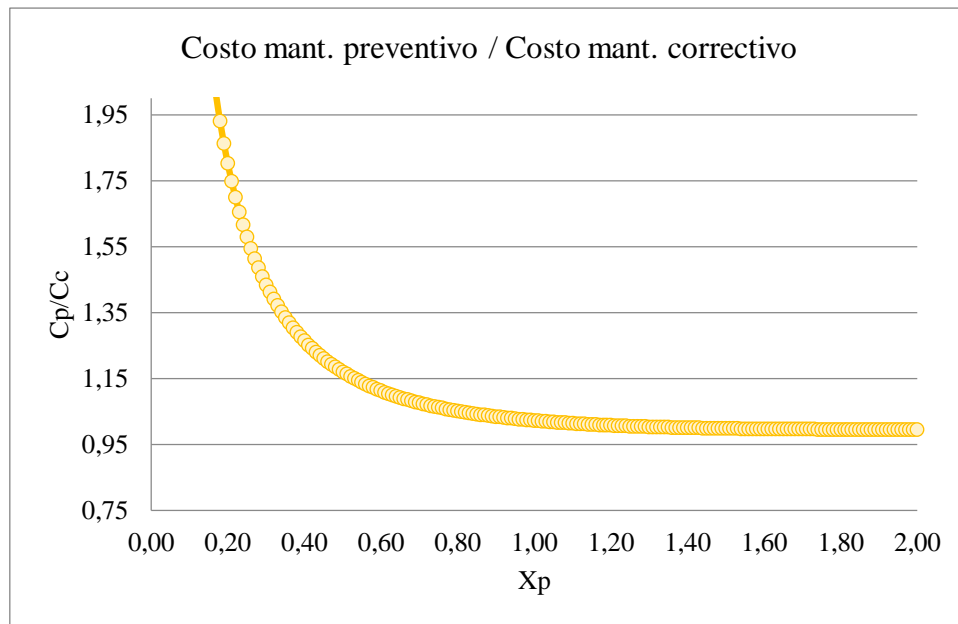


Figura 4.33: Curva Cp/Cc

Como se puede observar en la Figura 4.33, la curva de Cp/Cc en ningún momento es menor a 1, por lo que la estrategia de mantenimiento a utilizar en este caso es la de mantenimiento correctivo.

4.3.2. Bomba Descarga Pulper UP60

4.3.2.1. Rodete

Los costos calculados para el cambio preventivo de rodete se observan en la Tabla 4.95.

Rodete nuevo [CLP]	3.230.870
Mano de obra [CLP]	32.000
Costo de Falla [CLP]	361.920
Total Costo Preventivo [CLP]	3.624.790

Tabla 4.95: Costo mant. preventivo cambio Rodete Bomba 130-21_013

Mientras que el costo de un cambio correctivo de rodete se observa en la Tabla 4.96.

Rodete nuevo [CLP]	3.230.870
Mano de obra [CLP]	56.000
Costo de Falla [CLP]	31.668.000
Total Costo Correctivo [CLP]	34.954.870

Tabla 4.96: Costo mant. correctivo cambio Rodete Bomba 130-21_013

El gráfico que muestra la curva del costo de mantenimiento en función del tiempo entre intervenciones se muestra en la Figura 4.34. Los valores obtenidos al minimizar el costo total de mantenimiento se observan en la Tabla 4.97.

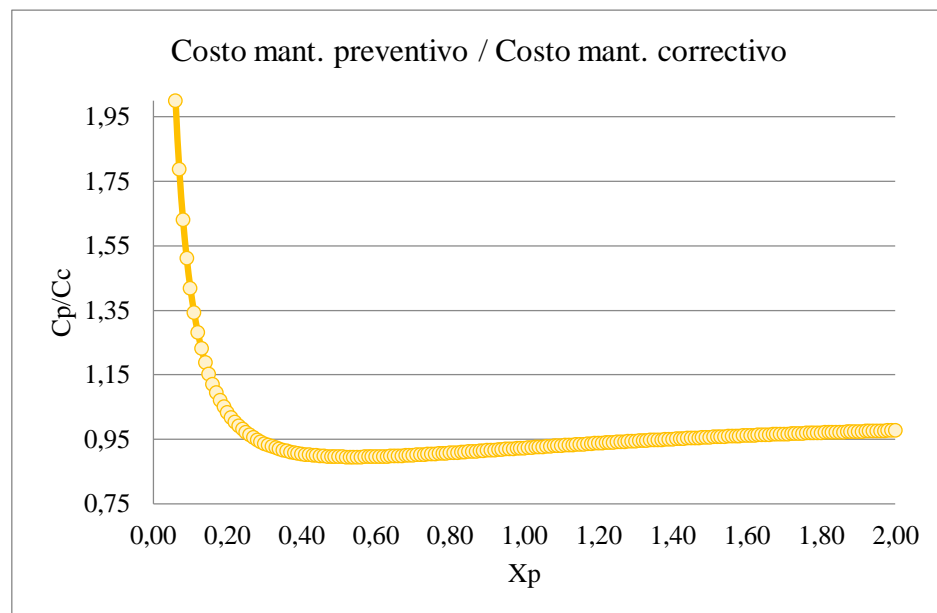


Figura 4.34: Curva Cp/Cc

Cp/Cc mínimo	0,8946
Xp	0,5540
Tp [días]	187

Tabla 4.97: Resultados de proceso de minimización

4.3.2.2. Cañería de salida

Los costos calculados para el cambio preventivo de cañería de salida se observan en la Tabla 4.98.

Cañería nueva [CLP]	297.028
Mano de obra [CLP]	24.000
Costo de Falla [CLP]	271.440
Total Costo Preventivo [CLP]	592.468

Tabla 4.98: Costo mant. preventivo cambio Cañería Bomba 130-21_013

Mientras que el costo de un cambio correctivo de rodete se observa en la Tabla 4.99.

Cañería nueva [CLP]	297.028
Mano de obra [CLP]	48.000
Costo de Falla [CLP]	27.144.000
Total Costo Correctivo [CLP]	27.489.028

Tabla 4.99: Costo mant. correctivo cambio Cañería Bomba 130-21_013

El gráfico que muestra la curva del costo de mantenimiento en función del tiempo entre intervenciones se muestra en la Figura 4.35. Los valores obtenidos al minimizar el costo total de mantenimiento se observan en la Tabla 4.100.

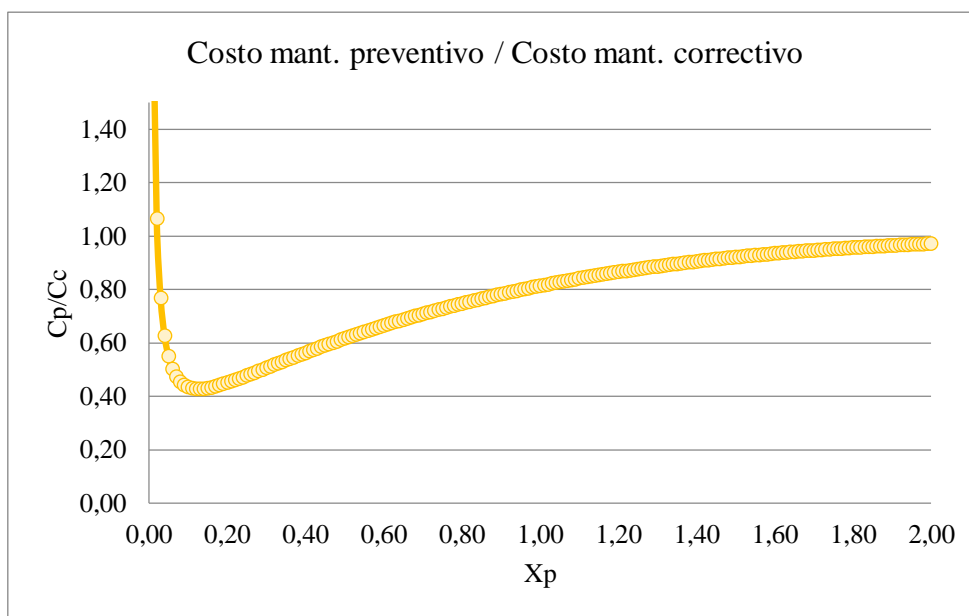


Figura 4.35: Curva Cp/Cc

Cp/Cc mínimo	0,6054
Xp	0,1313
Tp [días]	28

Tabla 4.100: Resultados de proceso de minimización

4.3.3. Bomba Estanque ATS-300

4.3.3.1. Junta de expansión

Los costos calculados para el cambio preventivo de junta de expansión se observan en la Tabla 4.101.

Junta de expansión nueva [CLP]	130.470
Mano de obra [CLP]	16.000
Costo de Falla [CLP]	180.960
Total Costo Preventivo [CLP]	327.430

Tabla 4.101: Costo mant. preventivo cambio Junta expansión Bomba 130-21_095

Mientras que el costo de un cambio correctivo de junta de expansión se observa en la Tabla 4.102.

Junta de expansión nueva [CLP]	130.470
Mano de obra [CLP]	40.000
Costo de Falla [CLP]	22.620.000
Total Costo Correctivo [CLP]	22.790.470

Tabla 4.102: Costo mant. correctivo cambio Junta expansión Bomba 130-21_095

El gráfico que muestra la curva del costo de mantenimiento en función del tiempo entre intervenciones se muestra en la Figura 4.36. Los valores obtenidos al minimizar el costo total de mantenimiento se observan en la Tabla 4.103.

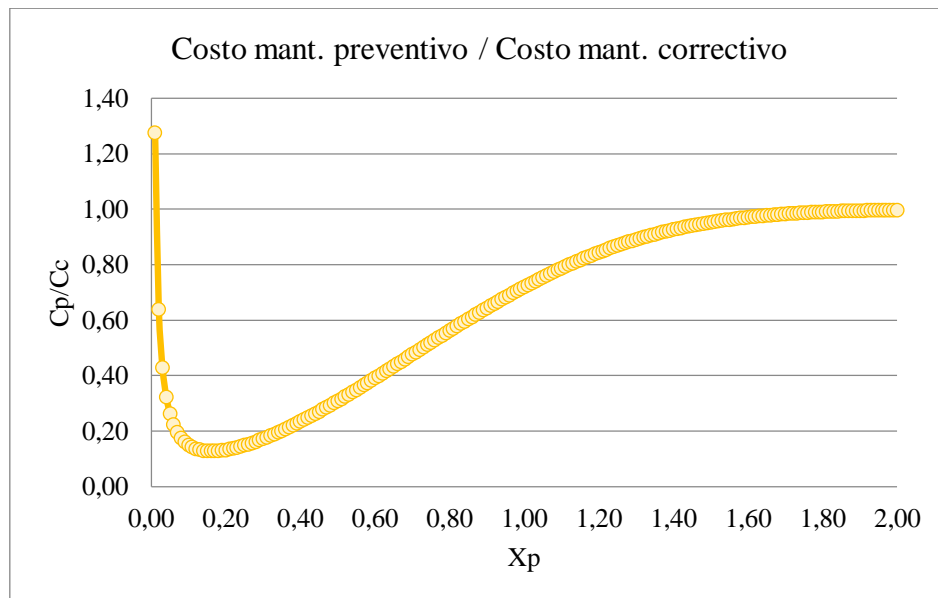


Figura 4.36: Curva Cp/Cc

Cp/Cc mínimo	0,1285
Xp	0,1625
Tp [días]	95

Tabla 4.103: Valores de proceso de minimización

4.3.3.2. Sello estático

Los costos calculados para el cambio preventivo de sello estático se observan en la Tabla 4.104.

Sello estático nuevo [CLP]	51.809
Mano de obra [CLP]	24.000
Costo de Falla [CLP]	271.440
Total Costo Preventivo [CLP]	347.249

Tabla 4.104: Costo mant. preventivo cambio Sello estático Bomba 130-21_095

Mientras que el costo de un cambio correctivo del sello estático se observa en la Tabla 4.105.

Sello estático nuevo [CLP]	130.470
Mano de obra [CLP]	48.000
Costo de Falla [CLP]	27.144.000
Total Costo Correctivo [CLP]	27.426.809

Tabla 4.105: Costo mant. correctivo cambio Sello estático Bomba 130-21_095

El gráfico que muestra la curva del costo de mantenimiento en función del tiempo entre intervenciones se muestra en la Figura 4.37. Los valores obtenidos al minimizar el costo total de mantenimiento se observan en la Tabla 4.106.

