



UNIVERSIDAD
SAN SEBASTIAN
FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

UNIVERSIDAD SAN SEBASTIAN
FACULTAD DE INGENIERIA Y TECNOLOGIA
ESCUELA DE INGENIERIA INDUSTRIAL
SEDE SANTIAGO

**MEJORA DE LA DISPONIBILIDAD EN EL MANTENIMIENTO DE LAS
LÍNEAS DE PRODUCCIÓN DE PAPEL “LÍNEA PP-01” PREPARACIÓN
PASTA, PLANTA PUENTE ALTO DE LA EMPRESA SOFTYS CHILE**

Tesis para optar a título de Ingeniero Industrial

Profesor guía: Eduardo Reyes Vera

Estudiantes: Jonathan Rojas Diaz

Bastian Soto Corvalan

Santiago, Chile

2025



UNIVERSIDAD
SAN SEBASTIAN
FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

1 Agradecimientos

Al finalizar esta etapa tan importante en mi vida, no puedo sino detenerme a expresar mi más profundo agradecimiento a quienes han sido parte esencial de este camino, lleno de desafíos, aprendizajes y también de momentos difíciles.

En primer lugar, quiero agradecer sinceramente a mi profesor guía, Eduardo Reyes, por su orientación, disposición y paciencia durante el desarrollo de este proyecto, su guía fue clave para mantener el rumbo y concretar esta investigación con seriedad y compromiso.

A mi familia, que ha sido mi mayor apoyo incondicional, dedico estas líneas con especial cariño. A mis hijas Yamila y Florencia, quienes son y serán siempre el motor de mi vida, por ustedes todo vale la pena. A mi padre, Luis Rojas Rojas, quien partió al cielo durante este proceso universitario, le agradezco por haberme enseñado a luchar y a no rendirme jamás. Su recuerdo me acompañó en cada paso de esta travesía.

A mi madre y a mi hermano, gracias por estar, por creer en mí incluso cuando las circunstancias no eran favorables. Sólo ustedes saben realmente las adversidades que enfrentamos, y por eso su apoyo tiene un valor incalculable.

A mis amigos, en especial a Yasna, quien ha sido un pilar fundamental durante todo este largo y difícil proceso. Gracias por tu aliento constante y tu compañía incondicional. A Karla, por estar siempre ahí, incluso en los momentos en que yo no creía en mí; gracias por ayudarme a encontrar las palabras y recordarme que sí podía lograrlo. También a mi extraordinario grupo de estudio: "Vengadores" genios con quienes fue un privilegio compartir este camino. Aprendí mucho de ustedes y les guardo un enorme respeto y gratitud.



UNIVERSIDAD
SAN SEBASTIAN
FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

Y no puedo dejar de mencionar a mis amigos del gimnasio, personas maravillosas con quienes comparto una pasión en común. Su energía, buena onda y motivación fueron un escape necesario y una fuente constante de ánimo en este proceso.

A todos, gracias por ser parte de esta historia. Esta meta alcanzada también es de usted.



UNIVERSIDAD
SAN SEBASTIAN
FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

2 Abstract

The present project addresses the problem of low operational availability in the PP-01 pulp preparation line at Softys Chile's Puente Alto plant. The proposed solution focuses on the implementation of ABB Ability™ Smart Sensors to enable real-time monitoring of critical equipment, aiming to transition from a reactive or corrective maintenance model to a predictive and data-driven strategy aligned with Industry 4.0 principles.

Through the identification and prioritization of critical assets, a technical and economic evaluation was conducted to justify the investment in intelligent monitoring technology. The sensors allow for continuous tracking of vibration and temperature variables, enabling early detection of anomalies, reducing emergency maintenance interventions, and improving equipment reliability.

The proposal includes the development of a preventive maintenance plan, the application of the Deming cycle (PDCA), and the definition of key performance indicators (KPIs) to monitor the effectiveness of the solution. A cost-benefit analysis was carried out, estimating a 7% increase in line availability and projected annual savings exceeding 590 million CLP, due to avoided unplanned downtimes and optimized maintenance programming.

The results demonstrate the technical and economic feasibility of implementing intelligent sensors, establishing a scalable and sustainable framework for improving asset reliability and operational continuity in the production process.



UNIVERSIDAD
SAN SEBASTIAN
FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

Indice

1	Agradecimientos	2
2	Abstract	4
3	Introducción	10
4	Justificación del Problema.....	12
4.1	Problema Principal.....	12
4.2	Otros Problemas	13
4.3	Tabla de Costos por Minuto de Falla por Eventos	16
4.4	Tabla de Pérdidas de No Producción Anual.....	17
5	Propuesta de solución	17
5.1	Solución.....	17
6	Alcances y Delimitaciones del Proyecto.....	19
6.1	Datos para Utilizar	19
6.2	Datos en Tiempo Real	19
6.3	Donde se Realizará.....	19
6.4	Tiempo	19
6.5	Otros	20
7	Objetivos del Proyecto de Título.....	20
7.1	Objetivo General.....	20
7.2	Objetivos Específicos	20
8	Marco Teórico (Qué herramientas usaremos).....	22
8.1	Ishikawa (Causa & Efecto).....	22
8.2	Análisis de Pareto	22
8.1	Análisis de Criticidad.....	23
8.1	Bizagi	23
8.1	Ciclo de Deming	24
8.2	Análisis Costo Beneficio	24
8.3	Técnicas de Mejora Continua	25
8.4	Productive Maintenance (TPM).....	25
9	Descripción de la Empresa	26



UNIVERSIDAD
SAN SEBASTIAN
FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

9.1	Fundación y Orígenes (1920 - 1930).....	26
9.2	Organigrama de la Empresa.....	26
9.3	Organigrama de Planta Puente Alto	27
9.4	Tipos de productos	27
9.5	Misión	28
9.6	Visión	28
9.7	Valores	29
9.8	Conclusión y Relevancia de CMPC y Softys en Chile.....	31
9.9	Diversificación (1930 - 1970)	31
9.10	Consolidación y Globalización (1970 - 2000).....	32
9.11	Impacto Social y Sostenibilidad	32
9.12	Descripción del Proceso de Preparación de Pastas	34
9.12.1	Pulper Helico	35
9.12.2	Estrujación Fibra VP-60	35
9.12.3	Dispensor Kcrima	36
9.12.4	Refinación.....	37
9.13	Flujo del Proceso.....	37
10	Descripción del Problema	38
10.1	Pérdidas de Tiempo por Disponibilidad en la Línea de Reciclado Principal PP1	38
10.2	Diagrama de Ishikawa.....	39
10.2.1	Máquina (Equipos)	40
10.2.2	Método.....	40
10.2.3	Mano de Obra	40
10.2.4	Materiales	41
10.2.5	Medición	41
10.2.6	Medio Ambiente	41
10.2.7	Identificación de los Impactos del Problema	42
10.3	Diagrama de Pareto	43
10.4	Resumen de Pareto.....	44
11	Clasificación de Riesgos o Criticidad	45



UNIVERSIDAD
SAN SEBASTIAN
FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

11.1.1	Seguridad	45
11.1.2	Ambiente.....	46
11.1.3	Producción	46
11.1.4	Imagen.....	46
11.2	Tabla de Criticidad	47
11.2.1	Avería Mecánica.....	48
11.2.2	Avería Trancón	49
11.2.3	Avería Eléctrica.....	49
12	Resumen de Criticidad	50
12.1	Tabla Resumen Criticidad	51
13	Ciclo de Deming (PDCA)	52
13.1	Etapa I Planificar	52
13.1.1	Objetivo General.....	52
13.1.2	Objetivos Específicos de la Solución	52
13.1.3	Fase 1 Planificación e Identificación	53
13.1.1	Matriz de Responsabilidades del Proyecto	54
13.1.2	Fase 2 Adquisición e Instalación	55
13.1.3	Fase 3 Capacitación y Puesta en Marcha	56
13.1.4	Fase 4 Operación y Optimización Continua	56
13.2	Etapa II Hacer.....	57
13.3	Fase 2: Adquisición e Instalación	57
13.3.1	Adquisición de Componentes Tecnológicos	57
13.3.2	Cotización de Dispositivo ABB.....	59
13.3.3	Contratación e Instalación de Dispositivos	59
13.3.4	Personal, e Implementación de la Plataforma de Monitoreo y Conectividad en la Nube	60
13.3.5	Mapeo de Activos Críticos para Monitoreo por Vibraciones.....	61
13.3.6	Check List de Mapeo de Activos Críticos.....	62
13.3.7	Listado de activos críticos a monitorear	63
13.3.8	Diseño de la Arquitectura de Implementación del Sistema de Monitoreo Online.	68



UNIVERSIDAD
SAN SEBASTIAN
FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

13.3.9	Layout para la instalación de Gateway y Sensores	69
13.3.10	Preparación de Contenidos para la Capacitación	70
13.3.11	Programa de capacitación.....	70
13.4	Fase 3: Capacitación y Puesta en Marcha.....	73
13.4.1	Ejecución del Programa de Capacitación	73
13.4.2	Pruebas Piloto y Calibración del Sistema	73
13.4.3	Plan de Comunicación Interna de la Implementación	74
13.5	Fase 4: Operación y Optimización Continua	75
13.5.1	Monitoreo Continuo y Análisis Predictivo de Datos	75
13.5.2	Implementación de Mantenimiento Basado en Condición	76
13.5.3	Programación de Ordenes de trabajo.....	76
13.5.4	Registro de Fallas Controladas.....	77
13.5.5	Evaluación de Rendimiento y Mejora Continua del Sistema	77
13.5.6	Informe de Rendimiento y Mejora Continua	78
13.5.7	Evaluación de la Situación Actual.....	79
13.5.8	Flujo de Gestión de Fallas Actual	80
13.5.9	Diagrama de Flujo Gestión de Fallas Actual.....	81
13.6	Flujo Gestión de Fallas Objetivo	82
13.6.1	Diagrama de Flujo de Gestión de Fallas Final	83
13.7	Etapa III Verificar.....	84
13.7.1	Verificación de Resultados Esperados	84
13.7.2	Tabla de Indicadores	85
13.8	Etapa IV Actuar	86
13.8.1	Acciones de Mejora y Expansión.....	86
13.8.2	Retroalimentación.....	87
14	Análisis Económico.....	88
14.1.1	Costo de Adquisición de Smart Sensor G2	89
14.1.2	Costo de Adquisición de Sensores Gateway	89
14.1.3	Costo de Instalación	89
14.1.4	Costo de Suscripción o Licencia	90



UNIVERSIDAD
SAN SEBASTIAN
FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

14.1.5	Costos de Personal de Soporte	90
14.1.6	Costos de Capacitación	90
14.2	Resumen del Total de Costos.....	91
14.3	Análisis de Beneficios o Ahorros.....	92
14.3.1	Tabla Costo Total de Perdidas por Fallas No Programadas	93
14.3.2	Tabla de Costos Totales de Perdidas por Fallas No Programadas a Reducir	94
14.3.3	Retorno de la inversión (ROI).....	95
14.3.4	Payback	96
14.4	Análisis Costo-Beneficio.....	97
15	Plan de Mantenimiento Sugerido	98
15.1	Tabla de Mantenimiento	99
16	Conclusión	100
17	Bibliografía	102



UNIVERSIDAD
SAN SEBASTIAN
FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

3 Introducción

La disponibilidad operacional es uno de los pilares fundamentales en la gestión de equipos industriales, ya que determina en gran medida la eficiencia y continuidad de los procesos productivos. En la planta de Softys Puente Alto, específicamente en la línea PP1 correspondiente al área de preparación de pasta, se han identificado múltiples oportunidades de mejora asociadas a detenciones no programadas, las cuales generan impactos tanto económicos como técnicos. Frente a esta problemática, el presente proyecto de título propone una solución basada en la implementación de sensores inteligentes ABB Ability, orientados a migrar desde un modelo de mantenimiento correctivo a uno predictivo con monitoreo en línea las veinticuatro horas del día, los siete días de la semana.

En primera instancia se presentan los antecedentes de la empresa y del área específica donde se enfoca el proyecto, así como la definición del problema, los objetivos generales y específicos, el alcance y las limitaciones que delimitan esta propuesta de mejora.

Seguido con el contenido del marco teórico, abordando los conceptos técnicos claves como mantenimiento correctivo, preventivo y predictivo, herramientas de análisis y los fundamentos de la Industria 4.0 que sustentan la elección tecnológica planteada, para luego desarrollar el diagnóstico de la situación actual de la línea PP1, identificando las principales fallas mecánicas y eléctricas, su frecuencia, criticidad y los costos asociados a estas detenciones no programadas.

También se detalla el proceso de selección de equipos críticos, el funcionamiento de los sensores ABB Ability, su ubicación estratégica, el plan de mantenimiento preventivo asociado, y el análisis técnico-económico que respalda la viabilidad del proyecto.



UNIVERSIDAD
SAN SEBASTIAN
FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

Para esto se aplican herramientas de gestión como el Ciclo de Deming, se definen indicadores de gestión, se presenta el análisis de costo-beneficio, además se evidencia el impacto positivo esperado en la disponibilidad de la línea.

Finalmente, se entrega las conclusiones generales del proyecto y recomendaciones para la continuidad de esta estrategia, proponiendo una cultura de mejora continua orientada a la confiabilidad y sustentabilidad operacional.



4 Justificación del Problema

En la actualidad, el área de preparación pasta cuenta con 3 líneas procesadoras de fibra de papel una de ellas es de 100% celulosa y otras dos son de 100% papel reciclado, esta área de preparación de pasta es la encargada de suministrar posteriormente la materia prima hacia las máquinas de fabricación de papel como se muestra en la siguiente imagen.



Fuente: Área de fabricación Softys Chile.

4.1 Problema Principal

Uno de los principales desafíos del área de preparación pasta es que cuenta con un sistema manual de obtención de datos (frecuencia mensual) para el análisis de monitoreo de la condición de los equipos para poder prevenir posibles fallas y programar intervenciones de las mantenciones requeridas.