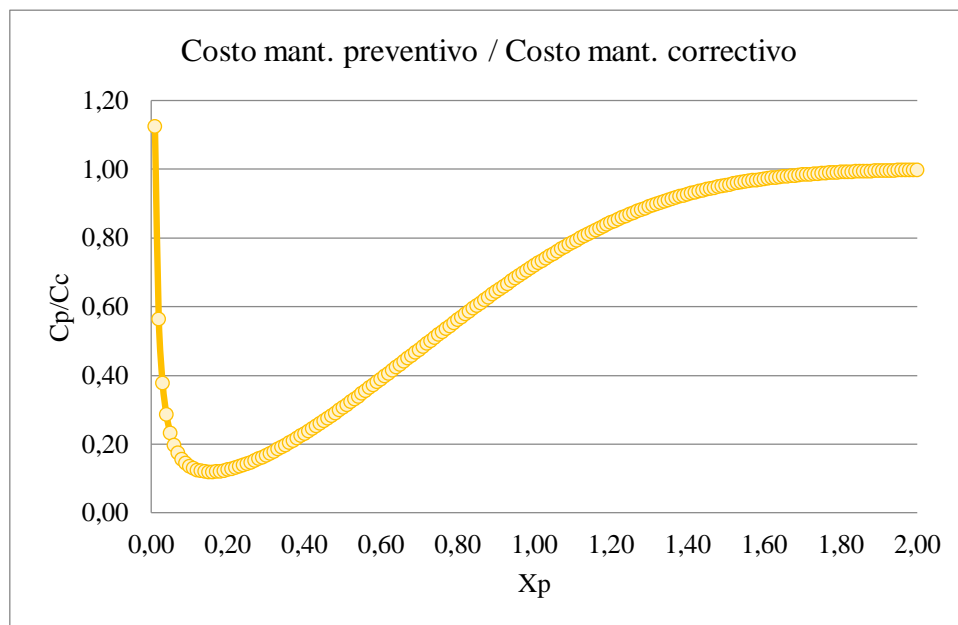


Figura 4.37: Curva Cp/Cc

Cp/Cc mínimo	0,1190
Xp	0,1546
Tp [días]	90

Tabla 4.106: Valores de proceso de minimización

4.3.4. Bomba Torre Almacenaje Papel Viejo

4.3.4.1. Cañería de salida

Los costos calculados para el cambio preventivo de cañería de salida se observan en la Tabla 4.107.

Cañería nueva [CLP]	372.213
Mano de obra [CLP]	32.000
Costo de Falla [CLP]	361.920
Total Costo Preventivo [CLP]	766.133

Tabla 4.107: Costo mant. preventivo cambio Cañería salida Bomba 130-21_077

Mientras que el costo de un cambio correctivo de cañería de salida se observa en la Tabla 4.108.

Cañería nueva [CLP]	372.213
Mano de obra [CLP]	56.000
Costo de Falla [CLP]	31.668.000
Total Costo Correctivo [CLP]	32.096.213

Tabla 4.108: Costo mant. correctivo cambio Cañería salida Bomba 130-21_077

El gráfico que muestra la curva del costo de mantenimiento en función del tiempo entre intervenciones se muestra en la Figura 4.38. Los valores obtenidos al minimizar el costo total de mantenimiento se observan en la Tabla 4.109.

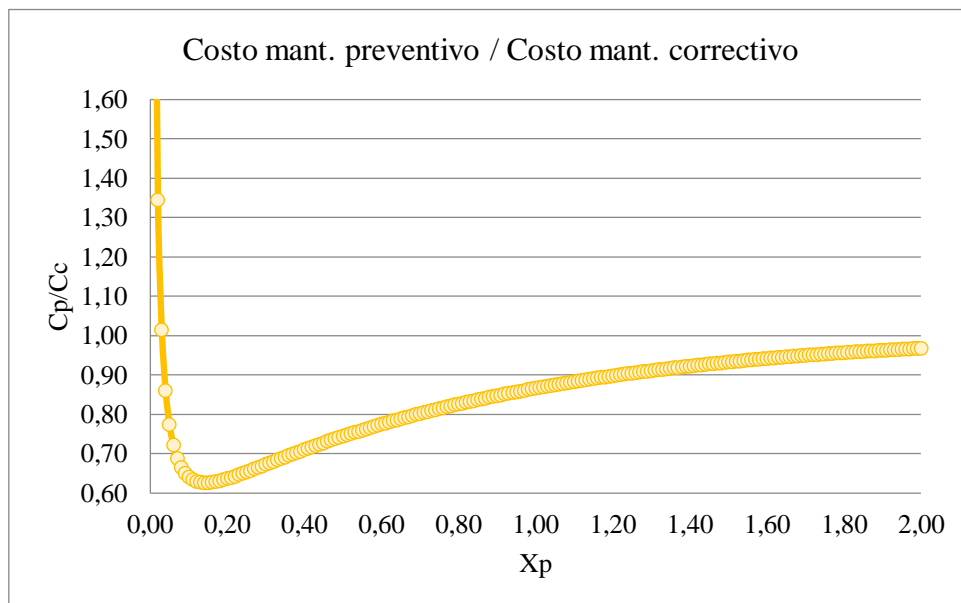


Figura 4.38: Curva Cp/Cc

Cp/Cc mínimo	0,6263
Xp	0,1428
Tp [días]	33

Tabla 4.109: Valores de proceso de minimización

4.3.4.2. Sello estático

Los costos calculados para el cambio preventivo de sello estático se observan en la Tabla 4.110.

Sello estático nuevo [CLP]	51.809
Mano de obra [CLP]	24.000
Costo de Falla [CLP]	271.440
Total Costo Preventivo [CLP]	347.249

Tabla 4.110: Costo mant. preventivo cambio Sello estático Bomba 130-21_077

Mientras que el costo de un cambio correctivo de sello estático se observa en la Tabla 4.111.

Sello estático nuevo [CLP]	51.809
Mano de obra [CLP]	48.000
Costo de Falla [CLP]	27.144.000
Total Costo Correctivo [CLP]	27.243.809

Tabla 4.111: Costo mant. correctivo cambio Sello estático Bomba 130-21_077

El gráfico que muestra la curva del costo de mantenimiento en función del tiempo entre intervenciones se muestra en la Figura 4.39. Los valores obtenidos al minimizar el costo total de mantenimiento se observan en la Tabla 4.112.

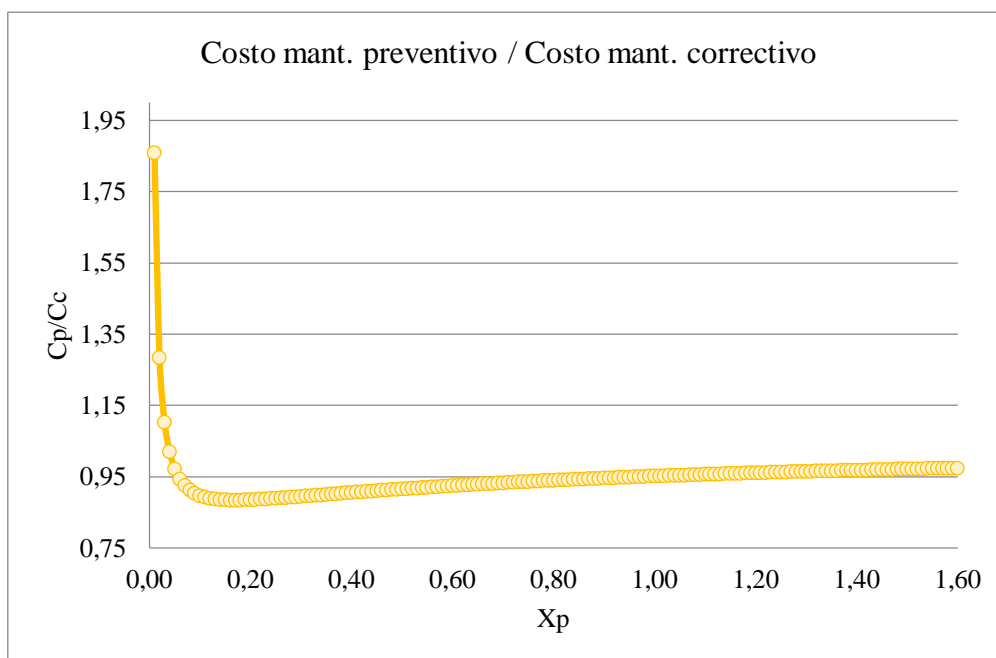


Figura 4.39: Curva Cp/Cc

Cp/Cc mínimo	0,8846
Xp	0,1683
Tp [días]	61

Tabla 4.112: Valores de proceso de minimización

4.3.4.3. Rodete

Los costos calculados para el cambio preventivo de rodete se observan en la Tabla 4.113.

Rodete nuevo [CLP]	3.302.000
Mano de obra [CLP]	32.000
Costo de Falla [CLP]	361.920
Total Costo Preventivo [CLP]	3.695.920

Tabla 4.113: Costo mant. preventivo cambio Rodete Bomba 130-21_077

Mientras que el costo de un cambio correctivo de sello estático se observa en la Tabla 4.114.

Rodete nuevo [CLP]	3.302.000
Mano de obra [CLP]	56.000
Costo de Falla [CLP]	31.668.000
Total Costo Correctivo [CLP]	35.026.000

Tabla 4.114: Costo mant. correctivo cambio Rodete Bomba 130-21_077

El gráfico que muestra la curva del costo de mantenimiento en función del tiempo entre intervenciones se muestra en la Figura 4.40. Los valores obtenidos al minimizar el costo total de mantenimiento se observan en la Tabla 4.115.

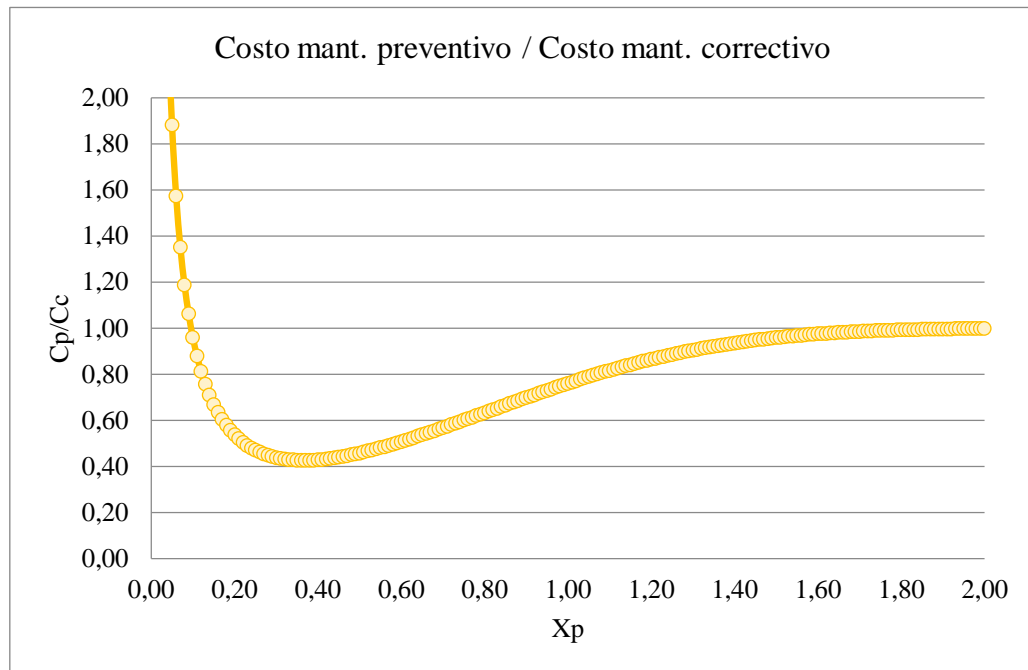


Figura 4.40: Curva Cp/Cc

Cp/Cc mínimo	0,4254
Xp	0,3659
Tp [días]	191

Tabla 4.115: Valores de proceso de minimización

4.3.5. Bomba Alimentación 3era Etapa Cleaners

4.3.5.1. Rodete

Los costos calculados para el cambio preventivo de rodete se observan en la Tabla 4.116.

Rodete nuevo [CLP]	2.123.925
Mano de obra [CLP]	32.000
Costo de Falla [CLP]	361.920
Total Costo Preventivo [CLP]	2.517.845

Tabla 4.116: Costo mant. preventivo cambio Rodete Bomba 130-21_088

Mientras que el costo de un cambio correctivo de rodete se observa en la Tabla 4.117.