UNIVERSIDAD
SAN SEBASTIAN
FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

Para poder obtener estos datos es necesario detener la maquina por lo menos una hora al mes, lo que implica una alteración en la continuidad del proceso de fabricación del papel.

El punto más importante para considerar es que al ser mediciones específicas de monitoreo manual solo se visualiza el dato recogido de la falla en ese momento específico es como una foto del equipo y no visualiza tendencias ni datos históricos para prevenir la mantención de los equipos.

Por otra parte dentro de la frecuencia con que se toman los datos no se tienen mediciones de los equipos entre sus fallas, por ende la data tampoco es confiable significando no poder actuar, programar y anteponerse a una eventual futura falla en los componentes de los equipos utilizados en el área de preparación de pastas, por lo anterior actualmente se ejecuta un mantenimiento correctivo y esto implica sumar minutos adicionales en detenciones que pudieron ser programadas con un buen manejo de datos en el análisis de monitoreo de los equipos, por lo tanto, existe una pérdida en eficiencia mensual que requiere la línea de producción.

4.2 Otros Problemas

- **Intervención Humana:** las mediciones manuales dependen de la habilidad del personal, lo que puede resultar en errores humanos o en la falta de datos.
- **Frecuencia de Medición Limitada:** Las mediciones suelen realizarse en intervalos programados que no corresponde al área de preparación de pastas, lo que puede significar que no se detecten problemas hasta que se produzcan fallos.
- **Costos y Tiempo:** El tiempo y los recursos necesarios para realizar mediciones manuales pueden ser altos, además de posibles costos relacionados con el tiempo de inactividad del equipo.



UNIVERSIDAD
SAN SEBASTIAN
FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

- Gestión de datos: El almacenamiento y análisis de datos manuales es ineficiente y propenso a errores.

Para tener un contexto general de la situación del área de preparación de pastas se extrajeron los datos del año 2024 y la disponibilidad de la línea es un 81,8% y las pérdidas de disponibilidad están en un 18,2%

Las pérdidas que presenta el área de preparación de pastas durante el año 2024 se pueden ver en el siguiente grafico



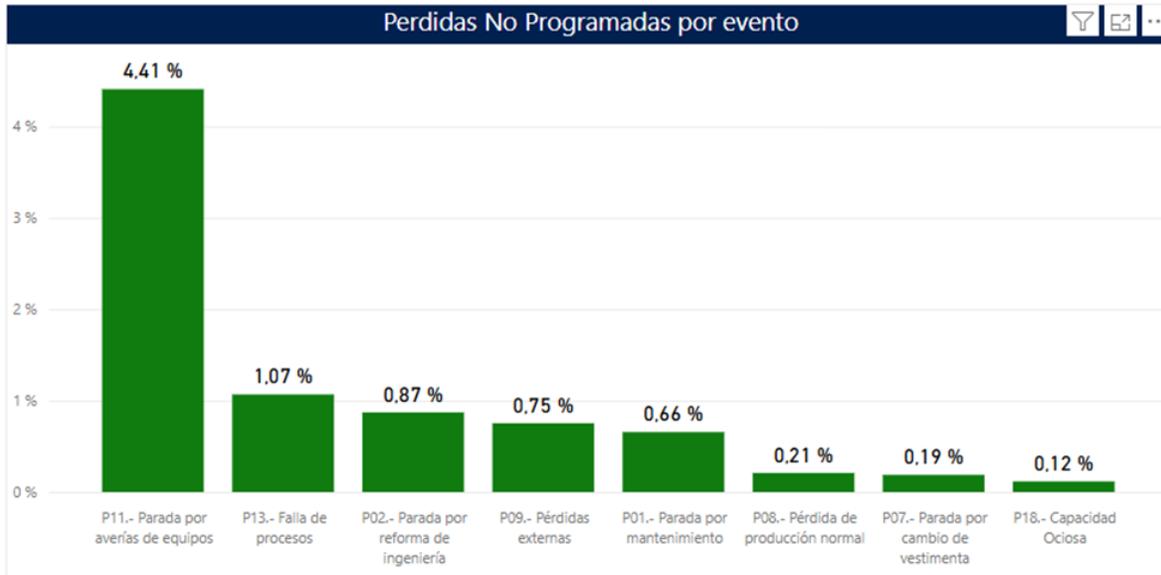
Fuente: Área de fabricación Softys Chile.

Se puede apreciar que las paradas por averías de equipo representan el 8,07% del total de pérdidas no programadas, esto indica que las averías de equipos son la principal causa de interrupciones no planificadas en la producción y este alto porcentaje sugiere que hay problemas significativos con la fiabilidad de los equipos.

Ahora bien, como las averías de equipos es la principal causa de pérdidas no programadas nos centraremos en la línea PP1 que muestra un significativo 4,41% del total perdida como lo muestra el siguiente gráfico.



UNIVERSIDAD
SAN SEBASTIAN
FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL



Fuente: Área de fabricación Softys Chile.

El gráfico adjunto ilustra la distribución de las pérdidas no programadas, donde las averías de equipos superan significativamente a otras causas, esto se puede traducir en pérdidas económicas considerables, dado que el costo por minuto de detención no programada asciende a \$39,4 dólares.

Esto repercute de mala manera en los costos del área de la empresa, si se realiza una detención no programada por una falla su costo es más elevado ya que la demanda de papel es tan alta que una parada no programada implica tener que importar papel para cumplir con la demanda actual que tiene la empresa.

Por otra parte, actualmente el área de producción detiene las máquinas una vez al mes para ejecutar cambios de vestimentas (tela y paño) que son parte esencial en el proceso de la fabricación del papel, por lo anterior el área de mantenimiento cuando detiene producción recién se produce el paro para el área de preparación pasta, esto quiere decir que mantención no programa sus detenciones, si producción no se detiene no se ejecutan trabajos de mantenimiento.



UNIVERSIDAD
SAN SEBASTIAN
FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

La falta de un sistema de monitoreo en tiempo real dificulta esta coordinación entre áreas y como resultado da como las paradas adicionales y pérdidas de producción.

En los gráficos podemos apreciar nueve tipos de eventos con el porcentaje de fallas no programadas, por lo tanto, podemos distinguir los costos anuales de toda el área de preparación pastas por fallas no programadas en el siguiente recuadro.

4.3 Tabla de Costos por Minuto de Falla por Eventos

Evento	Minutos por fallas no programadas	Costo de falla (CLP)
P01.- Parada por mantenimiento	1.560	\$ 57.161.520
P02.- Parada por reforma de ingeniería	4.945	\$ 181.194.690
P07.- Parada por cambio de vestimenta	210	\$ 7.694.820
P09.- Pérdidas externas	7.869	\$ 288.335.898
P11.- Parada por averías de equipos	45.812	\$ 1.678.643.304
P12.- Parada por problemas de calidad de insumo	225	\$ 8.244.450
P13.- Falla de procesos	9.340	\$ 342.236.280
P18.- Capacidad Ociosa	18.650	\$ 683.373.300
Costos totales	88.611	\$3.246.884.262

Fuente: Área de fabricación Softys Chile.

Se puede observar que se tienen un total de 1.476 horas de fallas al año del área de preparación de pastas lo que da un total de \$3.246.884.262 millones de pesos.

También se puede encontrar la estimación de no producción de papel por la ejecución de las mediciones manuales de monitoreo con una frecuencia de una hora mensual aproximadamente, lo que incurre en un costo no visible de pérdida por toneladas de papel, que se traduce en \$1.116.000 pesos, se puede observar en el siguiente recuadro la estimación de no producción anual.



UNIVERSIDAD
SAN SEBASTIAN
FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

4.4 Tabla de Pérdidas de No Producción Anual

Costo de no producción por tonelada	Toneladas por hora	Costo total mensual	Año
\$ 1.116.000	3	\$ 3.348.000	\$ 40.176.000

Fuente: Área de fabricación Softys Chile.

5 Propuesta de solución

Como ya se mencionó anteriormente mantención espera al área de producción para realizar la detención de las máquinas y es en ese momento donde mantención comienza a revisar los equipos para ejecutar trabajos menores ya que no cuentan con los datos suficientes para realizar intervenciones más detalladas a los equipos más críticos dentro de la operación.

5.1 Solución

Es por esto que como solución se puede implementar un sistema de monitoreo de condiciones en línea y mantenimiento predictivo gestionando la compra de un sensor smart Abb que permite realizar la recolección de datos requeridas para lograr el análisis de vibraciones de los equipos el cual serán implementados inicialmente en la línea de reciclado más grande del área de preparación pasta que es la línea PP1 con una dotación inicial de dispositivos de 40 smart abb entre ellos se encontraran los equipos más críticos dentro de la operación como lo son pulper helico, Screw One, bombas centrifugas, dispensor kcrima entre otros, además se debe comprar 6 Gateway para lograr la conexión deseada con los sistemas, todos los productos mencionados son inalámbricos.

El objetivo principal de esta propuesta es transformar el enfoque de mantenimiento actual, pasando de un sistema reactivo y manual a uno proactivo y predictivo, minimizando las detenciones no programadas y optimizando la eficiencia de la línea de producción generando menores perdidas para la línea y la compañía.



UNIVERSIDAD
SAN SEBASTIAN
FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

también dentro de la propuesta se debe considerar la instalación de los sensores en la línea crítica de producción, la implementación de los sistemas que permitan la recolección y el almacenamiento de los datos que envían los sensores en línea para su posterior procesamiento, además del software y su licencia.

Al generar estas acciones y lograr la recopilación de datos por consecuencia se debe utilizar las técnicas de análisis de datos para identificar patrones y tendencias desarrollando modelos predictivos que permitan detectar la falla anticipadamente para así programar el mantenimiento de forma proactiva y automatizar el sistema para que llegue a brindar alertas o notificaciones cuando se detecte alguna anomalía.

Seguido de la capacitación del personal de mantenimiento para que conozcan los nuevos equipos y su funcionamiento además de las técnicas de mantenimiento predictivo, se puede proporcionar la formación continua para asegurar que el personal este actualizado y mejorando las prácticas de mantenimiento.

Por último, se debe realizar el análisis del costo de la implementación del nuevo sistema ya sea el de los sensores, software, hardware y la capacitación del personal, se debe cuantificar los beneficios esperados de las detenciones no programadas y la disponibilidad u optimización de tiempo de la línea, algunos beneficios esperados de la propuesta de mejora son:

- Reducción significativa de las detenciones no programadas.
- Optimización del tiempo de actividad de las líneas de producción.
- Disminución de los costos de mantenimiento.
- Mejora de la eficiencia y la productividad.
- Aumento de la vida útil de los equipos.
- Toma de decisiones más informada y proactiva.



UNIVERSIDAD
SAN SEBASTIAN
FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

6 Alcances y Delimitaciones del Proyecto

6.1 Datos para Utilizar

Se utilizarán datos de medición manual que son exclusivamente de la empresa Softys esto asegura la fiabilidad de los datos, ya que provienen de una fuente segura desde el interior de la organización.

6.2 Datos en Tiempo Real

Implementar un sistema de monitoreo continuo para el área que permita la detección temprana de averías.

6.3 Donde se Realizará

Se realizará en el área de preparación pasta de la empresa Softys específicamente en la línea pp-01, esto permitirá obtener resultados más precisos y relevantes que permitan el desarrollo de la medición de datos.

6.4 Tiempo

El proyecto se centrará en línea PP1 (línea de fibra de reciclado principal) que repercute en la cadena de producción del papel de maquina 1, No obstante, un intervalo de 6 meses ofrece una cantidad considerable de datos para detectar patrones y poder evaluar oportunidades de mejora.



UNIVERSIDAD
SAN SEBASTIAN
FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

6.5 Otros

El proyecto se limita a conseguir un sistema de monitoreo basado en vibraciones para la entrega de datos en tiempo real y está sujeto a costos de implementación.

7 Objetivos del Proyecto de Título.

7.1 Objetivo General

Elaborar una mejora en la disponibilidad del mantenimiento de las líneas de producción “línea PP1” preparación pasta, Planta Puente Alto Softys Chile.

7.2 Objetivos Específicos

Aplicar diversas herramientas ingenieriles con el fin de determinar las causas y consecuencias del problema raíz de los tiempos de parada no programados en la línea de fibra de reciclado principal PP1, utilizando herramientas de análisis como el diagrama de Ishikawa y el análisis de Pareto cuantificando pérdidas por mantenimiento no programado.

Elaborar una solución efectiva que permita la consideración de un Diseño e implementación de un sistema de monitoreo en tiempo real (online) basado en vibraciones para la máquina PP1, con el fin de mejorar la adquisición y el análisis de datos para detectar anomalías y predecir fallas potenciales en componentes críticos de la máquina.



UNIVERSIDAD
SAN SEBASTIAN
FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

Evaluar la viabilidad económica de la solución del sistema de monitoreo propuesto, considerando los costos de inversión, operación y mantenimiento a través de un análisis de costo-beneficio.

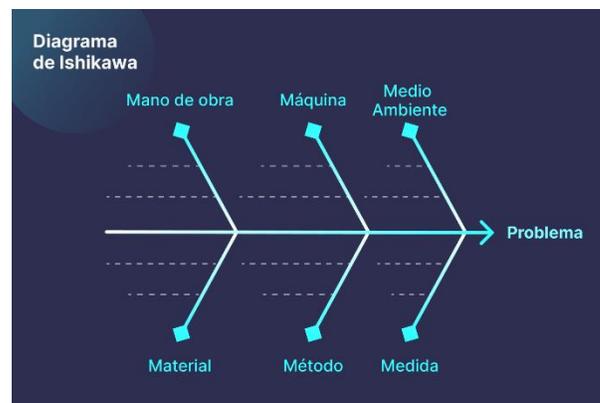


UNIVERSIDAD
SAN SEBASTIAN
FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

8 Marco Teórico (Qué herramientas usaremos)

8.1 Ishikawa (Causa & Efecto)

Es una poderosa herramienta visual que facilita la identificación y resolución de problemas encontrando los puntos críticos y entendiendo como interactúan las distintas causas como los recursos humanos, máquinas, sistemas y todo lo que tiene que ver con la organización



8.2 Análisis de Pareto

El análisis de Pareto es una herramienta empleada para determinar cuáles factores contribuyen de manera más significativa a un determinado fenómeno, aplicando el principio de que una pequeña cantidad de causas suele producir la mayoría de los efectos. Este enfoque se utiliza para identificar y enfocarse en las tareas o problemas que tendrán el mayor impacto si se abordan primero.