Rodete nuevo [CLP]	2.123.925
Mano de obra [CLP]	64.000
Costo de Falla [CLP]	36.192.000
Total Costo Correctivo [CLP]	38.379.925

Tabla 4.117: Costo mant. correctivo cambio Rodete Bomba 130-21_088

El gráfico que muestra la curva del costo de mantenimiento en función del tiempo entre intervenciones se muestra en la Figura 4.41. Los valores obtenidos al minimizar el costo total de mantenimiento se observan en la Tabla 4.118.

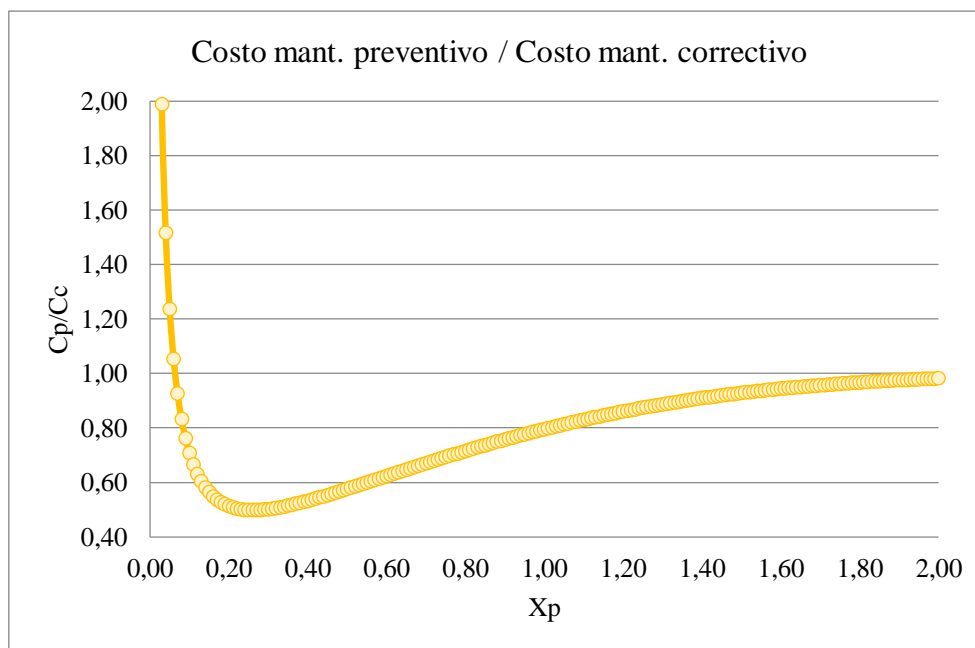


Figura 4.42: Curva Cp/Cc

Cp/Cc mínimo	0,4987
Xp	0,2615
Tp [días]	92

Tabla 4.118: Valores de proceso de minimización

4.3.5.2. Torpedo

Los costos calculados para el cambio preventivo de torpedo se observan en la Tabla 4.119.

Torpedo nuevo [CLP]	1.827.773
Mano de obra [CLP]	24.000
Costo de Falla [CLP]	271.440
Total Costo Preventivo [CLP]	2.123.213

Tabla 4.119: Costo mant. preventivo cambio Torpedo Bomba 130-21_088

Mientras que el costo de un cambio correctivo de torpedo se observa en la Tabla 4.120.

Torpedo nuevo [CLP]	1.827.773
Mano de obra [CLP]	48.000
Costo de Falla [CLP]	27.144.000
Total Costo Correctivo [CLP]	29.019.773

Tabla 4.120: Costo mant. correctivo cambio Torpedo Bomba 130-21_088

El gráfico que muestra la curva del costo de mantenimiento en función del tiempo entre intervenciones se muestra en la Figura 4.43. Los valores obtenidos al minimizar el costo total de mantenimiento se observan en la Tabla 4.121.

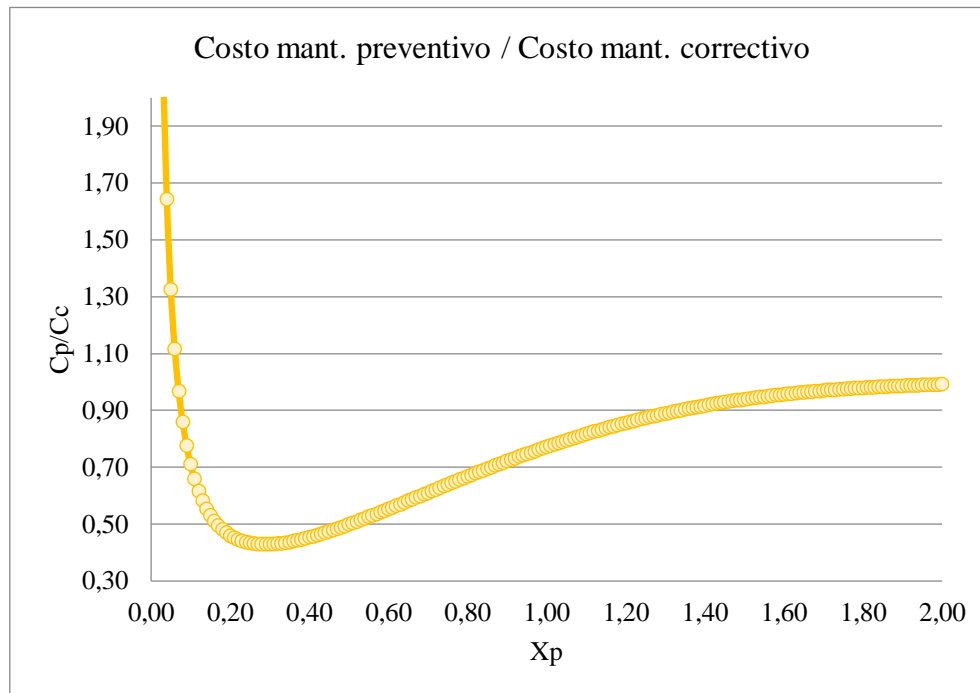


Figura 4.44: Curva Cp/Cc

Cp/Cc mínimo	0,4278
Xp	0,2883
Tp [días]	161

Tabla 4.121: Valores de proceso de minimización

4.3.6. Bomba Red De Agua Fresca A Red De Lavado

4.3.6.1. Sello mecánico

Los costos calculados para el cambio preventivo de sello mecánico se observan en la Tabla 4.122.

Sello mecánico nuevo [CLP]	669.538
Mano de obra [CLP]	24.000
Costo de Falla [CLP]	271.440
Total Costo Preventivo [CLP]	964.978

Tabla 4.122: Costo mant. preventivo cambio Sello mecánico Bomba 080-21_065

Mientras que el costo de un cambio correctivo de sello mecánico se observa en la Tabla 4.123.

Sello mecánico nuevo [CLP]	669.538
Mano de obra [CLP]	48.000
Costo de Falla [CLP]	27.144.000
Total Costo Correctivo [CLP]	27.861.538

Tabla 4.123: Costo mant. correctivo cambio Sello mecánico Bomba 080-21_065

El gráfico que muestra la curva del costo de mantenimiento en función del tiempo entre intervenciones se muestra en la Figura 4.45. Los valores obtenidos al minimizar el costo total de mantenimiento se observan en la Tabla 4.124.

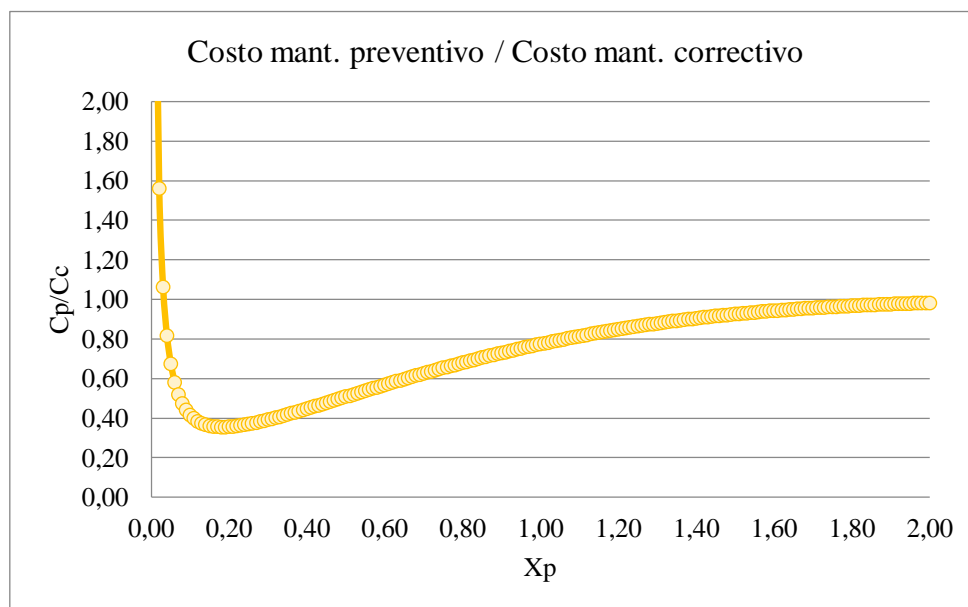


Figura 4.45: Curva Cp/Cc

Cp/Cc mínimo	0,3562
Xp	0,1839
Tp [días]	90

Tabla 4.124: Valores de proceso de minimización

4.3.7. Bomba Alimentación 1ª Etapa Cleaners

4.3.7.1. Sello estático

Los costos calculados para el cambio preventivo de sello estático se observan en la Tabla 4.125.

Sello estático nuevo [CLP]	51.809
Mano de obra [CLP]	16.000
Costo de Falla [CLP]	180.960
Total Costo Preventivo [CLP]	248.769

Tabla 4.125: Costo mant. preventivo cambio Sello estático Bomba 130-21_086

Mientras que el costo de un cambio correctivo de sello estático se observa en la Tabla 4.126.

Sello estático nuevo [CLP]	51.809
Mano de obra [CLP]	40.000
Costo de Falla [CLP]	22.620.000
Total Costo Correctivo [CLP]	22.711.809

Tabla 4.126: Costo mant. correctivo cambio Sello estático Bomba 130-21_086

El gráfico que muestra la curva del costo de mantenimiento en función del tiempo entre intervenciones se muestra en la Figura 4.46. Los valores obtenidos al minimizar el costo total de mantenimiento se observan en la Tabla 4.127.

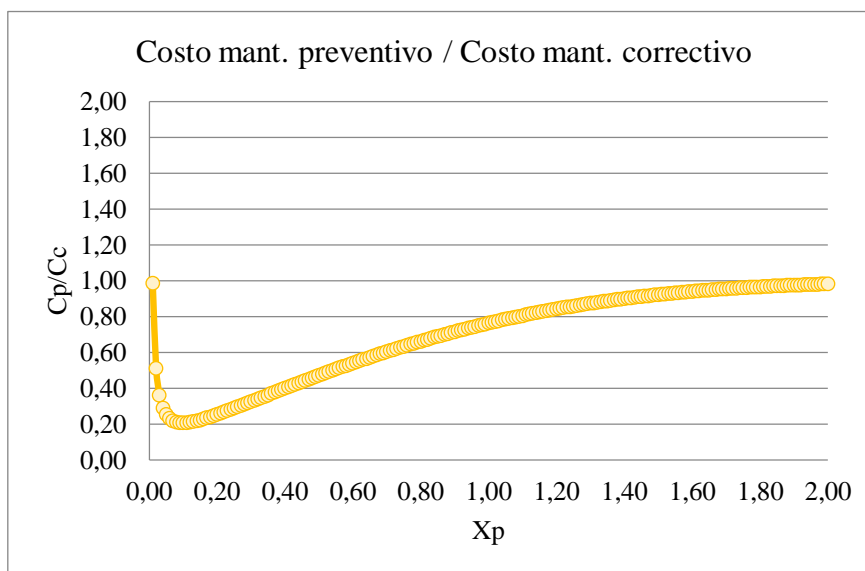


Figura 4.46: Curva Cp/Cc

Cp/Cc mínimo	0,2084
Xp	0,0988
Tp [días]	40

Tabla 4.127: Valores de proceso de minimización

4.3.8. Bomba Cuba de Transferencia Fibra Larga

4.3.8.1. Sello estático

Los costos calculados para el cambio preventivo de sello estático se observan en la Tabla 4.128.