UNIVERSIDAD
SAN SEBASTIAN
FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

Se basa en el principio de que aproximadamente el 80% de los efectos provienen del 20% de las causas. Al identificar y abordar las causas principales, se pueden lograr mejoras significativas en la eficiencia.

8.1 Análisis de Criticidad

Es un proceso que permite identificar y evaluar los elementos más cruciales dentro de un sistema o proceso de producción. Su objetivo es determinar la importancia de cada componente o actividad, considerando tanto la probabilidad de que ocurra una falla como las consecuencias que esta tendría sobre el funcionamiento general del sistema. Este análisis ayuda a priorizar los recursos y esfuerzos de mantenimiento, enfocándose en los elementos cuya falla podría generar el mayor impacto en la eficiencia y continuidad de la operación

8.1 Bizagi

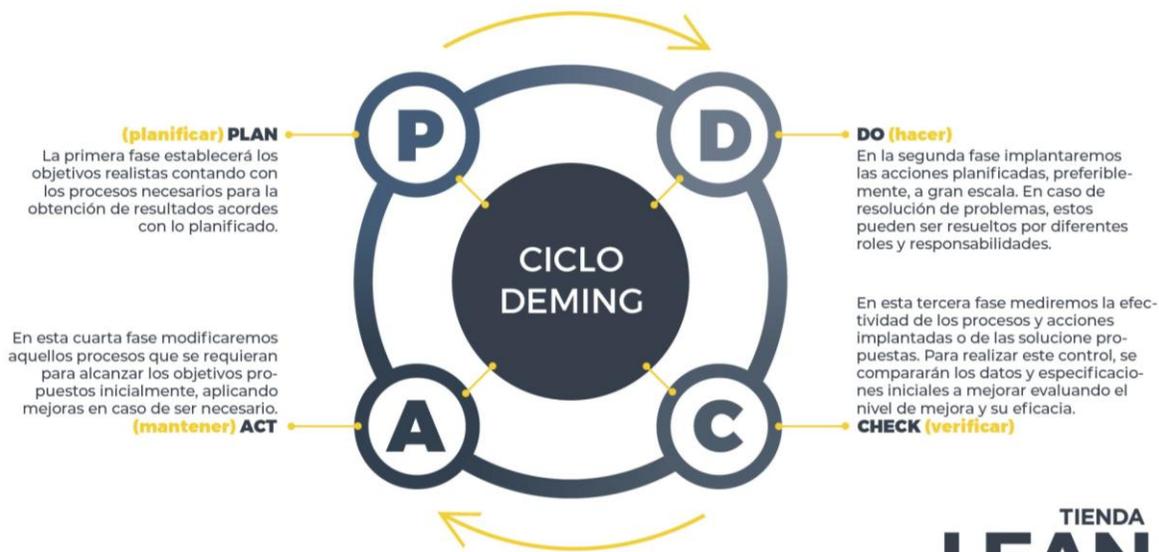
Es una herramienta de diagramación que se utiliza para modelar, documentar y optimizar procesos de negocio. Permite visualizar los procesos de manera clara y comprensible, identificando áreas de mejora y oportunidades de optimización.

Es ampliamente utilizado en diferentes industrias para mejorar los flujos de trabajo, aumentar la productividad y acelerar la innovación dentro de las organizaciones.



8.1 Ciclo de Deming

También conocido como el Ciclo PDCA (Plan-Do-Check-Act) o Ciclo de Mejora Continua, es una herramienta de gestión utilizada para el control y mejora continua de procesos y productos a través de un enfoque sistemático y basado en datos.



8.2 Análisis Costo Beneficio

Este análisis se usa para determinar si una idea o proyecto es viable económicamente, para tomar las mejores decisiones, en este caso en particular se podría definir si el dispositivo es más económico que la obtención de datos de manera manual se hace referencia a cómo se proyecta los costos de la mejora con el tiempo y no a los costos de cómo se ejecutan ambos procesos, el análisis costo-beneficio es una herramienta fundamental para evaluar la viabilidad económica de la implementación de un proyecto.



UNIVERSIDAD
SAN SEBASTIAN
FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

8.3 Técnicas de Mejora Continua

Lean Manufacturing y Total Productive Maintenance (TPM) son dos enfoques de mejora continua ampliamente utilizados en la industria.

Lean Manufacturing es una filosofía de gestión enfocada en la mejora continua que busca maximizar el desperdicio y optimizar todos los procesos dentro de una organización. El objetivo principal es crear procesos eficientes, flexibles y adaptados a las necesidades del cliente, reduciendo al mismo tiempo los costos y los tiempos de producción Total.



8.4 Productive Maintenance (TPM)

El Mantenimiento Productivo Total (TPM) es una estrategia de gestión que busca maximizar la eficacia global de los equipos de producción mediante la participación proactiva de todos los empleados. TPM tiene como objetivo eliminar las pérdidas asociadas con paradas no planificadas, bajadas de rendimiento y defectos en el proceso de producción. Esta técnica se enfoca en la implementación de programas de mantenimiento preventivo y predictivo.



UNIVERSIDAD
SAN SEBASTIAN
FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

9 Descripción de la Empresa

9.1 Fundación y Orígenes (1920 - 1930)

La historia de CMPC comienza en 1920 en Concepción, cuando un grupo de empresarios chilenos, liderados por Gonzalo Vial, fundó la empresa bajo el nombre de Compañía Manufacturera de Papeles y Cartones. El objetivo inicial fue la producción de papel y cartón, especialmente para el abastecimiento de industrias nacionales. En sus primeros años, CMPC se centró en la producción de papelería para uso local y para exportación hacia mercados cercanos, como los países de América Latina.

9.2 Organigrama de la Empresa

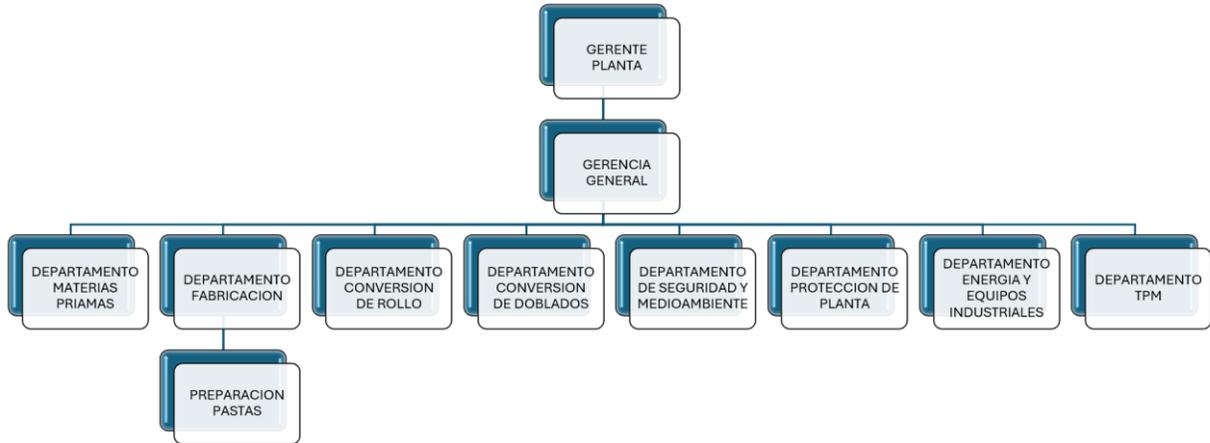


Fuente: Área de fabricación Softys Chile.



UNIVERSIDAD
SAN SEBASTIAN
FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

9.3 Organigrama de Planta Puento Alto



Fuente: Área de fabricación Softys Chile.

9.4 Tipos de productos





UNIVERSIDAD
SAN SEBASTIAN
FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

9.5 Misión

La misión declarada por CMPC S.A. es la producir y comercializar, a partir de plantaciones desarrolladas por el hombre, maderas, celulosa, papeles, productos de embalaje y productos tissue de manera sostenible en el tiempo, con calidad superior y competitiva, que agregue valor a sus accionistas y clientes, y creando oportunidades de desarrollo para sus trabajadores y comunidades locales.

9.6 Visión

En CMPC S.A. aspiramos a ser reconocidos como un equipo de excelencia, un referente en la industria gracias a nuestra dedicación a la entrega de la más alta disponibilidad y confiabilidad de nuestros activos. Nos esforzamos por optimizar el uso de los recursos, asegurando que cada paso que damos esté alineado con la sostenibilidad y el respeto por el medio ambiente.

Nuestro compromiso se extiende a la creación de un ambiente de trabajo grato y seguro, donde el trabajo en equipo y el conocimiento técnico avanzado son los pilares de nuestro éxito. Creemos firmemente que al cuidar lo que queremos, también estamos cuidando de nosotros mismos y de nuestro futuro.

Esta visión se refleja en nuestro lema: "Cuidamos lo que queremos. Haciendo lo que nos cuida". Una declaración que encapsula nuestra filosofía de trabajo y nuestro compromiso con la excelencia, la sostenibilidad y el bienestar de nuestro equipo, no solo nos esforzamos por alcanzar nuestros objetivos de negocio, sino que también nos comprometemos a ser un ejemplo de responsabilidad y cuidado en todo lo que hacemos.



UNIVERSIDAD
SAN SEBASTIAN
FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

9.7 Valores

Respeto por las personas: se promueve el respeto por aquellos con los que se interactúa, valorando el buen trato, la franqueza, la lealtad, la confianza y la buena fe, además de velar por la integridad y salud de las demás personas.

Cuidado por el medio ambiente: se promueve el desarrollo sustentable, cuidando el medioambiente y los recursos naturales para no afectar las próximas generaciones.

Cumplimiento estricto por las normas legales: se respetan las regulaciones legales, cumpliendo estrictamente la legislación vigente en todos los aspectos involucrados en el desarrollo de los negocios.

Lealtad al competir: se valora el desarrollo de la libre competencia, ya que favorece el desarrollo de más y mejores productos y servicios, a menor costo para los consumidores, consideración por las necesidades de los vecinos: consiste en establecer una relación de colaboración y confianza con los vecinos, con el fin de maximizar los beneficios sociales de las operaciones.

Expansión respuesta a estos desafíos, CMPC ha invertido en proyectos de sostenibilidad, como el manejo responsable de los recursos naturales, la reducción de la huella de carbono y la certificación de sus prácticas medioambientales con estándares internacionales como el FSC (Forest Stewardship Council).

La Fundación Softys Chile fue creada con el objetivo de promover el desarrollo social y la sostenibilidad en el país. La fundación se dedica a varios proyectos de impacto social, especialmente enfocados en:

- Salud: La Fundación Softys apoya diversas iniciativas orientadas a mejorar las condiciones de salud en comunidades vulnerables. Esto incluye el acceso a servicios de salud, campañas de prevención, y distribución de productos de higiene.



UNIVERSIDAD
SAN SEBASTIAN
FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

- Educación: Otro pilar fundamental de la fundación ha sido su compromiso con la educación. Softys apoya diversas iniciativas educativas, desde la entrega de recursos para la educación básica hasta programas de formación técnica y profesional.
- Medioambiente: La fundación también está comprometida con la protección del medio ambiente. Entre sus proyectos más relevantes se encuentran iniciativas para la reforestación, la reducción de residuos y la promoción de prácticas de consumo responsable. En este sentido, la fundación también colabora con CMPC para promover el manejo sostenible de los recursos naturales.
- Emergencias y Crisis: La fundación tiene un historial de intervención en situaciones de emergencia, tales como desastres naturales. Ha entregado ayuda en casos de incendios forestales, terremotos y otras crisis humanitarias en Chile.

Proyectos Significativos de Fundación Softys

- Programa de Reforestación: En alianza con organizaciones ambientales, la fundación ha implementado varios programas para la reforestación de zonas afectadas por incendios o deforestación.
- Reducción de Desperdicios y Reciclaje: Softys también ha liderado proyectos orientados a reducir el desperdicio y aumentar las tasas de reciclaje de productos de papel. A través de la Fundación Softys, la compañía promueve la educación ambiental y el uso de productos reciclados.
- Apoyo a Comunidades Vulnerables: En áreas rurales y de difícil acceso, la fundación ha colaborado en la construcción de infraestructura básica como centros



UNIVERSIDAD
SAN SEBASTIAN
FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

de salud y escuelas, además de contribuir con el abastecimiento de productos básicos

9.8 Conclusión y Relevancia de CMPC y Softys en Chile

Tanto CMPC como Softys han jugado un papel crucial en el desarrollo de la economía chilena. CMPC, como líder en la industria forestal y papelera, ha sido un pilar en el crecimiento económico del país, mientras que Softys, como una marca de productos de consumo, ha impactado directamente en la vida diaria de millones de personas en Chile y América Latina.

La Fundación Softys Chile refleja el compromiso de la empresa con la responsabilidad social empresarial (RSE) y la sostenibilidad, abordando desafíos sociales y ambientales que son relevantes para las comunidades donde la empresa opera.

9.9 Diversificación (1930 - 1970)

A medida que pasaban los años, la empresa fue ampliando sus operaciones y se diversificó a nuevas áreas. CMPC comenzó a incursionar en la producción de celulosa durante la década de 1940, lo que le permitió consolidarse en el negocio de la industria forestal y ser una de las principales productoras de papel en Chile.