Sello estático nuevo [CLP]	287.218
Mano de obra [CLP]	16.000
Costo de Falla [CLP]	180.960
Total Costo Preventivo [CLP]	484.178

Tabla 4.128: Costo mant. preventivo cambio Sello estático Bomba 130-21_093

Mientras que el costo de un cambio correctivo de sello estático se observa en la Tabla 4.129.

Sello estático nuevo [CLP]	287.218
Mano de obra [CLP]	40.000
Costo de Falla [CLP]	22.620.000
Total Costo Correctivo [CLP]	22.947.218

Tabla 4.129: Costo mant. correctivo cambio Sello estático Bomba 130-21_093

El gráfico que muestra la curva del costo de mantenimiento en función del tiempo entre intervenciones se muestra en la Figura 4.47. Los valores obtenidos al minimizar el costo total de mantenimiento se observan en la Tabla 4.130.

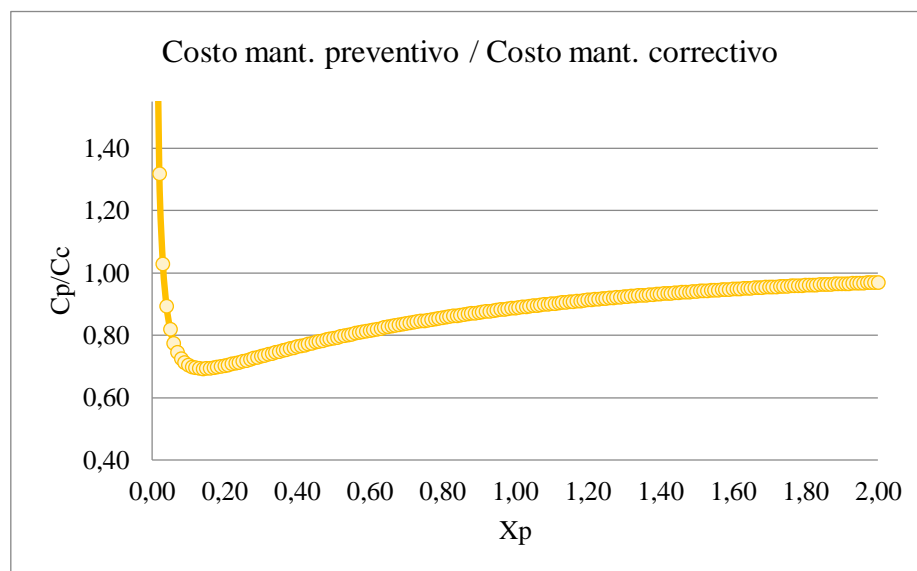


Figura 4.47: Curva Cp/Cc

Cp/Cc mínimo	0,6934
Xp	0,1415
Tp [días]	79

Tabla 4.130: Valores de proceso de minimización

4.3.9. Bomba Descarga Estanque Sedimentación

4.3.9.1. Rodete

Los costos calculados para el cambio preventivo de rodete se observan en la Tabla 4.131.

Rodete nuevo [CLP]	3.207.196
Mano de obra [CLP]	24.000
Costo de Falla [CLP]	271.440
Total Costo Preventivo [CLP]	3.502.636

Tabla 4.131: Costo mant. preventivo cambio Rodete Bomba 130-21_076

Mientras que el costo de un cambio correctivo de rodete se observa en la Tabla 4.132.

Rodete nuevo [CLP]	3.207.196
Mano de obra [CLP]	48.000
Costo de Falla [CLP]	27.144.000
Total Costo Correctivo [CLP]	30.399.196

Tabla 4.132: Costo mant. correctivo cambio Rodete Bomba 130-21_076

El gráfico que muestra la curva del costo de mantenimiento en función del tiempo entre intervenciones se muestra en la Figura 4.48. Los valores obtenidos al minimizar el costo total de mantenimiento se observan en la Tabla 4.133.

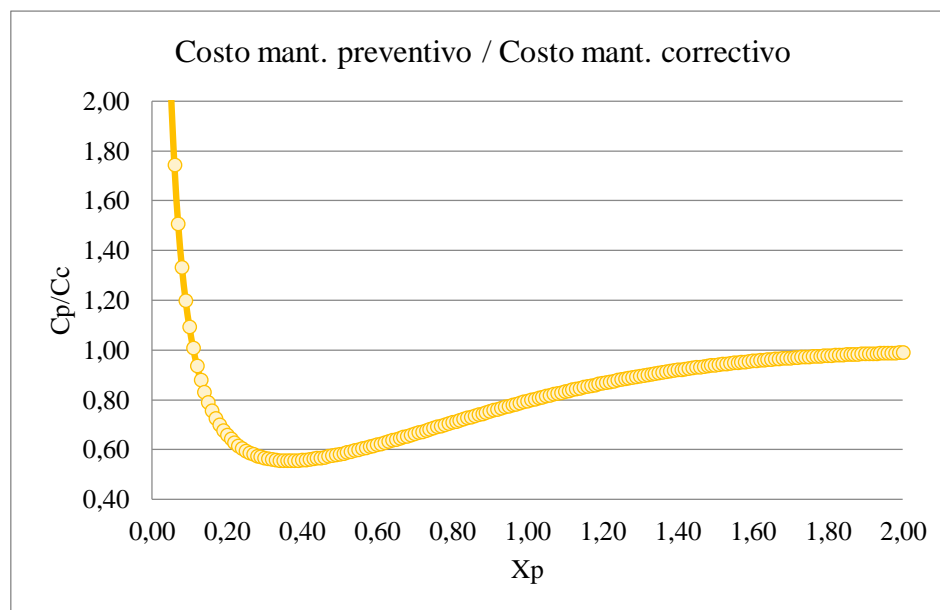


Figura 4.48: Curva Cp/Cc

Cp/Cc mínimo	0,5560
Xp	0,3649
Tp [días]	133

Tabla 4.133: Valores de proceso de minimización

4.3.10. Bomba Alimentación Torre Bombeo Estanque Fibra Larga

4.3.10.1. Junta de expansión

Los costos calculados para el cambio preventivo de rodete se observan en la Tabla 4.134.

Junta de expansión nueva [CLP]	97.642
Mano de obra [CLP]	16.000
Costo de Falla [CLP]	180.960
Total Costo Preventivo [CLP]	306.602

Tabla 4.134: Costo mant. preventivo cambio Junta de expansión Bomba 130-21_098

Mientras que el costo de un cambio correctivo de rodete se observa en la Tabla 4.135.

Junta de expansión nueva [CLP]	97.642
Mano de obra [CLP]	40.000
Costo de Falla [CLP]	22.620.000
Total Costo Correctivo [CLP]	22.787.642

Tabla 4.135: Costo mant. correctivo cambio Junta de expansión Bomba 130-21_098

El gráfico que muestra la curva del costo de mantenimiento en función del tiempo entre intervenciones se muestra en la Figura 4.49. Los valores obtenidos al minimizar el costo total de mantenimiento se observan en la Tabla 4.136.

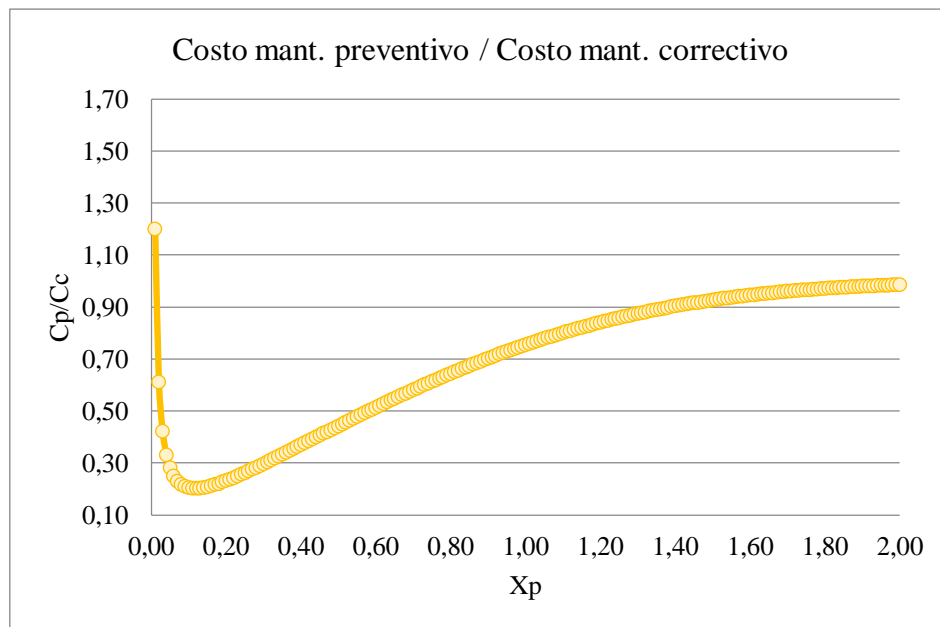


Figura 4.49: Curva Cp/Cc

Cp/Cc mínimo	0,2031
Xp	0,1173
Tp [días]	63

Tabla 4.136: Valores de proceso de minimización

4.4. Planificación del mantenimiento preventivo

A partir de lo calculado en la sección 4.3, se procederá a planificar las intervenciones de mantenimiento preventivo en los casos en que esta estrategia de mantención haya sido la indicada como resultado del análisis de confiabilidad realizado.

Actualmente en Papeles Cordillera, las paradas de mantenimiento programado se están llevando a cabo con una frecuencia de 5 semanas, y durante estas paradas se atienden frecuencias fijas de mantenimiento preventivo, rutas de lubricación de equipos que deben ejecutarse con detención de la operación y también trabajos correctivos en equipos que no son vitales para la operación y/o la calidad del producto final, y que no presentan un riesgo para la seguridad de los trabajadores o el medio ambiente, por lo que pueden ser pospuestos hasta el momento de una mantención programada.

Actualmente en el área de Planificación y Confiabilidad se usa el software Microsoft Project para organizar las actividades de mantenimiento, es por esto que se utilizará este mismo software para mostrar la distribución de los próximos mantenimientos a ejecutar. De esta forma, se programarán actividades de mantenimiento preventivo en un horizonte de 3 años, lo que nos permitirá hacer un análisis económico comparativo entre la situación esperada si se mantuviera el régimen de mantenimiento actual versus la situación esperada de ser implementado el plan propuesto en este trabajo de memoria. Esto se puede observar en la Figura 4.50.