Durante los años 50 y 60, CMPC experimentó un crecimiento notable, lo que le permitió superar el ámbito local y tener una presencia más internacional. La empresa fue pionera en la instalación de fábricas y plantas de producción en el sur de Chile, aprovechando la gran disponibilidad de recursos naturales como los bosques de pino y eucalipto.



UNIVERSIDAD
SAN SEBASTIAN
FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

9.10 Consolidación y Globalización (1970 - 2000)

Entre las décadas de 1970 y 1990, CMPC experimentó una expansión global. La compañía invirtió en nuevos mercados, especialmente en América Latina y otras regiones, y también aumentó su capacidad de producción de papel higiénico, productos para el hogar, y cartón para embalaje. Durante esta etapa, CMPC alcanzó una posición de liderazgo no solo en Chile sino también en mercados internacionales.

Un hito importante en este período fue la privatización de la empresa durante la dictadura de Augusto Pinochet. En 1982, CMPC fue privatizada, y las acciones pasaron a manos de la familia Matte, quienes siguen siendo dueños mayoritarios hasta la fecha.

Durante los años 90 y 2000, Softys expandió su presencia no solo en Chile sino también en mercados internacionales, consolidándose como una de las principales marcas de higiene personal en América Latina. La empresa fue un actor importante en la región al ser parte de la creciente demanda por productos de consumo masivo, desde productos higiénicos hasta soluciones para el cuidado del hogar.

9.11 Impacto Social y Sostenibilidad

Hoy en día, CMPC es una de las empresas forestales más grandes de América Latina. Su principal actividad sigue siendo la producción de celulosa y papel, pero también ha diversificado sus operaciones hacia el sector de energía y biotecnología. CMPC ha sido una empresa clave para el desarrollo económico de Chile, pero también ha enfrentado desafíos en términos de sostenibilidad ambiental.

La industria forestal ha sido objeto de críticas debido a la plantación intensiva de especies como el pino y el eucalipto, que requieren grandes extensiones de terreno



UNIVERSIDAD
SAN SEBASTIAN
FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

y tienen un impacto significativo sobre la biodiversidad y los ecosistemas. En
Procesos actuales de la empresa

El área de preparación pasta es punto inicial del proceso de fabricación de papel en donde se recepciona toda la materia prima que se procesa para la obtención de papel, por lo cual podemos encontrar una variedad de fibra que se almacena en el patio como por ejemplo fardos 100% celulosa y fardos 100% papel reciclado como; duplex, blanco 1, blanco 2, blanco 3, revistas, provincia, recortes propios, mantas etc.

La fabricación del papel depende del producto que se necesite vender esto se lleva a cabo con un programa de fabricación que maneja el área de ventas el cual nos va comunicando semanalmente y en ocasiones diariamente este último sucede solo cuando en otra filial tienen problema con alguna fabricación de papel puntual o una máquina se encuentra con fallas y se debe cumplir con cierta demanda del producto.

El papel que se necesita fabricar conlleva preparar una receta específica para cumplir con los estándares de calidad de cada producto entre ellos tenemos la fabricación de papel ecológico, papel doble hoja, sabanilla, servilleta, económico entre otros.



UNIVERSIDAD
SAN SEBASTIAN
FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

9.12 Descripción del Proceso de Preparación de Pastas

La fibra se almacena en el patio de materias primas clasificada por sectores ejemplo, sector de celulosa, reciclado 1,2,3, recortes propios, mantas, yumbos a reproceso, etc.

Existe un operador grúa que se encarga de llevar la fibra requerida por producción en donde de manera ordenada se acopian los fardos en cada cadena de transporte donde la fibra llega hasta el pulper e inicia el proceso de preparación de pasta.

Una vez cargadas las cadenas de transporte de fibras, el proceso lo continúa el Operador pulper que es el encargado de operar los equipos de disgregación donde se trata la pulpa se lavan las fibras para eliminar los químicos y compuestos orgánicos, se mezclan con aditivos como colorantes, cargas minerales, y productos especiales hasta homogeneizar la pasta.

cómo fue mencionado anteriormente en el área de preparación pasta existen 3 líneas de procesado de las fibras, una que es 100% celulosa y otras dos que son 100% fibra reciclada, por lo cual describiremos como es el proceso completo de una de las líneas más grandes del área de preparación pasta que es la línea pp-01 (línea de fibra 100% reciclado)



UNIVERSIDAD
SAN SEBASTIAN
FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

9.12.1 Pulper Helico

El pulper de disgregación que contiene esta línea se llama pulper helico por su helicoidal rotor que corta la fibra en el interior, se hace referencia al mismo funcionamiento que al de una juguera doméstica, pero de gran envergadura su capacidad es de aproximadamente 60 m³ por lo que es una de las líneas más grandes del área que abastece con pulpa 100% reciclada.

luego de ser disgregada la fibra en el pulper helico pasa a una tanque de almacenamiento (tq-20) con una capacidad de 180 m³ donde con una bomba centrífuga (bomba 20) extrae la fibra enviándola controladamente a otro tanque de almacenamiento pero de menor capacidad (tanque 50) con otra bomba centrífuga (bomba 21) se envía la fibra al primer proceso de separación de contaminantes llamado "Screw One" este equipo es un colador horizontal que permite extraer todos los contaminantes e impurezas que no sean parte de la fibra como por ejemplo; plásticos, corchetes, alambres, films etc.

9.12.2 Estrujación Fibra VP-60

La fibra aceptada se va a otro tanque de almacenamiento (tq-60) para ser enviada al **segundo proceso** estrujación de la fibra llamado VP-60 este equipo extrae mediante un tornillo y un tamiz estrujan la fibra para sacar toda el agua y dejarla lo más seca posible, luego de pasar por el proceso de estrujado la fibra es tomada por una serie de tornillos de transporte (tornillos 57,72) para hacerla llegar al **tercer proceso** la inyección de vapor, en primera instancia la fibra pasa por un tornillo calefactor de transporte (tornillo 73,74) que aumentan la temperatura paulatinamente a la fibra hasta llegar al tornillo 75 donde se inyecta gran cantidad



UNIVERSIDAD
SAN SEBASTIAN
FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

de vapor al proceso elevando la temperatura de la pasta para ablandar las impurezas que pudieron pasar del proceso anterior y ser descartadas.

9.12.3 **Dispensor Kcrima**

Mediante un tornillo de transporte (tornillo 76) llegamos al cuarto proceso la dispersión de la fibra con un equipo llamado “Dispensor kcrima” este equipo mediante la inyección de vapor, un disco ranurado rotatorio y otro estático generan la dispersión de la fibra en donde separa microscópicamente las impurezas que al ojo humano no se logran visualizar.

Luego del cuarto proceso con una bomba centrífuga (bomba 500) la pasta se transporta a un tanque de blanqueo (tq-207) donde nuevamente se inyecta una gran cantidad de vapor, pero esta vez en un TQ presurizado y en paralelo se agregan los productos químicos para

darle la tonalidad que necesita la pasta antes de ser enviada a la máquina para su posterior fabricación de papel. luego de pasar por esta torre de blanqueo con una bomba centrífuga (bomba 207) la pasta es transportada al tanque final de almacenamiento de fibra reciclada en donde una bomba centrífuga (bomba 38-b) envía la pasta finalmente al tanque en donde se genera la receta requerida para la fabricación de papel tanque 08 en donde aquí se mezcla una parte de % de celulosa y otra parte de fibra reciclada que mediante una agitación de pasta logran homogeneizar la pasta y ser pasada por el último proceso antes de ser enviada a la máquina para la fabricación de papel.



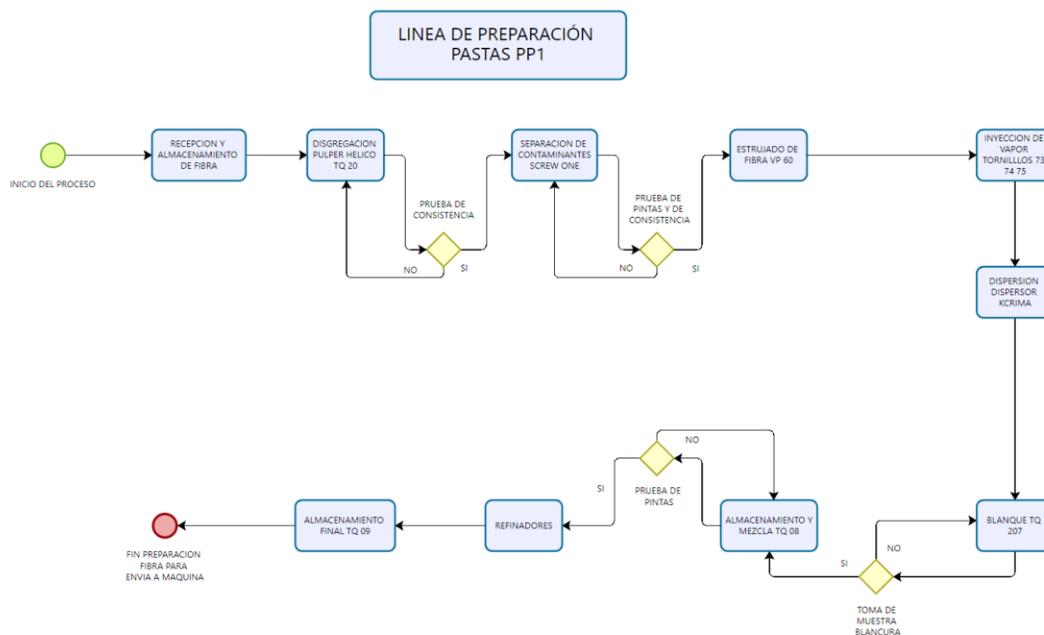
UNIVERSIDAD
SAN SEBASTIAN
FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

9.12.4 Refinación

El quinto y último proceso consta de enviar la receta de pasta a la “Refinación” este equipo desfibra y moldea las fibras de celulosa para obtener una materia fibrosa con propiedades específicas, los refinadores trabajan con 4 discos que desgastan las fibras de pasta entre discos que se mueven en sentido contrario y otros que se mantienen estáticos. El objetivo de la refinación es aumentar la fuerza de los enlaces fibra a fibra lo que hace que las fibras sean más flexibles para adaptarse entre sí logrando darle la resistencia final al papel.

Finalmente, luego de pasar por el último proceso la pasta se va a un último tanque de almacenamiento (tq-09) en donde con una bomba centrífuga (bomba 94) envía la pasta a la máquina para iniciar con el proceso de fabricación de papel.

9.13 Flujo del Proceso



Fuente: Área de fabricación Softys Chile.



UNIVERSIDAD
SAN SEBASTIAN
FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

10 Descripción del Problema

10.1 Pérdidas de Tiempo por Disponibilidad en la Línea de Reciclado Principal PP1

En el área de preparación de pastas se encuentran las diferentes líneas que alimentan a las máquinas de fabricación del papel, estas líneas trabajan de forma continua sin parar las 24 horas del día procesando la fibra que se utiliza en el proceso, es aquí donde surge la necesidad de medir el desgaste prematuro de los componentes de la línea PP1.

Para poder medir el desgaste de la PP1 se cuenta con los servicios de una empresa externa que una vez al mes realiza una medición de la línea completa para poder diagnosticar una posible falla, esta empresa externa realiza la entrega de un informe al área de confiabilidad los que a su vez analizan los datos y se los envían a los técnicos para realizar una posible intervención en los equipos más críticos.

Es aquí donde se encuentra la problemática debido a que no se cuenta con datos diarios o en línea que permitan una revisión adecuada de cada equipo, además el manejo de los datos no proporciona la confiabilidad necesaria para poder realizar el mantenimiento predictivo y preventivo.

A través de este análisis lo que se intenta es llegar a la causa raíz que provoca las fallas de los equipos y por consecuencia la pérdida de disponibilidad de la línea PP1.

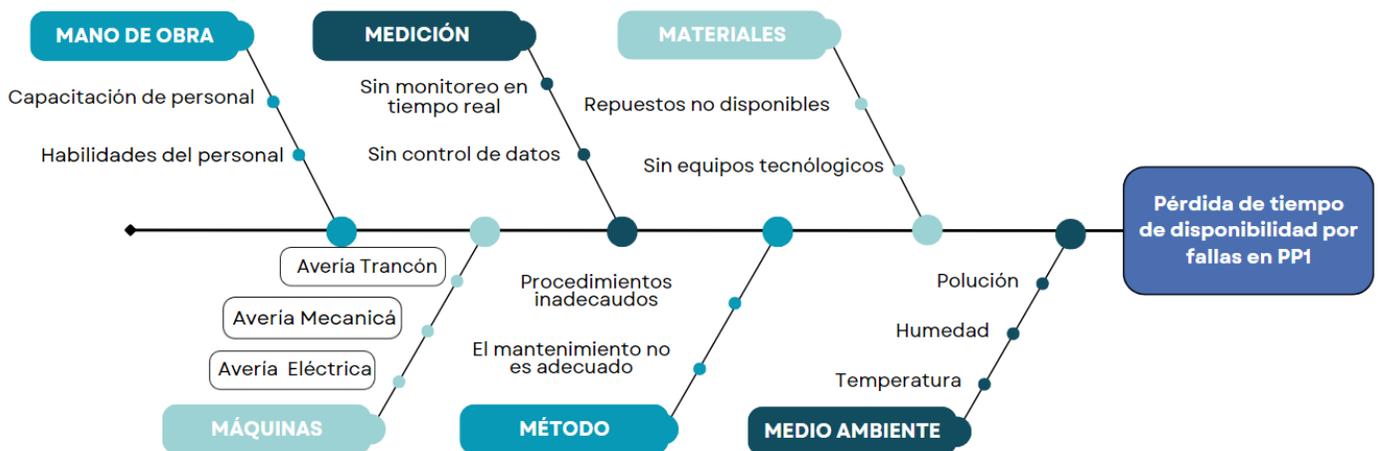


UNIVERSIDAD
SAN SEBASTIAN
FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

Las causas más relevantes del estudio demuestran que tanto las averías mecánicas, averías eléctricas y el trancón suelen fallar en sus componentes principales como rodamientos, cortes de ejes, motores quemados por alzas de temperatura, correas de transmisión y efectivamente a estos equipos se les puede aplicar el dispositivo ABB sensor de vibraciones para poder medir en tiempo real continuó su comportamiento, a continuación, se puede detallar la espina de pescado con sus 6m.