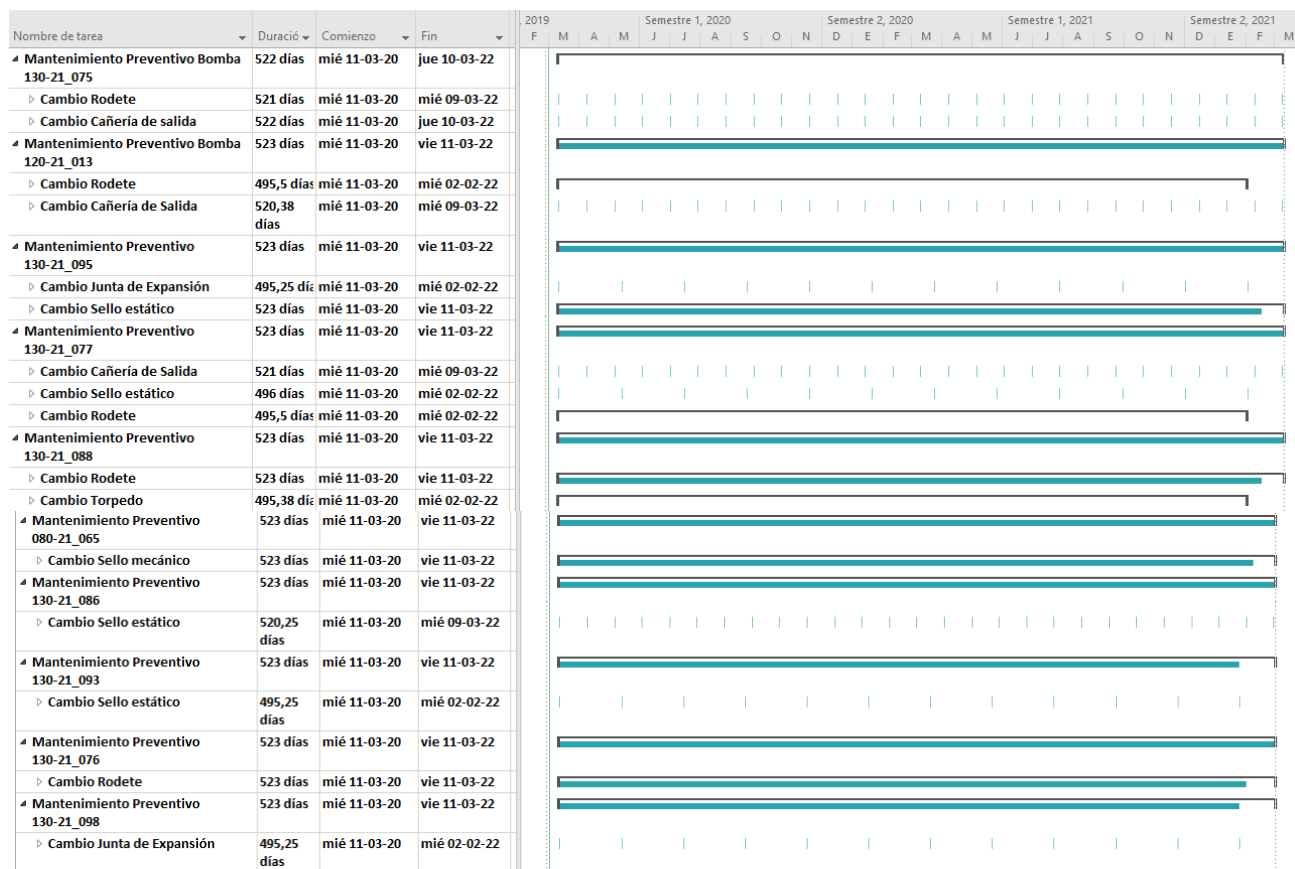


Figura 4.50: Programación Mantenimiento Preventivo en Microsoft Project

A modo de resumen, en la Tabla 4.137 se muestra cada la frecuencia en número de días con que deberían ejecutarse las tareas, y también la frecuencia en número de paradas de máquina, ya que todos los trabajos en equipos estudiados deben realizarse con máquina detenida.

Equipo	Componente	Tp [días]	N° de paradas entre cambios	Tiempo entre cambios [días]	Confiabilidad en tiempo entre paradas
080-21_065	Sello mecánico	90	3	105	0,9476
120-21_013	Rodete	187	5	175	0,6504
	Cañería salida	34	1	35	0,9538
130-21_075	Rodete	44	1	35	0,8718
	Cañería salida	28	1	35	0,9150
130-21_076	Rodete	133	4	140	0,8701
130-21_077	Cañería salida	33	1	35	0,9213
	Sello estático	61	2	70	0,8465
	Rodete	191	5	175	0,9402
130-21_086	Sello estático	40	1	35	0,9905
130-21_088	Rodete	92	3	105	0,8968
	Torpedo	161	5	175	0,9190
130-21_093	Sello estático	79	2	70	0,9293
130-21_095	Junta de expansión	80	2	70	0,9110
	Sello estático	90	3	105	0,9880
130-21_098	Junta de expansión	64	2	70	0,9834

Tabla 4.137: Valores de proceso de minimización

A partir de la confiabilidad calculada para cada uno de los componentes estudiados, podemos calcular cual es el costo esperado de las mantenciones en un horizonte de 3 años, ya que, siendo la confiabilidad la probabilidad de que el equipo no presente fallas en el tiempo transcurrido, utilizaremos este dato como la probabilidad de ejecutar el mantenimiento preventivo en el plazo establecido vs la probabilidad de que el componente falle y deba ejecutarse un mantenimiento correctivo. Así, la fórmula para calcular el costo esperado del mantenimiento se observa a continuación:

$$\text{Costo Esperado} = C_p R_p + C_c (1 - R_p)$$

Siendo:

C_p : Costo Mantenimiento Preventivo

C_c : Costo Mantenimiento Correctivo

R_p : Confiabilidad del componente en la fecha programada de mantenimiento preventivo

En la Tabla 4.138 se puede observar a modo de resumen los costos de mantenimiento preventivo y correctivo para cada uno de los componentes., al igual que el n° de intervenciones que deben realizarse en cada componente en el horizonte de tiempo estudiado de 3 años. Con esta

información procedemos a calcular el costo esperado en mantenimiento en caso de implementar el plan de mantenimiento preventivo.

Equipo	Componente	Costo esperado de una mantención [CLP]	N° de mantenciones en 3 años	Costo esperado en mantención (3 años) [CLP]
080-21_065	Sello mecánico	2.374.121	10	23.741.205
120-21_013	Rodete	14.576.662	6	87.459.974
	Cañería salida	1.834.151	31	56.858.685
130-21_075	Rodete	7.641.929	31	236.899.790
	Cañería salida	2.877.674	31	89.207.887
130-21_076	Rodete	6.997.139	7	48.979.971
130-21_077	Cañería salida	3.230.450	31	100.143.944
	Sello estático	4.474.579	15	67.118.684
	Rodete	5.570.755	6	33.424.527
130-21_086	Sello estático	463.197	31	14.359.122
130-21_088	Rodete	6.217.148	10	62.171.478
	Torpedo	4.301.347	6	25.808.080
130-21_093	Sello estático	2.071.930	15	31.078.946
130-21_095	Junta de expansión	2.325.766	15	34.886.491
	Sello estático	671.549	10	6.715.487
130-21_098	Junta de expansión	678.742	15	10.181.133
Total [CLP]				929.035.402

Tabla 4.138: Costo esperado en mantenimiento implementando plan preventivo

El costo en mantenimiento en caso de no ser implementado el plan preventivo será estimado a partir del tiempo medio entre fallas (MTTF) calculado para cada componente, y el costo de dicha intervención será el de un mantenimiento correctivo. Así, el costo total en mantenimiento se muestra en la Tabla 4.139.

Equipo	Componente	MTTF [días]	N° de mantenciones en 3 años	Costo esperado en mantención (3 años) [CLP]
080-21_065	Sello mecánico	435	2	55.723.076
120-21_013	Rodete	313	3	104.864.610
	Cañería salida	221	4	109.956.112
130-21_075	Rodete	108	10	349.548.700
	Cañería salida	196	5	137.445.140
130-21_076	Rodete	323	3	91.197.588
130-21_077	Cañería salida	210	5	160.481.065
	Sello estático	348	3	81.731.427

	Rodete	462	2	70.052.000
130-21_086	Sello estático	359	3	68.135.427
130-21_088	Rodete	313	3	115.139.775
	Torpedo	493	2	58.039.546
130-21_093	Sello estático	521	2	45.894.436
130-21_095	Junta de expansión	537	2	45.580.940
	Sello estático	517	2	54.853.618
130-21_098	Junta de expansión	477	2	45.575.284
Total [CLP]				1.594.218.744

Tabla 4.139: Costo esperado en mantenimiento en caso de no implementar plan preventivo

En la Figura XX se observa gráficamente la comparación del costo estimado de mantenimiento en caso de implementar el plan de reemplazo preventivo de equipos vs la situación en la cual se continua con un régimen de reemplazo correctivo. En dicha figura se ve una reducción de [CLP] 665.183.342, lo que significa casi un 42% de disminución del costo generado por el área de Mantenimiento en el proceso productivo, considerando el costo de la ejecución del mantenimiento en sí y la detención de la producción de la MP20.

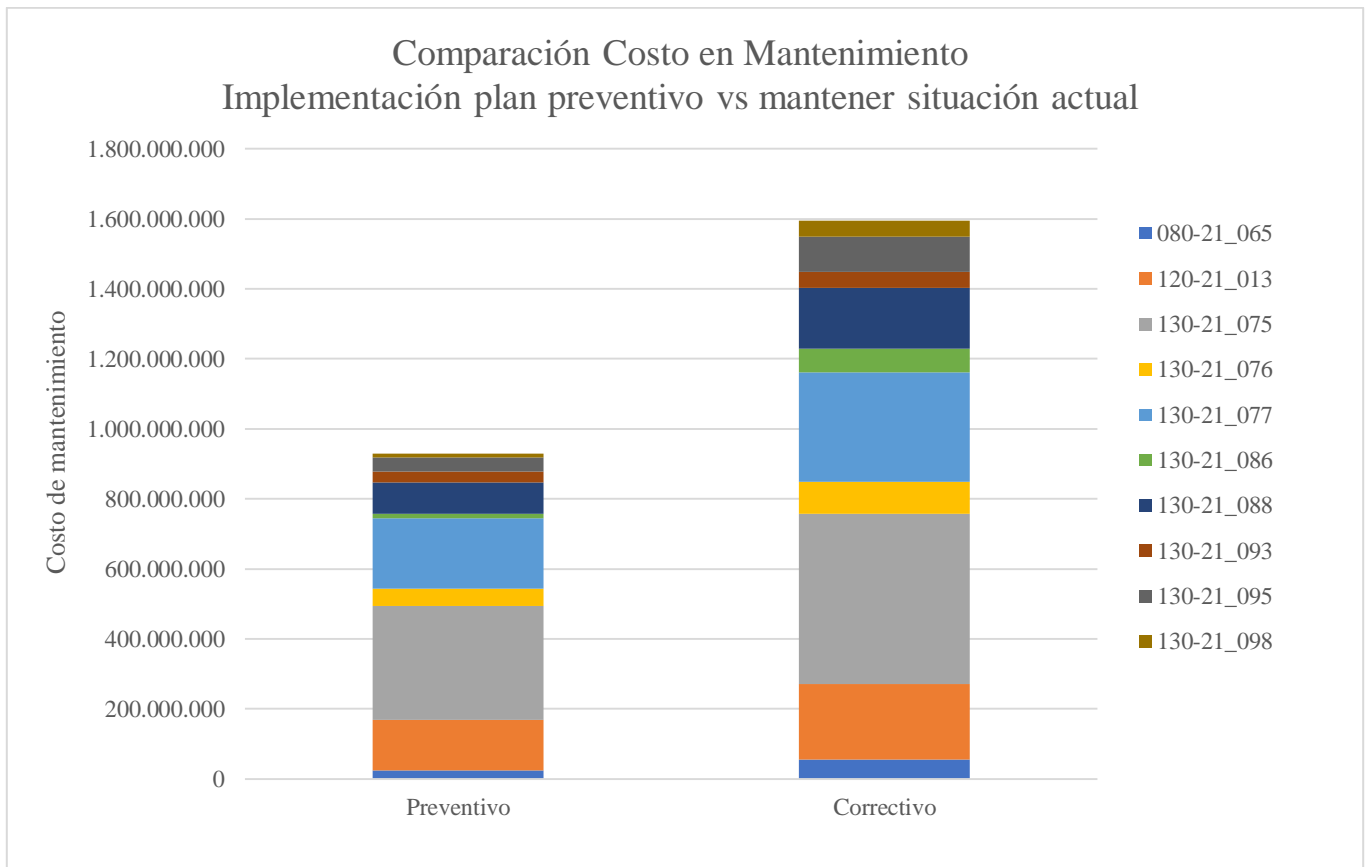


Figura 4.51: Comparación Costos en mantenimiento

Capítulo 5

Discusión y conclusiones

A partir de los resultados obtenidos, y que se aprecian en el Capítulo 4, es posible indicar que los objetivos de este trabajo de memoria -tanto generales como específicos- fueron alcanzados, ya que se logró utilizar los conceptos de mantenimiento basado en confiabilidad para crear planes de mantenimiento preventivo para distintos equipos que componen el proceso productivo de la MP20, y en mayor medida, de todo el complejo de Papeles Cordillera.

Para poder realizar lo anterior fue necesario estudiar las distintas técnicas existentes en la literatura para realizar análisis de confiabilidad y escoger las que de mejor manera se adecuan a la información con la que se cuenta para llevar a cabo el estudio desarrollado. En particular se utilizaron distintos métodos para definir la criticidad del universo de equipos existente, permitiendo su priorización, para proceder a realizar un modelamiento de la vida de los equipos a partir de los datos con los que se cuenta en el módulo SAP PM utilizado por el área de Planificación y Confiabilidad, para finalmente definir las frecuencias de reemplazo de componentes en aquellos equipos donde pudiera ser aplicado este método a partir del análisis de confiabilidad, lo anterior debido a que existen casos donde la estrategia de mantenimiento correctiva sigue siendo la recomendada luego de efectuar un estudio técnico como económico.