10.2 Diagrama de Ishikawa

Diagrama de Ishikawa PP1



Fuente: Área de fabricación Softys Chile.



UNIVERSIDAD
SAN SEBASTIAN
FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

10.2.1 Máquina (Equipos)

Averías mecánicas: se pueden observar el desgaste de componentes, fallas en sistemas de transmisión, fallas en las correas y cadenas, también se manifiestan Problemas con rodamientos y acoplamientos. además de cortes de ejes y soldaduras mecánicas en general.

Averías eléctricas: aquí podemos encontrar problemas de motores quemados por el alza de amperaje, fallas de rodamiento, algunos cortes de ejes y finalmente fallas en el suministro eléctrico.

Avería trancón: donde se pueden observar fallas por trancón de rodamientos y sobrecarga de motores.

10.2.2 Método

Mantenimiento: falta de mantenimiento preventivo, los procedimientos de reparación son inadecuados y existe una falta de planificación del mantenimiento.

Operación: existen procedimientos de operación incorrectos y una falta de capacitación del personal.

10.2.3 Mano de Obra

Habilidades: la falta de habilidad del personal puede afectar a la resolución de problemas o la lectura de los datos, falta de personal con experiencia en equipos específicos.

Capacitación: se puede producir que la poca capacitación y perfeccionamiento del personal afecta la operación.



UNIVERSIDAD
SAN SEBASTIAN
FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

10.2.4 Materiales

Repuestos: al momento de producirse la falla la operación está sujeta a la disponibilidad de los repuestos más críticos a su vez existen problemas con la calidad de los repuestos.

Otros: la calidad de los equipos para medir las condiciones de los equipos no es la adecuada, además los lubricantes y otros materiales pueden afectar la operación.

10.2.5 Medición

Monitoreo: la falta de sensores para monitoreo continuo y datos de medición manual poco confiables.

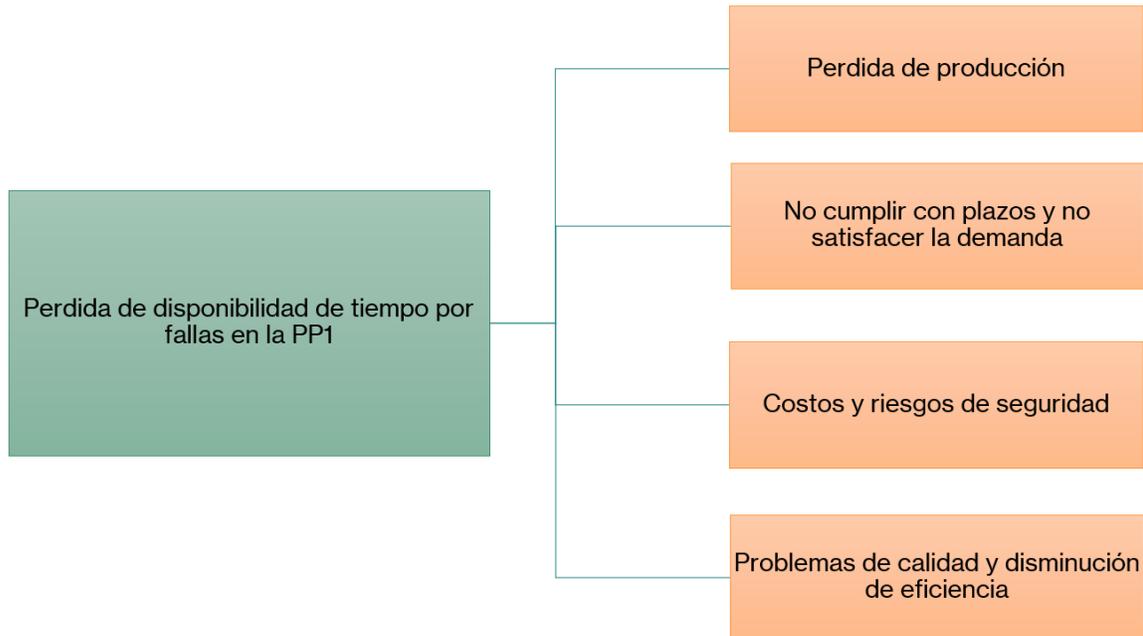
Control: los problemas con los sistemas de control de los equipos y falta de alarmas y alertas tempranas.

10.2.6 Medio Ambiente

Condiciones: las variaciones de temperatura y humedad además de la Contaminación y polución ambiental dentro de los lugares de fabricación afectan a los equipos.



10.2.7 Identificación de los Impactos del Problema



Fuente: Área de fabricación Softys Chile.

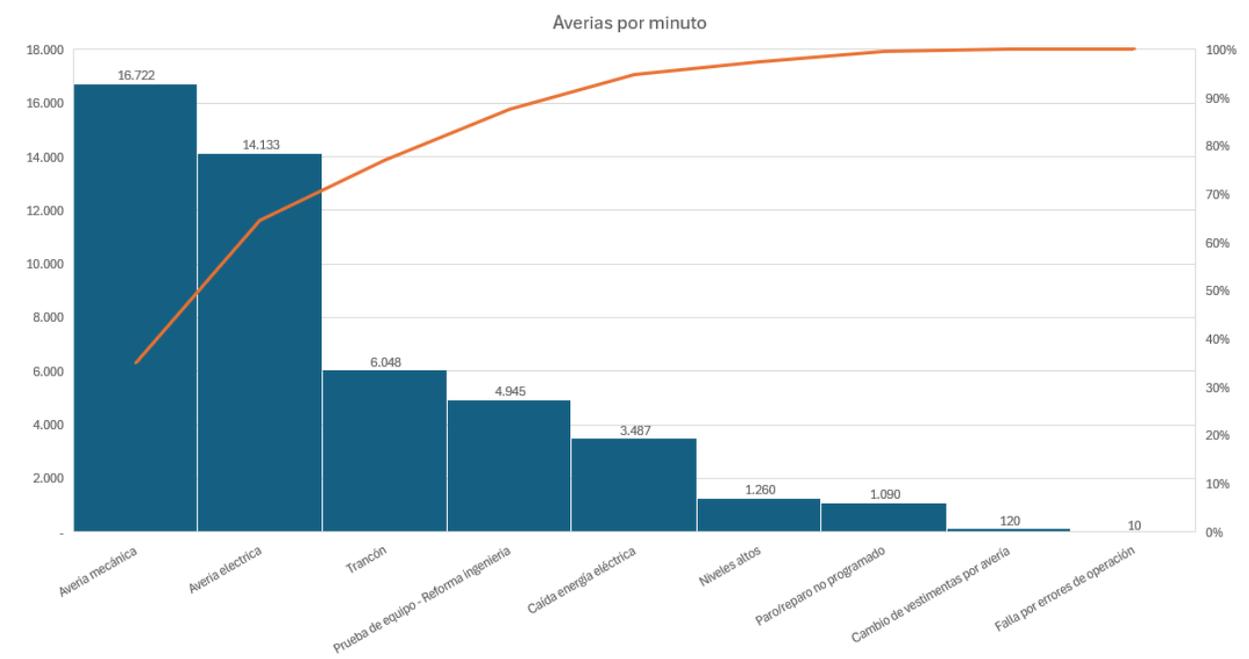
El hallazgo de pérdida de disponibilidad de tiempo por fallas en la línea PP1 nos lleva diferentes tipos de impacto como lo son la pérdida de producción, el no cumplir con plazos y la demanda solicitada, también los problemas de calidad y la eficiencia que por consecuencia producen un costo operacional de gran impacto.

Con el diagrama de Ishikawa podremos llegar a la causa raíz del problema de disponibilidad de tiempo y eso no ayudara a concentrar nuestro esfuerzo en solucionar las problemáticas más críticas que resolverán el resto de la espina.



UNIVERSIDAD
SAN SEBASTIAN
FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

10.3 Diagrama de Pareto



Fuente: Área de fabricación Softys Chile.

En general se puede observar en el siguiente gráfico que la avería mecánica, la eléctrica y la avería trancón de equipos representan el 77% de las fallas del área, la avería mecánica es la más crítica con respecto al tiempo de detención de las líneas ya que supera a la avería eléctrica teniendo 278 horas anuales aproximadas de inactividad lo que representaría un alto costo en mantención y detenciones no programadas.

Considerando las tres pérdidas suman un total de 615 horas al año aproximadamente lo que podría equivaler a un costo total no programado por pérdidas al año de 1.000.000 millones de pesos, las categorías restantes suman un total de 180 horas aproximadamente al año de diferentes causas.



UNIVERSIDAD
SAN SEBASTIAN
FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

Es por esto la importancia de abordar las averías mecánicas, eléctricas y trancones para reducir significativamente el tiempo de inactividad y mejorar la eficiencia.

10.4 Resumen de Pareto

En conclusión, el análisis de Pareto aplicado en las averías de la línea de reciclado principal PP1 revela una clara concentración de las pérdidas de tiempo en tres categorías principales: averías mecánicas, eléctricas y los trancones de equipos. Estas representan la gran mayoría de las fallas y acumulan un costo significativo en términos de inactividad no programada.

Por lo tanto, cualquier estrategia de mejora para optimizar la disponibilidad y eficiencia de la línea debe priorizar la identificación de las causas raíz y la implementación de acciones correctivas efectivas dirigidas específicamente a estas tres áreas críticas. La reducción del impacto de estas averías tendrá un efecto directo y sustancial en la disminución de los costos operativos y el aumento de la productividad general.



UNIVERSIDAD
SAN SEBASTIAN
FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

11 Clasificación de Riesgos o Criticidad

La siguiente matriz de riesgo ha sido elaborada para analizar los eventos de pérdida identificados en el área de preparación de pasta, específicamente en la línea de producción PP1. El objetivo principal de este análisis es evaluar la criticidad de cada evento, considerando tanto la frecuencia con la que ocurre (ajustada en la columna "frecuencia ampliada") como la gravedad de sus consecuencias en diversas dimensiones: Seguridad, Ambiente, Producción e Imagen. Al cuantificar estos factores, se busca priorizar los riesgos que requieren mayor atención y la implementación de estrategias de mitigación efectivas, como el sistema de monitoreo predictivo propuesto.

Para llegar a las subcausas de las causas más relevantes destacadas en el diagrama de Ishikawa como lo son las averías mecánicas, averías eléctricas y avería trancón se utilizaron las siguientes tablas para clasificar en diferentes dimensiones las gravedades expuestas en la tabla final.

11.1.1 Seguridad

Nivel	Descripción de la Gravedad
1	No hay riesgo para la seguridad del personal.
2	Riesgo leve de lesiones menores que no requieren atención médica significativa.
3	Riesgo de lesiones que requieren primeros auxilios o atención médica básica.
4	Riesgo de lesiones graves que requieren atención médica especializada o tiempo de baja.
5	Riesgo de fatalidad o lesiones incapacitantes permanentes.

Fuente: Área de fabricación Softys Chile.



UNIVERSIDAD
SAN SEBASTIAN
FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

11.1.2 Ambiente

Nivel	Descripción de la Gravedad
1	No hay impacto ambiental.
2	Impacto ambiental mínimo y localizado, fácilmente reversible.
3	Impacto ambiental moderado y localizado, requiere medidas de remediación.
4	Impacto ambiental significativo que afecta un área más amplia y requiere acciones correctivas importantes.
5	Impacto ambiental severo y extenso, con daños a largo plazo y posibles sanciones legales.

Fuente: Área de fabricación Softys Chile.

11.1.3 Producción

Nivel	Descripción de la Gravedad
1	Impacto mínimo en la producción, sin pérdida de tiempo o producción insignificante.
2	Pérdida de producción menor, recuperable con ajustes en la programación.
3	Pérdida de producción moderada que afecta el cumplimiento de los plazos de entrega.
4	Pérdida de producción significativa que requiere reprogramación importante o incumplimiento de pedidos.
5	Parada total de la línea de producción crítica, con graves consecuencias económicas y de entrega.

Fuente: Área de fabricación Softys Chile.

11.1.4 Imagen

Nivel	Descripción de la Gravedad
1	No hay impacto en la imagen de la empresa.
2	Quejas aisladas de clientes o partes interesadas, sin impacto significativo en la reputación.
3	Publicidad negativa menor o moderada, con posible impacto en la confianza del cliente.
4	Publicidad negativa significativa que daña la reputación de la empresa y la confianza del cliente.
5	Crisis de imagen grave con pérdida significativa de la confianza del cliente, posibles boicots o sanciones regulatorias.

Fuente: Área de fabricación Softys Chile.



UNIVERSIDAD
SAN SEBASTIAN
FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

Además tenemos la tabla de frecuencia y la suma del total de minutos que también se verán reflejadas en la tabla de criticidad final afectando así la frecuencia ampliada.

Esta evaluación proporcionará una base sólida para enfocar los esfuerzos de mantenimiento y optimizar la disponibilidad y eficiencia de la línea de producción, a continuación, se muestra la tabla con los datos que permite enfocar los esfuerzos en cinco grandes causas, además considerar que la escala de gravedad para las diferentes dimensiones es del número 1 al número 5 siendo el número 1 el de menor gravedad y el número 5 de la máxima gravedad posible.