Para la priorización de los equipos y componentes a estudiar, tanto los diagramas de Pareto como de Jack Knife nos entregan información respecto a la criticidad de las distintas bombas estudiadas y su relevancia dentro del normal funcionamiento de la MP20, y se convierten en herramientas certeras para la selección de los equipos en los cuales deberían enfocarse los esfuerzos de mantenimiento, sobre todo en una planta como la de Papeles Cordillera, donde la producción en condiciones ideales debería ser 24/7. Es por esto que la categorización de las fallas según los tiempos de detención que generan en la producción no sólo entrega una ayuda para la formulación del estudio de este trabajo de memoria, sino que también puede convertirse en una ayuda para el posterior análisis del área de Planificación y Confiabilidad para saber dónde se están concentrando aquellas averías críticas dentro de aquellas presentes en bombas de proceso dentro del complejo.

Posteriormente, en la etapa de modelamiento de la vida de las distintas bombas de proceso, los tiempos de falla de los componentes estudiados resultan seguir en todos los casos la distribución de Weibull según la prueba de bondad de ajuste que fue aplicada. Esta información no solo es útil para la planificación de mantenimientos preventivos en estos equipos, sino que también permite un análisis de la vida útil de los modelos de bombas utilizados bajo las condiciones en las que se encuentran dentro de la línea productiva de una máquina papelerera.

Al momento de planificar el mantenimiento preventivo se tomaron en consideración las distintas variables que afectan el desarrollo de las intervenciones tanto preventivas como correctivas, como los repuestos a utilizar, la mano de obra que debe ejecutar las actividades de mantenimiento, y el factor más importante, la duración de estos trabajos, ya que, como se explicó anteriormente, una de las principales motivaciones de este trabajo de memoria es reducir el costo asociado al lucro cesante, que, dadas las condiciones de la producción de la planta, es uno de los mayores factores dentro de los gastos en mantención. Esta reducción en los costos viene asociada directamente a un aumento en la disponibilidad de la línea productiva, factor importante para el área de Planificación y Confiabilidad ya que este parámetro es el principal indicador de desempeño utilizado por la gerencia de la empresa para medir el desempeño del área. Es por esto que una mayor utilización de estrategias de mantenimiento preventivo podrían tener una alta repercusión en la gestión realizada por dicha área.

Bibliografía

- [1] Rodrigo Pascual. *El arte de mantener*. Universidad de Concepción, Concepción, Chile, 2018.
- [2] Viviana Meruane. *Apunte ME5701 Gestión de Activos Físicos*. Santiago, Chile, 2011.
- [3] Eduardo Salamanca. *Apunte ME5702 Gestión de Activos Físicos*. Santiago, Chile, 2014.
- [4] A.K.S. Jardine. *Maintenance, Replacement and Reliability*. Pitman Publishing, 1973.
- [5] Charles Ebeling, *An introduction to Reliability and Maintainability Engineering*, University of Dayton, Boston, Massachusetts, USA. 1997.
- [6] D.J. Smith. *Reliability, maintainability and risk: practical methods for engineers*. Butterworth-Heinemann, 2005.

Anexo A1

ID	Ubicación Técnica	Tiempo detención [h]	Acumulado T. detención	% Acumulado T. detención	N° de avisos	Acumulado N° de avisos	% Acumulado N° avisos
1	060-21_036	33,99	33,99	6,634	23	23	0,548
2	130-21_2084	27,48	61,47	11,997	58	81	1,929
3	130-21_075	27,10	88,57	17,286	130	211	5,026
4	130-21_077	15,10	103,67	20,233	76	287	6,837
5	130-21_086	13,39	117,06	22,846	54	341	8,123
6	100-21_041A	13,17	130,23	25,417	18	359	8,552
7	130-21_093	13,07	143,30	27,968	38	397	9,457
8	050-21_041	12,87	156,17	30,479	15	412	9,814
9	100-21_017	12,75	168,92	32,968	11	423	10,076
10	130-21_088	12,58	181,50	35,423	55	478	11,386
11	130-21_085	12,32	193,82	37,827	20	498	11,863
12	100-21_5110	11,56	205,38	40,084	23	521	12,411
13	080-21_065	11,50	216,88	42,328	68	589	14,030
14	130-21_110	11,42	228,30	44,557	29	618	14,721
15	010-21_015B	11,24	239,54	46,750	43	661	15,746
16	100-21_033A	10,23	249,77	48,747	54	715	17,032
17	130-21_078	9,00	258,77	50,504	42	757	18,032
18	130-21_098	8,42	267,19	52,147	62	819	19,509
19	080-21_045D	8,16	275,35	53,739	30	849	20,224
20	100-21_051A1	8,00	283,35	55,301	16	865	20,605
21	100-21_051A3	8,00	291,35	56,862	5	870	20,724
22	130-21_097	7,90	299,25	58,404	21	891	21,224
23	080-21_047	7,50	306,75	59,868	15	906	21,582
24	100-21_040A	7,11	313,86	61,255	5	911	21,701
25	100-21_041B	6,82	320,68	62,586	18	929	22,130
26	130-21_091	6,76	327,44	63,906	11	940	22,392
27	130-21_095	6,75	334,19	65,223	64	1004	23,916
28	080-21_055	6,67	340,86	66,525	30	1034	24,631
29	130-21_076	6,43	347,29	67,780	53	1087	25,893
30	031-21_003	6,32	353,61	69,013	13	1100	26,203
31	100-21_055B	6,24	359,85	70,231	47	1147	27,323
32	100-21_022	5,99	365,84	71,400	5	1152	27,442
33	050-21_063	5,87	371,71	72,546	12	1164	27,727
34	060-21_026	5,66	377,37	73,650	48	1212	28,871
35	050-21_043	5,49	382,86	74,722	43	1255	29,895
36	070-21_039	5,49	388,35	75,793	21	1276	30,395

37	130-21_084	5,37	393,72	76,841	27	1303	31,039
38	100-21_043	5,32	399,04	77,880	55	1358	32,349
39	100-21_500	4,85	403,89	78,826	27	1385	32,992
40	060-21_033	4,44	408,33	79,693	36	1421	33,849
41	031-21_2006	4,12	412,45	80,497	21	1442	34,350
42	130-21_108	4,05	416,50	81,287	43	1485	35,374
43	070-21_038	4,00	420,50	82,068	15	1500	35,731
44	130-21_094	3,99	424,49	82,847	26	1526	36,351
45	070-21_034	3,77	428,26	83,582	29	1555	37,041
46	080-21_2203	3,75	432,01	84,314	23	1578	37,589
47	130-21_089	3,25	435,26	84,949	29	1607	38,280
48	100-21_073A	3,00	438,26	85,534	9	1616	38,495
49	010-21_008C	2,87	441,13	86,094	11	1627	38,757
50	010-21_015A	2,84	443,97	86,649	29	1656	39,447
51	130-21_107	2,74	446,71	87,183	23	1679	39,995
52	100-21_502	2,74	449,45	87,718	22	1701	40,519
53	080-21_052	2,67	452,12	88,239	36	1737	41,377
54	050-25_005	2,66	454,78	88,758	33	1770	42,163
55	050-25_002	2,50	457,28	89,246	33	1803	42,949
56	100-21_091	2,50	459,78	89,734	10	1813	43,187
57	130-21_081	2,17	461,95	90,158	10	1823	43,425
58	100-21_065C	2,15	464,10	90,577	13	1836	43,735
59	070-21_048	2,01	466,11	90,970	5	1841	43,854
60	100-21_052B1	2,00	468,11	91,360	21	1862	44,354
61	100-21_024A	1,99	470,10	91,748	54	1916	45,641
62	010-21_007B	1,92	472,02	92,123	17	1933	46,046
63	011-21_017B	1,89	473,91	92,492	11	1944	46,308
64	100-21_051A2	1,75	475,66	92,833	6	1950	46,451
65	100-21_014	1,74	477,40	93,173	46	1996	47,546
66	050-21_042	1,70	479,10	93,505	45	2041	48,618
67	060-21_032	1,57	480,67	93,811	43	2084	49,643
68	100-21_024B	1,53	482,20	94,110	25	2109	50,238
69	100-21_5351	1,50	483,70	94,403	17	2126	50,643
70	100-21_5205	1,48	485,18	94,691	1	2127	50,667
71	050-25_2004	1,35	486,53	94,955	27	2154	51,310
72	100-21_031	1,34	487,87	95,216	2	2156	51,358
73	080-21_056	1,33	489,20	95,476	47	2203	52,477
74	050-25_2009	1,33	490,53	95,736	19	2222	52,930
75	070-21_035	1,26	491,79	95,981	24	2246	53,502
76	060-21_027	1,23	493,02	96,222	36	2282	54,359
77	070-21_042	1,17	494,19	96,450	33	2315	55,145
78	060-21_034	1,12	495,31	96,668	6	2321	55,288
79	010-21_012A	1,10	496,41	96,883	20	2341	55,765

80	130-21_2077	1,10	497,51	97,098	19	2360	56,217
81	060-21_029	1,05	498,56	97,303	21	2381	56,717
82	100-21_061	1,02	499,58	97,502	29	2410	57,408
83	060-21_043	1,00	500,58	97,697	10	2420	57,646
84	010-21_2258C	0,99	501,57	97,890	3	2423	57,718
85	100-21_065A	0,95	502,52	98,076	32	2455	58,480
86	130-21_2302	0,83	503,35	98,238	18	2473	58,909
87	060-21_030	0,82	504,17	98,398	21	2494	59,409
88	100-21_052B2	0,82	504,99	98,558	11	2505	59,671
89	100-21_201	0,75	505,74	98,704	24	2529	60,243
90	080-21_063	0,75	506,49	98,850	21	2550	60,743
91	010-21_2281	0,75	507,24	98,997	2	2552	60,791
92	100-21_073C	0,74	507,98	99,141	16	2568	61,172
93	050-25_006	0,73	508,71	99,284	31	2599	61,910
94	031-21_050A	0,63	509,34	99,407	14	2613	62,244
95	080-21_2052	0,60	509,94	99,524	4	2617	62,339
96	070-21_041	0,50	510,44	99,621	53	2670	63,602
97	130-21_2319	0,50	510,94	99,719	32	2702	64,364
98	100-21_051B3	0,48	511,42	99,813	2	2704	64,412
99	010-21_009D	0,38	511,80	99,887	9	2713	64,626
100	100-21_053	0,33	512,13	99,951	29	2742	65,317
101	100-21_081B	0,25	512,38	100	7	2749	65,484
102	130-21_2316	0	512,38	100	70	2819	67,151
103	120-21_013	0	512,38	100	68	2887	68,771
104	100-21_055A	0	512,38	100	39	2926	69,700
105	130-21_106	0	512,38	100	38	2964	70,605
106	050-25_001	0	512,38	100	37	3001	71,486
107	100-21_065B	0	512,38	100	31	3032	72,225
108	080-21_057	0	512,38	100	30	3062	72,939
109	060-21_035	0	512,38	100	28	3090	73,606
110	120-21_014	0	512,38	100	28	3118	74,273
111	031-21_050	0	512,38	100	26	3144	74,893
112	080-21_046	0	512,38	100	26	3170	75,512
113	010-21_011H	0	512,38	100	26	3196	76,131
114	100-21_051A	0	512,38	100	26	3222	76,751
115	100-21_055C	0	512,38	100	25	3247	77,346
116	080-21_077	0	512,38	100	25	3272	77,942
117	130-21_087	0	512,38	100	23	3295	78,490
118	080-21_051	0	512,38	100	22	3317	79,014
119	080-21_076	0	512,38	100	22	3339	79,538
120	100-21_101	0	512,38	100	21	3360	80,038
121	120-21_2303	0	512,38	100	20	3380	80,515
122	031-21_005	0	512,38	100	20	3400	80,991

123	050-25_2007	0	512,38	100	19	3419	81,444
124	130-21_082	0	512,38	100	19	3438	81,896
125	100-21_081A	0	512,38	100	19	3457	82,349
126	120-21_2310D	0	512,38	100	19	3476	82,801
127	050-25_2008	0	512,38	100	18	3494	83,230
128	050-25_2003	0	512,38	100	17	3511	83,635
129	130-21_083	0	512,38	100	17	3528	84,040
130	011-21_017A	0	512,38	100	16	3544	84,421
131	130-21_092	0	512,38	100	16	3560	84,802
132	060-21_025	0	512,38	100	16	3576	85,183
133	120-21_2305	0	512,38	100	16	3592	85,565
134	070-21_044	0	512,38	100	15	3607	85,922
135	010-21_013A	0	512,38	100	15	3622	86,279
136	080-21_040	0	512,38	100	14	3636	86,613
137	100-21_033B	0	512,38	100	14	3650	86,946
138	031-21_011	0	512,38	100	13	3663	87,256
139	080-21_037	0	512,38	100	13	3676	87,566
140	130-21_079	0	512,38	100	12	3688	87,851
141	010-21_011A	0	512,38	100	12	3700	88,137
142	031-21_004	0	512,38	100	12	3712	88,423
143	080-21_053	0	512,38	100	12	3724	88,709
144	060-21_031	0	512,38	100	12	3736	88,995
145	031-21_009	0	512,38	100	11	3747	89,257
146	060-21_037	0	512,38	100	11	3758	89,519
147	010-21_009A	0	512,38	100	11	3769	89,781
148	010-21_009B	0	512,38	100	11	3780	90,043
149	010-21_2289	0	512,38	100	10	3790	90,281
150	100-21_052B3	0	512,38	100	10	3800	90,519
151	080-21_049	0	512,38	100	10	3810	90,758
152	120-21_2204	0	512,38	100	10	3820	90,996
153	100-21_301	0	512,38	100	10	3830	91,234
154	050-25_016	0	512,38	100	9	3839	91,448
155	010-21_010A	0	512,38	100	9	3848	91,663
156	010-21_2003D	0	512,38	100	8	3856	91,853
157	130-21_111	0	512,38	100	8	3864	92,044
158	031-21_013	0	512,38	100	8	3872	92,234
159	080-21_042	0	512,38	100	8	3880	92,425
160	060-21_028	0	512,38	100	8	3888	92,616
161	010-21_008B	0	512,38	100	8	3896	92,806
162	010-21_008D	0	512,38	100	8	3904	92,997
163	010-21_008A	0	512,38	100	8	3912	93,187
164	080-21_058	0	512,38	100	8	3920	93,378
165	080-21_067	0	512,38	100	8	3928	93,568

166	130-21_090	0	512,38	100	8	3936	93,759
167	010-21_250	0	512,38	100	8	3944	93,949
168	100-21_051B1	0	512,38	100	8	3952	94,140
169	080-21_066	0	512,38	100	8	3960	94,331
170	130-21_2600	0	512,38	100	7	3967	94,497
171	010-21_011B	0	512,38	100	7	3974	94,664
172	080-21_038	0	512,38	100	7	3981	94,831
173	080-21_2043	0	512,38	100	7	3988	94,998
174	010-21_2003C	0	512,38	100	7	3995	95,164
175	100-21_073B	0	512,38	100	6	4001	95,307
176	080-21_039	0	512,38	100	6	4007	95,450
177	010-21_012B	0	512,38	100	6	4013	95,593
178	010-21_010B	0	512,38	100	6	4019	95,736
179	100-21_5104	0	512,38	100	6	4025	95,879
180	080-21_048	0	512,38	100	6	4031	96,022
181	010-21_013B	0	512,38	100	6	4037	96,165
182	070-21_036	0	512,38	100	6	4043	96,308
183	130-21_2181	0	512,38	100	6	4049	96,451
184	130-21_096	0	512,38	100	6	4055	96,594
185	070-21_040	0	512,38	100	6	4061	96,737
186	011-21_001D	0	512,38	100	6	4067	96,879
187	050-21_2007A	0	512,38	100	5	4072	96,999
188	010-21_013C	0	512,38	100	5	4077	97,118
189	080-21_041	0	512,38	100	5	4082	97,237
190	050-21_044	0	512,38	100	5	4087	97,356
191	080-21_044	0	512,38	100	5	4092	97,475
192	010-21_009C	0	512,38	100	5	4097	97,594
193	130-21_080	0	512,38	100	5	4102	97,713
194	130-21_2302A	0	512,38	100	5	4107	97,832
195	080-21_2066	0	512,38	100	5	4112	97,951
196	050-21_2008A	0	512,38	100	4	4116	98,047
197	130-21_112	0	512,38	100	4	4120	98,142
198	130-21_6005	0	512,38	100	4	4124	98,237
199	010-21_011I	0	512,38	100	4	4128	98,333
200	100-21_5350	0	512,38	100	4	4132	98,428
201	010-21_2290	0	512,38	100	4	4136	98,523
202	070-21_037	0	512,38	100	4	4140	98,618
203	080-21_068	0	512,38	100	4	4144	98,714
204	050-21_2009A	0	512,38	100	3	4147	98,785
205	080-21_063A	0	512,38	100	3	4150	98,857
206	011-21_017C	0	512,38	100	3	4153	98,928
207	031-21_007	0	512,38	100	3	4156	99,000
208	010-21_007C	0	512,38	100	3	4159	99,071

209	070-21_047	0	512,38	100	3	4162	99,142
210	130-21_050A	0	512,38	100	3	4165	99,214
211	050-21_2003A	0	512,38	100	3	4168	99,285
212	010-21_017	0	512,38	100	3	4171	99,357
213	080-21_063B	0	512,38	100	3	4174	99,428
214	130-21_2301D	0	512,38	100	2	4176	99,476
215	100-21_038B	0	512,38	100	2	4178	99,524
216	100-21_040	0	512,38	100	2	4180	99,571
217	010-21_012D	0	512,38	100	2	4182	99,619
218	010-21_012C	0	512,38	100	2	4184	99,667
219	100-21_038A	0	512,38	100	2	4186	99,714
220	080-21_064	0	512,38	100	2	4188	99,762
221	010-21_007D	0	512,38	100	2	4190	99,809
222	010-21_013D	0	512,38	100	1	4191	99,833
223	130-21_6004	0	512,38	100	1	4192	99,857
224	100-21_5306	0	512,38	100	1	4193	99,881
225	100-21_051B4	0	512,38	100	1	4194	99,905
226	080-21_043	0	512,38	100	1	4195	99,929
227	100-21_051B2	0	512,38	100	1	4196	99,952
228	100-21_5206	0	512,38	100	1	4197	99,976
229	060-21_045	0	512,38	100	1	4198	100,0

Anexo A2

ID	Ubicación Técnica	Tiempo detención [h]	Avisos	MTTR	Limite MTTR	Limite N° fallas	Clasificación
1	130-21_075	27,1	130	0,2085	0,1221	18,3319	Crónico Agudo
2	130-21_077	15,1	76	0,1987	0,1221	18,3319	Crónico Agudo
3	130-21_2316	0	70	0,0000	0,1221	18,3319	Crónico
4	120-21_013	0	68	0,0000	0,1221	18,3319	Crónico
5	080-21_065	11,5	68	0,1691	0,1221	18,3319	Crónico Agudo
6	130-21_095	6,75	64	0,1055	0,1221	18,3319	Crónico
7	130-21_098	8,42	62	0,1358	0,1221	18,3319	Crónico Agudo
8	130-21_2084	27,48	58	0,4738	0,1221	18,3319	Crónico Agudo
9	100-21_043	5,32	55	0,0967	0,1221	18,3319	Crónico
10	130-21_088	12,58	55	0,2287	0,1221	18,3319	Crónico Agudo
11	100-21_024A	1,99	54	0,0369	0,1221	18,3319	Crónico
12	130-21_086	13,39	54	0,2480	0,1221	18,3319	Crónico Agudo
13	100-21_033A	10,23	54	0,1894	0,1221	18,3319	Crónico Agudo
14	130-21_076	6,43	53	0,1213	0,1221	18,3319	Crónico
15	070-21_041	0,5	53	0,0094	0,1221	18,3319	Crónico
16	060-21_026	5,66	48	0,1179	0,1221	18,3319	Crónico
17	100-21_055B	6,24	47	0,1328	0,1221	18,3319	Crónico Agudo
18	080-21_056	1,33	47	0,0283	0,1221	18,3319	Crónico
19	100-21_014	1,74	46	0,0378	0,1221	18,3319	Crónico
20	050-21_042	1,7	45	0,0378	0,1221	18,3319	Crónico
21	010-21_015B	11,24	43	0,2614	0,1221	18,3319	Crónico Agudo
22	060-21_032	1,57	43	0,0365	0,1221	18,3319	Crónico
23	130-21_108	4,05	43	0,0942	0,1221	18,3319	Crónico
24	050-21_043	5,49	43	0,1277	0,1221	18,3319	Crónico Agudo
25	130-21_078	9	42	0,2143	0,1221	18,3319	Crónico Agudo
26	100-21_055A	0	39	0,0000	0,1221	18,3319	Crónico
27	130-21_106	0	38	0,0000	0,1221	18,3319	Crónico
28	130-21_093	13,07	38	0,3439	0,1221	18,3319	Crónico Agudo
29	050-25_001	0	37	0,0000	0,1221	18,3319	Crónico
30	080-21_052	2,67	36	0,0742	0,1221	18,3319	Crónico
31	060-21_033	4,44	36	0,1233	0,1221	18,3319	Crónico Agudo
32	060-21_027	1,23	36	0,0342	0,1221	18,3319	Crónico
33	050-25_005	2,66	33	0,0806	0,1221	18,3319	Crónico
34	050-25_002	2,5	33	0,0758	0,1221	18,3319	Crónico
35	070-21_042	1,17	33	0,0355	0,1221	18,3319	Crónico
36	100-21_065A	0,95	32	0,0297	0,1221	18,3319	Crónico
37	130-21_2319	0,5	32	0,0156	0,1221	18,3319	Crónico

38	050-25_006	0,73	31	0,0235	0,1221	18,3319	Crónico
39	100-21_065B	0	31	0,0000	0,1221	18,3319	Crónico
40	080-21_055	6,67	30	0,2223	0,1221	18,3319	Crónico Agudo
41	080-21_045D	8,16	30	0,2720	0,1221	18,3319	Crónico Agudo
42	080-21_057	0	30	0,0000	0,1221	18,3319	Crónico
43	100-21_061	1,02	29	0,0352	0,1221	18,3319	Crónico
44	130-21_089	3,25	29	0,1121	0,1221	18,3319	Crónico
45	130-21_110	11,42	29	0,3938	0,1221	18,3319	Crónico Agudo
46	100-21_053	0,33	29	0,0114	0,1221	18,3319	Crónico
47	010-21_015A	2,84	29	0,0979	0,1221	18,3319	Crónico
48	070-21_034	3,77	29	0,1300	0,1221	18,3319	Crónico Agudo
49	060-21_035	0	28	0,0000	0,1221	18,3319	Crónico
50	120-21_014	0	28	0,0000	0,1221	18,3319	Crónico
51	130-21_084	5,37	27	0,1989	0,1221	18,3319	Crónico Agudo
52	100-21_500	4,85	27	0,1796	0,1221	18,3319	Crónico Agudo
53	050-25_2004	1,35	27	0,0500	0,1221	18,3319	Crónico
54	010-21_050	0	26	0,0000	0,1221	18,3319	Crónico
55	080-21_046	0	26	0,0000	0,1221	18,3319	Crónico
56	010-21_011H	0	26	0,0000	0,1221	18,3319	Crónico
57	130-21_094	3,99	26	0,1535	0,1221	18,3319	Crónico Agudo
58	100-21_051A	0	26	0,0000	0,1221	18,3319	Crónico
59	100-21_055C	0	25	0,0000	0,1221	18,3319	Crónico
60	100-21_024B	1,53	25	0,0612	0,1221	18,3319	Crónico
61	080-21_077	0	25	0,0000	0,1221	18,3319	Crónico
62	100-21_201	0,75	24	0,0313	0,1221	18,3319	Crónico
63	070-21_035	1,26	24	0,0525	0,1221	18,3319	Crónico
64	130-21_087	0	23	0,0000	0,1221	18,3319	Crónico
65	080-21_2203	3,75	23	0,1630	0,1221	18,3319	Crónico Agudo
66	100-21_5110	11,56	23	0,5026	0,1221	18,3319	Crónico Agudo
67	060-21_036	33,99	23	1,4778	0,1221	18,3319	Crónico Agudo
68	130-21_107	2,74	23	0,1191	0,1221	18,3319	Crónico
69	100-21_502	2,74	22	0,1245	0,1221	18,3319	Crónico Agudo
70	080-21_051	0	22	0,0000	0,1221	18,3319	Crónico
71	080-21_076	0	22	0,0000	0,1221	18,3319	Crónico
72	130-21_097	7,9	21	0,3762	0,1221	18,3319	Crónico Agudo
73	060-21_030	0,82	21	0,0390	0,1221	18,3319	Crónico
74	100-21_101	0	21	0,0000	0,1221	18,3319	Crónico
75	080-21_063	0,75	21	0,0357	0,1221	18,3319	Crónico
76	070-21_039	5,49	21	0,2614	0,1221	18,3319	Crónico Agudo
77	100-21_052B1	2	21	0,0952	0,1221	18,3319	Crónico
78	010-21_2006	4,12	21	0,1962	0,1221	18,3319	Crónico Agudo
79	060-21_029	1,05	21	0,0500	0,1221	18,3319	Crónico
80	130-21_085	12,32	20	0,6160	0,1221	18,3319	Crónico Agudo