11.2 Tabla de Criticidad

Línea	PP1	Suma de tiempo por reparación	Frecuencia de falla	Seguridad	Ambiente	Produccion	Imagen	Suma de gravedades	Frecuencia ampliada	Nivel	Consecuencia
Evento	Causa de falla										
Avería mecánica	Se tranca Tornillo 76	282	3	1	1	3	2	7	21	Media	Disminucion de velocidad
	Eje con rodamiento en mal estado	11.143	13	1	1	5	5	12	156	Alta	Paro de maquina
	Bomba centrífuga por rodamiento trabado	4.217	11	1	1	5	5	12	132	Alta	Paro de maquina
	Corte de acoplamiento por bomba trancada	845	8	1	1	4	3	9	72	Alta	Paro de maquina
	Correa cortada	235	4	1	1	3	2	7	28	Media	Disminucion de velocidad
Trancón	Trancon de rodamiento	5.447	73	1	1	5	5	12	876	Alta	Paro de maquina
	Opera termico por sobrecarga de motor	601	7	1	1	3	5	10	70	Media	Disminucion de velocidad
Avería eléctrica	Falla de estatus	610	1	1	1	3	2	7	7	Bajo	Probable disminucion de velocidad
	Motor quemado por sobrecarga	12.165	11	1	1	5	5	12	132	Alta	Paro de maquina
	Trancon de rodamiento	413	1	1	1	3	3	8	8	Media	Disminucion de velocidad
	Opera termico por sobrecarga de motor	480	1	1	1	3	3	8	8	Bajo	Probable disminucion de velocidad
	Se baja volumen de produccion de fibra	465	2	1	1	3	3	8	16	Media	Disminucion de velocidad

Fuente: Área de fabricación Softys Chile.



UNIVERSIDAD
SAN SEBASTIAN
FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

Como se puede observar en la tabla tenemos tres grandes problemas a considerar que son avería mecánica, avería eléctrica y trancón, dentro de estos problemas se encuentran las causas más frecuentes y que generan mayor pérdida de disponibilidad de la línea PP1.

11.2.1 Avería Mecánica

Para avería mecánica tenemos cinco causas y se detallan a continuación

- Trancón de tornillo 76 con una pérdida de disponibilidad de 282 minutos al año con una frecuencia ampliada de 21 puntos considerando su nivel de criticidad media y su consecuencia de disminución de velocidad de la máquina.
- Eje con rodamiento en mal estado que genera una pérdida de disponibilidad anual de 11.143 minutos tiene una frecuencia ampliada de 156 puntos considerado todas las dimensiones y su nivel de impacto o criticidad es alto con consecuencias de paro de la máquina.
- Bomba centrífuga con rodamiento trabado generando una pérdida de disponibilidad de 4.217 minutos su frecuencia ampliada es de 132 puntos y su nivel de criticidad es alto con paro de máquina.
- Corte de acoplamiento por boba trancada tiene una pérdida de disponibilidad anual de 845 minutos su frecuencia ampliada es de 72 puntos y su nivel de impacto es alto con consecuencias de paro de máquina.
- Correa cortada con una pérdida de disponibilidad de 235 minutos su frecuencia ampliada es de 28 puntos y su nivel de criticidad es medio con su consecuencia de disminución de velocidad de la máquina.



UNIVERSIDAD
SAN SEBASTIAN
FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

11.2.2 Avería Trancón

Para avería trancón tenemos dos causas y se detallan a continuación

- Trancón de rodamiento que genera una pérdida de disponibilidad de 5.447 minutos con una frecuencia ampliada de 876 puntos y su nivel de criticidad es altos con consecuencia de paro de máquina.
- Opera térmico por sobrecarga de motor con una pérdida de disponibilidad de 601 minutos su frecuencia ampliada es de 70 puntos y su criticidad es media con su consecuencia de disminución de la velocidad de la máquina.

11.2.3 Avería Eléctrica

Para avería eléctrica se encontraron cinco causas y se detallan a continuación

- Falla de estatus con una pérdida de disponibilidad de 610 minutos con su frecuencia ampliada de 7 puntos y su nivel de criticad bajo con una consecuencia de posibilidad de disminución de velocidad de la máquina.
- Motor quemado por sobrecarga que tiene una pérdida de 12.165 minutos de disponibilidad de la línea con una frecuencia ampliada de 132 puntos y su nivel de criticidad es alto con consecuencias de paro de máquina.
- Trancón de rodamiento con una pérdida de disponibilidad de 413 minutos su frecuencia ampliada es de 8 puntos y su criticidad es media con causa de disminución de velocidad de la máquina.



UNIVERSIDAD
SAN SEBASTIAN
FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

- Opera térmico por sobrecarga de motor su pérdida de disponibilidad anual de la maquina es de 480 minutos su frecuencia ampliada es de 8 puntos y su criticidad es baja con consecuencias de probabilidad de baja de velocidad de la máquina.
- Se baja volumen de producción de fibra su pérdida de disponibilidad anual es de 465 minutos su frecuencia ampliada es de 16 puntos teniendo una criticidad media y con consecuencia de disminución de velocidad de la máquina.

12 Resumen de Criticidad

El objetivo de este análisis es priorizar las causas de los eventos en función de su impacto potencial en la operación, considerando tanto la magnitud del tiempo de inactividad generado que son los minutos de averías como la frecuencia de ocurrencia que es la frecuencia ampliada que involucra a otras dimensiones, así como el nivel de consecuencia resultante como el paro de máquina y disminución de velocidad.

Al evaluar la criticidad de cada causa de falla, se busca identificar aquellos problemas que históricamente han generado las mayores pérdidas de disponibilidad y eficiencia en la línea PP1. Esta priorización permitirá enfocar los esfuerzos de mejora, como la implementación del sistema de monitoreo predictivo propuesto, en aquellos eventos que representan el mayor riesgo para la continuidad y rentabilidad de la producción, en resumen, se proporcionará una visión clara de los principales contribuyentes a las averías y servirá como base para la formulación de estrategias de mantenimiento más efectivas y proactivas.



UNIVERSIDAD
SAN SEBASTIAN
FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

En el siguiente cuadro podemos enumerar, verificar y encontrar las consecuencias de cada una de las causas detectadas en el análisis de criticidad.

12.1 Tabla Resumen Criticidad

Numero de causa	Causa de falla	Minutos de averías	Frecuencia de averías	Frecuencia ampliada	Nivel	Consecuencia
1	trancón de rodamiento	5.447	73	876	Alta	Paro de maquina
2	Eje con rodamiento en mal estado	11.143	13	156	Alta	Paro de maquina
3	Bomba centrifuga por rodamiento trabado	4.217	11	132	Alta	Paro de maquina
4	Motor quemado por sobrecarga	12.165	11	132	Alta	Paro de maquina
5	Corte de acoplamiento por bomba trancada	845	8	72	Alta	Paro de maquina
6	Opera térmico por sobrecarga de motor	601	7	70	Media	disminución de velocidad
7	Correa cortada	235	4	28	Media	disminución de velocidad
8	Se tranca Tornillo 76	282	3	21	Media	disminución de velocidad
9	Se baja volumen de producción de fibra	465	2	16	Media	disminución de velocidad
10	trancón de rodamiento	413	1	8	Media	disminución de velocidad
11	Opera térmico por sobrecarga de motor	480	1	8	Bajo	Probable disminución de velocidad
12	Falla de estatus	610	1	7	Bajo	Probable disminución de velocidad

Fuente: Área de fabricación Softys Chile.



13 Ciclo de Deming (PDCA)

13.1 Etapa I Planificar

13.1.1 Objetivo General

Mejorar la disponibilidad operativa de la línea de producción PP1 del área de preparación de pasta, mediante la implementación de un sistema de monitoreo en la línea con sensores inteligentes que permitan predecir fallas y reducir las detenciones no programadas.

13.1.2 Objetivos Específicos de la Solución

- Reducir en al menos un 50% los minutos de falla no programados asociados a las averías mecánicas, eléctricas y trancones más recurrentes como lo son los ejes con rodamiento en mal estado, los motores quemados por sobrecarga, trancones de rodamiento y las bombas centrífugas por rodamiento trabado.
- Lograr reducir los minutos de fallas no programados se traduciría en un ahorro anual estimado de 676.899.863 pesos.
- Optimizar los costos de mantenimiento mediante la transición de un modelo correctivo a uno predictivo digitalizando el monitoreo de condiciones operativas de los equipos críticos, eliminando reparaciones de emergencia y permitiendo mantenimientos programados.
- Extender la vida útil de los activos críticos como lo son rodamientos, motores y bombas a través de la detección temprana de fallas con Smart Sensor G2.



UNIVERSIDAD
SAN SEBASTIAN
FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

- Mejorar la seguridad operacional al prever fallas catastróficas.
- Contribuir al bienestar laboral de los colaboradores al reducir la presión y el estrés derivados de paradas inesperadas y emergencias.

13.1.3 Fase 1 Planificación e Identificación

Definición de alcance y roles: Estableciendo el equipo de proyecto, sus roles y responsabilidades.

Formación de equipo multidisciplinario

Se conformará un equipo de proyecto multidisciplinario, liderado por el jefe de mantenimiento e incluyendo un Ingeniero de Confiabilidad con técnicos eléctricos y mecánicos clave, además de un representante del área de TI.

Características

El equipo multidisciplinario está elaborado para cumplir con la ejecución de la compra, instalación y monitoreos de la condición de los equipos instalados para la línea PP1.

Funciones y responsabilidades

Jefe de mantenimiento este deberá asumir la dirección del proyecto asignando las tareas y definiendo los objetivos de este, recibiendo toda la información de sus subordinados, además deberá definir el camino a seguir con los datos entregados por el ingeniero de confiabilidad.

Ingeniero de confiabilidad su misión es descifrar los datos enviados por los dispositivos y realizar informes para el jefe de mantenimiento

Técnicos, mecánicos y eléctricos se someterán a las instrucciones del jefe de mantenimiento logrando brindar las acciones necesarias para cumplir con el



UNIVERSIDAD
SAN SEBASTIAN
FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

mandato del jefe que se guiara por los datos entregados por el ingeniero de confiabilidad.

Representante del área tecnologías de la información quien tiene como principal función brindar apoyo al ingeniero de confiabilidad en la recolección de datos de los dispositivos.

Parte del equipo multidisciplinario como lo son los técnicos y mecánicos se reunirán cada vez que algún equipo envíe una señal de alerta, el jefe de mantención liderara reuniones semanales para ir evaluando el avance y la ejecución del proyecto, además tomarán la decisión de intervenir o no los equipos dependiendo de la gravedad en forma y tiempo.

Entregable: Matriz de responsabilidades del proyecto.

La matriz de responsabilidades es un documento que define los roles y responsabilidades de cada miembro en el proyecto y se utilizara un formato RACI (Responsable, Autoriza, Consultado, Informado).

13.1.1 Matriz de Responsabilidades del Proyecto

Actividades claves del proyecto	Jefe de mantención	técnicos y mecánicos	ingeniero de confiabilidad	Departamento TI
Mapeos activos críticos	R/A	R	I	I
Adquisición de sensores	R/A	I	I	I
Instalación física	R/A	I	I	I
Capacitación	R/A	I	R/A	R/A
Configuración de alertas	C	I	R/A	R/A
Monitoreo diario	C	I	R/A	I
Reparaciones	R/A	R	I	I

Fuente: Área de fabricación Softys Chile.



UNIVERSIDAD
SAN SEBASTIAN
FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

- Mapeo de activos críticos: Se realiza un levantamiento detallado de los motores y bombas de la línea PP1 que serán monitoreados, priorizando aquellos identificados como fuentes de las fallas más costosas como lo son los motores con rodamientos, bombas centrífugas.
- Diseño de la arquitectura del sistema: Planificar la ubicación óptima de los 6 Smart Sensor Gateway y la distribución de los 40 Smart Sensor G2 para asegurar cobertura y conectividad adecuadas.
- Preparación de bases para capacitación: Definir personal a capacitar como los ingenieros de confiabilidad, entre otros y los contenidos temáticos específicos.
-

13.1.2 Fase 2 Adquisición e Instalación

- Adquisición de componentes tecnológicos: Se realizar la compra de los 6 Smart Sensor Gateway y las 40 unidades de Smart Sensor G2, asegurando los requerimientos técnicos definidos.
- Asesorar los servicios de instalación: Gestionar la instalación física de los dispositivos en los equipos críticos de la línea PP1.
- Implementación de los 6 Gateway y conectividad: Instalar y configurar los Smart Sensor Gateway, asegurando su conexión a la red local y a la plataforma de monitoreo en la nube.
- Montaje y configuración de sensores: Instalar los Smart Sensors G2 en los puntos predefinidos de los rodamientos en motores, bombas, y realizar su configuración inicial y emparejamiento con el Gateway.



UNIVERSIDAD
SAN SEBASTIAN
FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

13.1.3 Fase 3 Capacitación y Puesta en Marcha

- Ejecución de programas de capacitación: Impartir la formación al personal de mantenimiento sobre el funcionamiento del sistema, la interpretación de datos de vibración y el uso de la plataforma de monitoreo.
- Integración de la plataforma de monitoreo: Activar y configurar la suscripción de monitoreo, personalizando los paneles de control y los datos de alerta según las necesidades de la línea PP1.
- Pruebas piloto y verificación: Realizar pruebas exhaustivas del sistema en un subconjunto de equipos para verificar la correcta recolección de datos, la precisión de las mediciones y la funcionalidad de las alertas.

13.1.4 Fase 4 Operación y Optimización Continua

- Monitoreo continuo de activos: Vigilar de forma constante los datos de vibración de los rodamientos de motores y bombas a través de la plataforma online.
- Análisis predictivo y generación de alertas: Utilizar las capacidades analíticas del sistema para detectar anomalías, predecir posibles fallas y generar alertas tempranas al personal de mantenimiento.
- Programación proactiva de mantenimiento: Basar las intervenciones de mantenimiento en las alertas y el análisis de datos, planificando las reparaciones en momentos de baja producción para minimizar el impacto.
- Retroalimentación y mejora continua: Evaluar regularmente la efectividad del sistema en la reducción de fallas y ajustar los parámetros, equipos y protocolos según sea necesario para optimizar el rendimiento y maximizar el ahorro.



UNIVERSIDAD
SAN SEBASTIAN
FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

13.2 Etapa II Hacer

La ejecución del proyecto se llevará a cabo a través de las siguientes fases y acciones, con un enfoque en la implementación sistemática y la optimización de los resultados.