81	010-21_012A	1,1	20	0,0550	0,1221	18,3319	Crónico
82	120-21_2303	0	20	0,0000	0,1221	18,3319	Crónico
83	010-21_005	0	20	0,0000	0,1221	18,3319	Crónico
84	050-25_2009	1,33	19	0,0700	0,1221	18,3319	Crónico
85	130-21_2077	1,1	19	0,0579	0,1221	18,3319	Crónico
86	050-25_2007	0	19	0,0000	0,1221	18,3319	Crónico
87	130-21_082	0	19	0,0000	0,1221	18,3319	Crónico
88	100-21_081A	0	19	0,0000	0,1221	18,3319	Crónico
89	120-21_2310D	0	19	0,0000	0,1221	18,3319	Crónico
90	100-21_041A	13,17	18	0,7317	0,1221	18,3319	Agudo
91	130-21_2302	0,83	18	0,0461	0,1221	18,3319	Leve
92	050-25_2008	0	18	0,0000	0,1221	18,3319	Leve
93	100-21_041B	6,82	18	0,3789	0,1221	18,3319	Agudo
94	010-21_007B	1,92	17	0,1129	0,1221	18,3319	Leve
95	050-25_2003	0	17	0,0000	0,1221	18,3319	Leve
96	130-21_083	0	17	0,0000	0,1221	18,3319	Leve
97	100-21_5351	1,5	17	0,0882	0,1221	18,3319	Leve
98	100-21_073C	0,74	16	0,0463	0,1221	18,3319	Leve
99	010-21_017A	0	16	0,0000	0,1221	18,3319	Leve
100	130-21_092	0	16	0,0000	0,1221	18,3319	Leve
101	060-21_025	0	16	0,0000	0,1221	18,3319	Leve
102	120-21_2305	0	16	0,0000	0,1221	18,3319	Leve
103	100-21_051A1	8	16	0,5000	0,1221	18,3319	Agudo
104	070-21_044	0	15	0,0000	0,1221	18,3319	Leve
105	070-21_038	4	15	0,2667	0,1221	18,3319	Agudo
106	050-21_041	12,87	15	0,8580	0,1221	18,3319	Agudo
107	080-21_047	7,5	15	0,5000	0,1221	18,3319	Agudo
108	010-21_013A	0	15	0,0000	0,1221	18,3319	Leve
109	010-21_050A	0,63	14	0,0450	0,1221	18,3319	Leve
110	080-21_040	0	14	0,0000	0,1221	18,3319	Leve
111	100-21_033B	0	14	0,0000	0,1221	18,3319	Leve
112	010-21_003	6,32	13	0,4862	0,1221	18,3319	Agudo
113	100-21_065C	2,15	13	0,1654	0,1221	18,3319	Agudo
114	010-21_011	0	13	0,0000	0,1221	18,3319	Leve
115	080-21_037	0	13	0,0000	0,1221	18,3319	Leve
116	130-21_079	0	12	0,0000	0,1221	18,3319	Leve
117	010-21_011A	0	12	0,0000	0,1221	18,3319	Leve
118	010-21_004	0	12	0,0000	0,1221	18,3319	Leve
119	050-21_063	5,87	12	0,4892	0,1221	18,3319	Agudo
120	080-21_053	0	12	0,0000	0,1221	18,3319	Leve
121	060-21_031	0	12	0,0000	0,1221	18,3319	Leve
122	010-21_009	0	11	0,0000	0,1221	18,3319	Leve
123	060-21_037	0	11	0,0000	0,1221	18,3319	Leve

124	010-21_008C	2,87	11	0,2609	0,1221	18,3319	Agudo
125	010-21_017B	1,89	11	0,1718	0,1221	18,3319	Agudo
126	100-21_052B2	0,82	11	0,0745	0,1221	18,3319	Leve
127	010-21_009A	0	11	0,0000	0,1221	18,3319	Leve
128	130-21_091	6,76	11	0,6145	0,1221	18,3319	Agudo
129	100-21_017	12,75	11	1,1591	0,1221	18,3319	Agudo
130	010-21_009B	0	11	0,0000	0,1221	18,3319	Leve
131	010-21_2289	0	10	0,0000	0,1221	18,3319	Leve
132	100-21_052B3	0	10	0,0000	0,1221	18,3319	Leve
133	100-21_091	2,5	10	0,2500	0,1221	18,3319	Agudo
134	080-21_049	0	10	0,0000	0,1221	18,3319	Leve
135	060-21_043	1	10	0,1000	0,1221	18,3319	Leve
136	130-21_081	2,17	10	0,2170	0,1221	18,3319	Agudo
137	120-21_2204	0	10	0,0000	0,1221	18,3319	Leve
138	100-21_301	0	10	0,0000	0,1221	18,3319	Leve
139	050-25_016	0	9	0,0000	0,1221	18,3319	Leve
140	010-21_009D	0,38	9	0,0422	0,1221	18,3319	Leve
141	010-21_010A	0	9	0,0000	0,1221	18,3319	Leve
142	100-21_073A	3	9	0,3333	0,1221	18,3319	Agudo
143	010-21_2003D	0	8	0,0000	0,1221	18,3319	Leve
144	130-21_111	0	8	0,0000	0,1221	18,3319	Leve
145	010-21_013	0	8	0,0000	0,1221	18,3319	Leve
146	080-21_042	0	8	0,0000	0,1221	18,3319	Leve
147	060-21_028	0	8	0,0000	0,1221	18,3319	Leve
148	010-21_008B	0	8	0,0000	0,1221	18,3319	Leve
149	010-21_008D	0	8	0,0000	0,1221	18,3319	Leve
150	010-21_008A	0	8	0,0000	0,1221	18,3319	Leve
151	080-21_058	0	8	0,0000	0,1221	18,3319	Leve
152	080-21_067	0	8	0,0000	0,1221	18,3319	Leve
153	130-21_090	0	8	0,0000	0,1221	18,3319	Leve
154	010-21_250	0	8	0,0000	0,1221	18,3319	Leve
155	100-21_051B1	0	8	0,0000	0,1221	18,3319	Leve
156	080-21_066	0	8	0,0000	0,1221	18,3319	Leve
157	130-21_2600	0	7	0,0000	0,1221	18,3319	Leve
158	010-21_011B	0	7	0,0000	0,1221	18,3319	Leve
159	080-21_038	0	7	0,0000	0,1221	18,3319	Leve
160	080-21_2043	0	7	0,0000	0,1221	18,3319	Leve
161	100-21_081B	0,25	7	0,0357	0,1221	18,3319	Leve
162	010-21_2003C	0	7	0,0000	0,1221	18,3319	Leve
163	100-21_051A2	1,75	6	0,2917	0,1221	18,3319	Agudo
164	060-21_034	1,12	6	0,1867	0,1221	18,3319	Agudo
165	100-21_073B	0	6	0,0000	0,1221	18,3319	Leve
166	080-21_039	0	6	0,0000	0,1221	18,3319	Leve

167	010-21_012B	0	6	0,0000	0,1221	18,3319	Leve
168	010-21_010B	0	6	0,0000	0,1221	18,3319	Leve
169	100-21_5104	0	6	0,0000	0,1221	18,3319	Leve
170	080-21_048	0	6	0,0000	0,1221	18,3319	Leve
171	010-21_013B	0	6	0,0000	0,1221	18,3319	Leve
172	070-21_036	0	6	0,0000	0,1221	18,3319	Leve
173	130-21_2181	0	6	0,0000	0,1221	18,3319	Leve
174	130-21_096	0	6	0,0000	0,1221	18,3319	Leve
175	070-21_040	0	6	0,0000	0,1221	18,3319	Leve
176	010-21_001D	0	6	0,0000	0,1221	18,3319	Leve
177	100-21_040A	7,11	5	1,4220	0,1221	18,3319	Agudo
178	050-21_2007A	0	5	0,0000	0,1221	18,3319	Leve
179	010-21_013C	0	5	0,0000	0,1221	18,3319	Leve
180	100-21_022	5,99	5	1,1980	0,1221	18,3319	Agudo
181	080-21_041	0	5	0,0000	0,1221	18,3319	Leve
182	050-21_044	0	5	0,0000	0,1221	18,3319	Leve
183	080-21_044	0	5	0,0000	0,1221	18,3319	Leve
184	070-21_048	2,01	5	0,4020	0,1221	18,3319	Agudo
185	010-21_009C	0	5	0,0000	0,1221	18,3319	Leve
186	100-21_051A3	8	5	1,6000	0,1221	18,3319	Agudo
187	130-21_080	0	5	0,0000	0,1221	18,3319	Leve
188	130-21_2302A	0	5	0,0000	0,1221	18,3319	Leve
189	080-21_2066	0	5	0,0000	0,1221	18,3319	Leve
190	050-21_2008A	0	4	0,0000	0,1221	18,3319	Leve
191	130-21_112	0	4	0,0000	0,1221	18,3319	Leve
192	130-21_6005	0	4	0,0000	0,1221	18,3319	Leve
193	010-21_011I	0	4	0,0000	0,1221	18,3319	Leve
194	100-21_5350	0	4	0,0000	0,1221	18,3319	Leve
195	080-21_2052	0,6	4	0,1500	0,1221	18,3319	Agudo
196	010-21_2290	0	4	0,0000	0,1221	18,3319	Leve
197	070-21_037	0	4	0,0000	0,1221	18,3319	Leve
198	080-21_068	0	4	0,0000	0,1221	18,3319	Leve
199	050-21_2009A	0	3	0,0000	0,1221	18,3319	Leve
200	010-21_2258C	0,99	3	0,3300	0,1221	18,3319	Agudo
201	080-21_063A	0	3	0,0000	0,1221	18,3319	Leve
202	010-21_017C	0	3	0,0000	0,1221	18,3319	Leve
203	010-21_007	0	3	0,0000	0,1221	18,3319	Leve
204	010-21_007C	0	3	0,0000	0,1221	18,3319	Leve
205	070-21_047	0	3	0,0000	0,1221	18,3319	Leve
206	130-21_050A	0	3	0,0000	0,1221	18,3319	Leve
207	050-21_2003A	0	3	0,0000	0,1221	18,3319	Leve
208	010-21_017	0	3	0,0000	0,1221	18,3319	Leve
209	080-21_063B	0	3	0,0000	0,1221	18,3319	Leve

210	130-21_2301D	0	2	0,0000	0,1221	18,3319	Leve
211	100-21_038B	0	2	0,0000	0,1221	18,3319	Leve
212	010-21_2281	0,75	2	0,3750	0,1221	18,3319	Agudo
213	100-21_051B3	0,48	2	0,2400	0,1221	18,3319	Agudo
214	100-21_040	0	2	0,0000	0,1221	18,3319	Leve
215	010-21_012D	0	2	0,0000	0,1221	18,3319	Leve
216	010-21_012C	0	2	0,0000	0,1221	18,3319	Leve
217	100-21_031	1,34	2	0,6700	0,1221	18,3319	Agudo
218	100-21_038A	0	2	0,0000	0,1221	18,3319	Leve
219	080-21_064	0	2	0,0000	0,1221	18,3319	Leve
220	010-21_007D	0	2	0,0000	0,1221	18,3319	Leve
221	010-21_013D	0	1	0,0000	0,1221	18,3319	Leve
222	130-21_6004	0	1	0,0000	0,1221	18,3319	Leve
223	100-21_5306	0	1	0,0000	0,1221	18,3319	Leve
224	100-21_051B4	0	1	0,0000	0,1221	18,3319	Leve
225	080-21_043	0	1	0,0000	0,1221	18,3319	Leve
226	100-21_051B2	0	1	0,0000	0,1221	18,3319	Leve
227	100-21_5205	1,48	1	1,4800	0,1221	18,3319	Agudo
228	100-21_5206	0	1	0,0000	0,1221	18,3319	Leve
229	060-21_045	0	1	0,0000	0,1221	18,3319	Leve