13.3 Fase 2: Adquisición e Instalación

13.3.1 Adquisición de Componentes Tecnológicos

Se gestionará la compra de los 40 equipos de Smart Sensores G2 que permiten la detección de fallas de los motores, bobas, rodamientos, entre otros.

Smart Sensor Gateway: 1 unidad tiene el costo de \$968.000, Este es el cerebro de comunicación, ayuda al procesamiento de la información y al tratamiento de los datos.

Smart Sensor G2: 40 unidades tienen el costo de \$244.200 c/u, Total: \$9.768.000



Fuente: ABB Líder en Tecnología Digitales.



UNIVERSIDAD
SAN SEBASTIAN
FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

Características

Los sensores seleccionados son los ABB Smart Sensor G2, diseñados para monitoreo de motores, bombas, ventiladores y rodamientos de forma universal. Sus principales características son

- Instalación inalámbrica, sin necesidad de intervención eléctrica compleja.
- Medición continua de vibración, temperatura, velocidad y estado general del equipo, autonomía de batería entre 3 a 5 años.
- Conectividad vía Bluetooth y Gateway industrial para monitoreo remoto, alerta automática ante condiciones anormales, con clasificación por colores (verde, amarillo, rojo).

Una vez instalado el Sensor Smart G2 en los equipos se debe comenzar a configurar el formato del sensor como son las rpm, temperatura de trabajo, frecuencia de vibración, entre otros para cada equipo de la línea PP1 definido, ya que son sensores universales, a partir de este punto el sensor comienza a enviar las señales a los equipos conectados a los Gateway que son los computadores y celulares y desde aquí se visualizan las alertas que se puedan generar diferenciadoras por colores amarillo que indica una alerta insipiente de vibración o temperatura, rojo que indica que el equipo presenta fallas más complejas y verde que indica que el equipo funciona con normalidad.

Las pantallas para monitorear los sensores se encontrarán ubicadas, una en el panel de control de la PP1 donde el técnico o mecánico se encargará de visualizar los estados de los equipos y la otra en la oficina de confiabilidad donde el ingeniero la supervisará.



UNIVERSIDAD
SAN SEBASTIAN
FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

Se realiza cotización con proveedor de los dispositivos mencionados.

13.3.2 Cotización de Dispositivo ABB



Codigo	Descripcion	Cantidad	Valor (CLP)	Valor total (CLP)
3AXD50000872305	Smart Sensor Gateway	6	\$ 968.000	\$ 5.808.000
3AXD50000823772	Smart Sensor G2	40	\$ 244.200	\$ 9.768.000
3AFP9191436	Suscripción de monitoreo para smart g2	40	\$ 110.000	\$ 4.400.000

Fuente: Terminos y condiciones de comerciales de ABB lider en tecnologias digitales

13.3.3 Contratación e Instalación de Dispositivos

Se contratará un equipo técnico especializado con el proveedor para realizar la instalación física de los sensores en los puntos de medición predefinidos de los motores y bombas más críticos del proceso que el jefe de mantención indicara y los ayudaran los técnicos y mecánicos del área, así como la instalación configuración de los Smart Sensor Gateway. Esto incluye asegurar una conexión eléctrica estable y la correcta comunicación de los dispositivos que también incluirá la participación del ingeniero de confiabilidad.

El costo de Instalación es un valor estimado en \$3.000.000 de pesos y el plazo estimado de instalación de los dispositivos es de dos a cuatro semanas.

Entregable: Informe de instalación y pruebas de conectividad iniciales.

A continuación de deja el detalle del formulario a llenar por parte del equipo de instalación que demostrara la instalación física de los dispositivos y los resultados de las pruebas iniciales para verificar el correcto funcionamiento y la comunicación de los equipos.



UNIVERSIDAD
SAN SEBASTIAN
FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

Informe de Instalacion de dispositivos



Fechas de Instalacion	Activo de instalacion	Instalado	Configurado
	Bombas 20, 21, 207, 38-B y 57		
	Motor de bombas		
	Tornillo 74 - 75 - 76		
	Motro tornillo		
	Dispensor Kcrima		
	Motor dispersor		
	VP-60 (Estrujador):		
	Motor estrujador		
	Refinador		
	Motor refinador		
	Pulper Helico		
	Motor pulper		
	Screen one		
	Motor Screen one		

Firma Responsable

Fuente: Área de fabricación Softys Chile.

13.3.4 Personal, e Implementación de la Plataforma de Monitoreo y Conectividad en la Nube

Para el análisis de datos de la plataforma se utilizarán dos ingenieros de confiabilidad los que ascienden a un costo anual de \$30.000.000 por ingeniero esto quiere decir que anualmente se incurrirá en un gasto de \$60.000.000 pesos para este personal, además los costos de reclutamiento de estos ingenieros corren por parte del área de recursos humanos.

Se activará la suscripción anual al servicio de monitoreo con un costo de \$110.000 anual por unidad. Se establecerá la conexión entre los Gateway y la plataforma en la nube, configurando las cuentas de usuario, los permisos y los paneles de control personalizados para la visualización de datos en tiempo real. Se garantizará la seguridad de los datos.



UNIVERSIDAD
SAN SEBASTIAN
FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

El encargado de revisar la suscripción anual para los equipos de sensores será el ingeniero de confiabilidad previa autorización del jefe de mantención, el costo total de la suscripción anual asciende a \$4.400.000 pesos.

Los usuarios para configurar serán los del jefe de mantención, el ingeniero de confiabilidad, un usuario para el área de TI, los técnicos mecánicos y eléctricos, el modo de configuración será el correo electrónico y su contraseña de este modo ellos podrán acceder a los datos generados por el sistema online de monitoreo de condición de los equipos con cualquier dispositivo que esté al alcance ya sea un computador o su simple celular.

13.3.5 Mapeo de Activos Críticos para Monitoreo por Vibraciones

Se realizará un levantamiento exhaustivo en la línea de producción PP1 para identificarlos equipos que detienen el proceso y que no cuentan con un bypass o equipo auxiliar, según el análisis de datos históricos como lo son los ejes con rodamiento en mal estado, motor quemado por sobrecarga, trancón de rodamiento, bomba centrífuga por rodamiento trabado. Esto puede incluir la recopilación de datos técnicos de cada equipo como la potencia, RPM, tipo de acoplamiento e historial de fallas.

Se utilizará el siguiente check list para detallar actividades de levantamiento y luego identificar los equipos.



UNIVERSIDAD
SAN SEBASTIAN
FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

13.3.6 Check List de Mapeo de Activos Críticos

N°	Actividad	Responsable	Plazo	Observaciones	Estado
1	Se determinarán los límites del proyecto	Ingeniero de Confiabilidad, Jefe de Mantenimiento	5 Días	Se definió la línea PP1 como objetivo principal, priorizando motores y bombas con historial de fallas catastróficas.	
2	Análisis de datos históricos de fallas	Ingeniero de Confiabilidad	5 Días	Se identificó que eje con rodamiento en mal estado con un 30.2% del costo total de fallas y motor quemado por sobrecarga con un 33% del costo total de fallas.	
3	Se identifican activos críticos basado en el análisis de fallas	Ingeniero de Confiabilidad	3 Días	Se identificaron 5 bombas, 3 tornillos y los equipos como el disperso de kcrima, estrujador, refinado, pulper y Screen one, más sus respectivos motores	
4	Revisión de accesibilidad y puntos de medición Óptimos para la instalación de los dispositivos	Técnicos Mecánicos, Proveedor Smart Sensor	3 Días	Se inspecciona físicamente los equipos y se determina los puntos más adecuados para la instalación de los sensores, asegurando accesibilidad y seguridad. Se confirmó la viabilidad de instalar los sensores.	
5	Confirmación de la no existencia de Bypass/Auxiliar:	Jefe de Mantenimiento	2 Día	Se verificó que los activos seleccionados no cuentan con un bypass o equipo auxiliar que permita la operación continua del proceso.	
7	Criticidad de selección	Ingeniero de Confiabilidad	2 Días	La justifica de la selección de los equipos se da por los minutos de fallas que los mantienen detenido ocasionando la parada de la producción.	
8	Generación del listado final de equipos a monitorear	Ingeniero de Confiabilidad	3 Día	Elaboración del informe final con la lista de los equipos seleccionados.	
9	Aprobación del listado final	Jefe de Mantenimiento	3 Días	Se presentará el listado final para obtener la aprobación formal de la gerencia, validando la priorización y los recursos asignados.	



UNIVERSIDAD
SAN SEBASTIAN
FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

Listado detallado de activos críticos a monitorear, puntos de montaje recomendados para los sensores.

13.3.7 Listado de activos críticos a monitorear

N°	Activos críticos a monitorear	Puntos de montaje sensor I	Puntos de montaje sensor II	Total, sensores
1	Bombas 20, 21, 207, 38-B y 57	Rodamiento lado libre	Rodamiento lado acoplamiento	10
2	Motor de bombas	Rodamiento lado libre	Rodamiento lado acoplamiento	2
3	Tornillo 74 - 75 - 76	Rodamiento contacto angular	Rodamiento nu	6
4	Motor tornillo	Rodamiento contacto angular	Rodamiento nu	2
5	Dispensor Kcrima	Rodamiento de bolas	Rodamiento nu	2
6	Motor dispensor	Rodamiento lado libre	Rodamiento acoplamiento	2
7	VP-60 (Estrujador):	Rodamiento de bolas	Rodamiento nu	2
8	Motor estrujador	Rodamiento lado libre	Rodamiento acoplamiento	2
9	Refinador	Rodamiento contacto angular	Rodamiento nu	2
10	Motor refinador	Rodamiento lado libre	Rodamiento acoplamiento	2
11	Pulper Helico	Rodamiento entrada de reductor	Rodamiento salida de reductor	2
12	Motor pulper	Rodamiento lado libre	Rodamiento acoplamiento	2
13	Screen one	Rodamiento rodillo a rotula	Rodamiento polea conducida	2
14	Motor Screen one	Rodamiento lado libre	Rodamiento acoplamiento	2
			Total	40

Fuente: Área de fabricación Softys Chile.



UNIVERSIDAD
SAN SEBASTIAN
FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

Los sensores se instalarán en los siguientes equipos críticos identificados por su alta frecuencia de falla y criticidad operacional

Estos sensores emitirán información de vibraciones y temperaturas cada tres horas, recogidos por un Gateway que es el encargado de enviarlo a la nube para su visualización y análisis en tiempo real (online), su instalación será en general en dos puntos definidos previamente en listado de activos a monitorear.

- Pulper Helico: se instalarán sensores en el motor y reductor en el lado libre y acople.



Fuente: Área de fabricación Softys Chile.



UNIVERSIDAD
SAN SEBASTIAN
FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

- Screen one: se instalarán sensores en motor principal y polea conducida



Fuente: Área de fabricación Softys Chile.

- VP-60 (Estrujador): sensor en los extremos del eje principal.



Fuente: Área de fabricación Softys Chile.



UNIVERSIDAD
SAN SEBASTIAN
FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

- Tornillo 76: sensor en extremo de torque para detectar carga excesiva.



Fuente: Área de fabricación Softys Chile.

- Dispersor Kcrima: sensor en carcasa y eje para medir condiciones de discos.



Fuente: Área de fabricación Softys Chile.



UNIVERSIDAD
SAN SEBASTIAN
FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

- Refinador: Se instalarán sensores en motor principal y en refinador



Fuente: Área de fabricación Softys Chile.

- Bombas 20, 21, 207, 38-B y 57: se instalarán sensores en carcasa o caja porta rodamientos para monitorear temperatura y vibración.



Fuente: Área de fabricación Softys Chile.



UNIVERSIDAD
SAN SEBASTIAN
FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

13.3.8 Diseño de la Arquitectura de Implementación del Sistema de Monitoreo Online

Se definieron ubicación estratégica de los Smart Sensor Gateway para asegurar la máxima cobertura inalámbrica con los 40 Smart Sensors G2, minimizando interferencias y optimizando la transmisión de datos. Se planificará la infraestructura de red necesaria como puntos de acceso y el cableado si aplica para la conexión del Gateway a la red corporativa.

Zonas

Zona uno: en esta zona se instalará el Gateway designado para 4 sensores instalados en el equipo pulper helico, estos Gateway tienen un alcance de 30 metros de recepción de señal.

Zona dos: para vp-60 y Screen one mantienen una distancia de 15 metros entre equipos que es suficientemente prudente para instalar un Gateway para 8 sensores que cubren los dos equipos.

Zona tres: en el lugar de los tornillos se utilizará un Gateway para cubrir los tornillos 74,75 y 76 que abarcará 6 sensores y el dispersor de kcrima con 4 sensores.

Zona cuatro: para el refinado y las bobas se definieron un Gateway debido a que también se presentan a una corta distancia abarcando así 16 sensores.

Por último, tendremos dos Gateway que se distribuirán dentro de los cuatro equipos restantes para abarcar una mayor conectividad entre equipos y los 2 sensores restantes irán dirigidos a estos ya que se encuentran en los motores de los equipos, el ingeniero de confiabilidad será el encargado de configurar los Gateway con sus respectivos sensores.

Uno de los criterios que nos ayuda a ubicar los Gateway es el alcance que tienen de conectividad ya que abarcan alrededor de 30 metros cada uno y la línea PP1

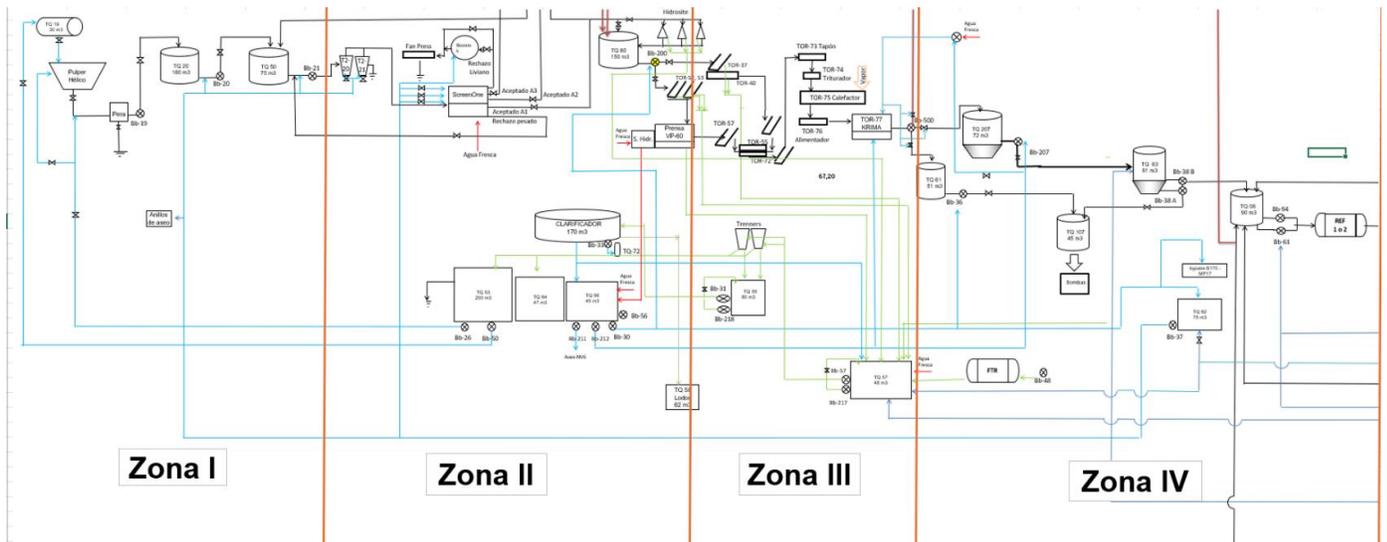


UNIVERSIDAD
SAN SEBASTIAN
FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

tiene una distribución que se mantiene dentro de los 150 metros por lo tanto existen los equipos para distribuir toda la línea.

Otras consideraciones a tener en cuenta a la hora de la instalación de los dispositivos es la distancia máxima entre sensores y Gateway, posibles obstáculos como paredes, equipos metálicos, disponibilidad de energía, seguridad física entre otros.

13.3.9 Layout para la instalación de Gateway y Sensores



Fuente: Departamento de ingeniería de procesos de fabricación



UNIVERSIDAD
SAN SEBASTIAN
FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

13.3.10 Preparación de Contenidos para la Capacitación

Se diseñó un programa de capacitación modular adaptado a los diferentes niveles de usuarios que son los técnicos, mecánicos, ingenieros y jefe de mantención, se definirán los objetivos de aprendizaje, temáticas y materiales de apoyo.

Dentro de la preparación se presenta un plan de Capacitación detallado por rol, incluyendo temario y cronograma entregado por proveedor de los Smart Sensor G2.

13.3.11 Programa de capacitación

Este programa de capacitación modular está diseñado para asegurar que los diferentes niveles de usuarios como técnicos de mantenimiento, ingenieros de confiabilidad, jefes de mantención, adquieran las habilidades y conocimientos necesarios para la correcta operación y mantenimiento del sistema de monitoreo predictivo por vibraciones.

Objetivos generales de la capacitación

- Capacitar al personal involucrado con el conocimiento teórico y práctico sobre los Smart Sensor.
- la utilización de la plataforma de monitoreo en la nube para la identificación de alertas y funcionamiento del sistema.

Primer módulo del curso: Fundamentos de monitoreo por vibraciones

Nombre del Curso: Introducción al monitoreo predictivo por vibraciones y operación de Smart Sensors G2

Duración del curso que se estima en un día dentro de la planta

Contenido del curso



UNIVERSIDAD
SAN SEBASTIAN
FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

- Introducción al Mantenimiento Predictivo que incluye los beneficios y comparación con otros tipos de mantenimiento.
- Conceptos Básicos de Vibración que incluye ¿Qué es la vibración?, unidades de medida, tipos de vibración como el desbalance, desalineación, rodamientos, holguras
- Tecnología Smart Sensor G2 se presentarán los principios de funcionamiento, instalación del sensor, características técnicas, vida útil de la batería.
- Smart Sensor Gateway para que sirve, su función como se conecta y recibe datos, además de su alcance.

Segundo modulo del curso: Operación y análisis de la plataforma de Monitoreo en la Nube

Nombre del curso: Operación y análisis de la plataforma

Duración del curso que se estima en de dos a tres días dentro de la planta

Contenido del curso

- Navegación en la plataforma de la nube con Interfaz de usuario, dashboard, listado de activos, visualización de datos.
- Interpretación de datos de vibración con gráficos de tendencia, espectros, formas de onda, identificación de patrones de falla, en forma general.



UNIVERSIDAD
SAN SEBASTIAN
FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

- Configuración y gestión de alertas con los establecimientos de datos, tipos de notificaciones, priorización de alertas.

- Generación de Informes que envía el sistema con sus reportes básicos de estado de activos y tendencias.

Este curso será ejecutado por el proveedor del sistema (ABB)

Se definirán como participantes a los ingenieros de confiabilidad, técnicos, mecánicos y eléctricos, jefe de mantenimiento, la metodología será teórica con material audiovisual y además de algunas intervenciones físicas cuando los equipos estén instalados.

Como consideraciones las capacitaciones estarán disponibles por parte del proveedor todo un mes para apoyar a que todos los trabajadores las reciban, también el programa al mantenerse vigente nos permite ayudar al personal a una adaptación más profunda ya que siempre en un sistema nuevo se pueden observar ciertas resistencias al aprendizaje y adaptación por parte del personal, además para el apoyo en la ejecución de la mejora ofrece un tercer modulo del curso solo para el personal más especializado para que se pueda complementar y profundizar en el uso y desarrollo de las funciones del sensor y sus plataformas con una capacitación en monitoreo predictivo avanzado y optimizador de estrategias.

Este programa asegura una capacitación metódica e integra para cada rol, garantizando que el personal esté completamente preparado para aprovechar al máximo el nuevo sistema de monitoreo de la línea de forma online.



UNIVERSIDAD
SAN SEBASTIAN
FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

13.4 Fase 3: Capacitación y Puesta en Marcha

13.4.1 Ejecución del Programa de Capacitación

Se impartirán las sesiones de capacitación definidas en la fase uno y dos, con los contenidos de preparación de estas, La formación incluirá tantos aspectos teóricos con sus fundamentos de vibración, así también los prácticos con el manejo del hardware, navegación en la plataforma, interpretación de gráficos y alarmas que entregan los dispositivos.

El costo estimado de la capacitación asciende a \$2.400.000 pesos, que lo realizara una persona especializada que es parte de la empresa ABB.

13.4.2 Pruebas Piloto y Calibración del Sistema

Se realizarán pruebas de la recolección de datos y la funcionalidad de las alertas en un grupo piloto de equipos de la línea. Se ajustarán los datos iniciales de alarma basándose en el comportamiento real de los equipos y la sensibilidad deseada para la detección temprana de fallas.

Estas pruebas estarán a cargo de la empresa proveedora en conjunto con el ingeniero de confiabilidad y el jefe de mantención, se solicitará a la empresa que deje los equipos de sensores funcionando al cien por ciento, esto lo verificara el jefe de mantención.



UNIVERSIDAD
SAN SEBASTIAN
FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

13.4.3 Plan de Comunicación Interna de la Implementación

El jefe de mantención se reunirá con recursos humanos para definir en que tiempo y espacio es más factible poder entregar la información a los trabajadores de la línea, no podrán sobrepasar el tiempo en el que el sistema y las capacitaciones estén ya en marcha.

Además, la estrategia de comunicación se dará en reuniones que realizará el jefe de mantención con recursos humanos y esto llevará a informar a todo el personal de la línea de producción sobre la introducción del nuevo sistema, sus beneficios especialmente en la reducción de fallas y la mejora del bienestar laboral, además de su impacto en las operaciones diarias. Esto puede incluir reuniones informativas, charlas, comunicados por correo electrónico, entre otros.

Como se menciona anteriormente las reuniones informativas, charlas y correos electrónicos son el medio de comunicación para informar a los trabajadores de la línea de la modificación del sistema de monitoreo de equipos.

Las reuniones serán impartidas por el jefe de mantención y no durarán más que 20 minutos de manera diaria y por un periodo de dos semanas, esto solo para ser un modo introductorio al sistema y los sensores, los correos electrónicos mantendrán la comunicación más formal y de entrega de material, finalizando con las charlas que las impartirá el personal de la empresa que facilito el sistema.



UNIVERSIDAD
SAN SEBASTIAN
FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

13.5 Fase 4: Operación y Optimización Continua

13.5.1 Monitoreo Continuo y Análisis Predictivo de Datos

El sistema generara automáticamente alertas e informes para que el ingeniero de confiabilidad y el jefe de mantención junto con algunos técnicos puedan realizar las interpretaciones de los datos, estas alertas e informes se generaran diariamente con la intención de poder tener el control sobre los equipos, esta configuración diaria será definida exclusivamente por el jefe de mantenimiento.

Además, con los datos generados se podrá realizar seguimiento a los equipos que mayormente presenten problemas y así generar estrategias que permitan ir en disminución de las fallas.

Los informes periódicos del estado de los equipos de la línea y el registro de alertas generadas llegaran directamente a los equipos conectados manteniendo alerta al equipo de trabajo.

Para los informes que generara el sistema se estima que entregue los siguientes datos como

Nombre del equipo, temperatura, espectro de frecuencia (vibraciones), horas de operación, energía y torque, entre otros.

Para los registros de alerta el sistema extenderá mensajes en colores rojo, amarillo y verde.



UNIVERSIDAD
SAN SEBASTIAN
FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

13.5.2 Implementación de Mantenimiento Basado en Condición

Las alertas y diagnósticos del sistema de monitoreo predictivo servirán como la señal para planificar y programar actividades de mantenimiento. Se priorizarán las intervenciones en los equipos que muestren signos de deterioro, realizando los cambios de componentes en sus respectivos rodamientos o ajustes de alineación antes de que la falla ocurra.

Para la programación de ordenes de trabajo el sistema permitirá una visualización como se muestra en la siguiente tabla generando ID de orden de trabajo, fecha de creación, equipo, diagnostico, prioridad, tareas, fecha límite y responsable.

13.5.3 Programación de Ordenes de trabajo

ID OT	Fecha Creación	Equipo	Diagnóstico / Alerta Inicial	Prioridad	Tareas Programadas	Fecha Limite	Estado	Responsable
OT-PRED-001	10-06-2025	PP1-MOT-001	Vibración excesiva en rodamiento delantero (Advertencia)	Media	Inspeccionar rodamiento	25-06-2025	Pendiente	Téc. Mecánico A
OT-PRED-002	12-06-2025	PP1-B03	Desalineación acoplamiento (Peligro)	Alta	Realizar alineación.	15-06-2025	En Ejecución	Téc. Mecánico B
OT-PRED-003	13-06-2025	PP1-MOT-005	Cresta elevado en rodamiento trasero (Advertencia)	Media	Verificar lubricación y rodamiento.	28-06-2025	Pendiente	Téc. Mecánico C
OT-PRED-004	08-06-2025	PP1-MOT-002	Sobrecarga motor persistente (Peligro)	Alta	Revisar consumo de corriente	10-06-2025	Finalizada	Téc. Eléctrico D

Fuente: Área de fabricación Softys Chile.



UNIVERSIDAD
SAN SEBASTIAN
FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

Además, para un registro de fallas controladas el sistema debería arrojar una tabla como la siguiente

13.5.4 Registro de Fallas Controladas

ID Falla Controlada	Equipo	Fecha Detección (Alerta)	Fecha Intervención Proactiva	Tipo de Falla Evitada	Vibración Antes (RMS mm/s)	Vibración Después (RMS mm/s)	Comentarios
FC-PP1-001	PP1-MOT-002	15-03-2025	22-03-2025	Motor quemado por sobrecarga	8.5	1.2	Se identificó sobrecarga por obstrucción, evitado daño mayor al motor.
FC-PP1-002	PP1-B01	01-04-2025	08-04-2025	Trancón de rodamiento en bomba	7.2	0.9	Diagnóstico temprano permitió cambio de rodamiento sin parar línea.
FC-PP1-003	PP1-MOT-004	10-05-2025	18-05-2025	Eje con rodamiento en mal estado	6.8	1.0	Reemplazo preventivo de rodamiento, evitó falla catastrófica.
FC-PP1-004	PP1-MOT-00X	08-06-2025	10-06-2025	Operación térmica por sobrecarga	No aplica (temperatura)	Normal	Ajuste de carga, previno daño.

Fuente: Área de fabricación Softys Chile.

Se espera un impacto con una reducción del 50% de las fallas más costosas, traduciéndose en un ahorro anual de \$676.899.863 pesos.

13.5.5 Evaluación de Rendimiento y Mejora Continua del Sistema

Se establecerán KPIs para medir la efectividad del sistema como son la disponibilidad operacional, tiempo medio de fallas y de reparación, detenciones no programadas, además se realizarán revisiones periódicas del rendimiento del sistema, ajustando datos, configuraciones o procedimientos operativos estándar según sea necesario para maximizar su eficiencia y optimizar los resultados.

Como el sistema evalúa rendimiento y mejora continua un informe de rendimiento que debería entregar el sistema se debería ver de la siguiente manera, al tener este informe de rendimiento nos permitirá la evaluación del sistema y nos permitirá la medición de la mejora.



UNIVERSIDAD
SAN SEBASTIAN
FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

13.5.6 Informe de Rendimiento y Mejora Continua

Categoría	KPI	Valor	Objetivo	Observación
Actividad del Sistema	Sensores Activos			
	Alertas Generadas			
	OTs Generadas			
Impacto en Confiabilidad	Fallas Controladas			
	Disponibilidad Operacional PP1			
	Reducción Detenciones No Programadas			
	MTBF			
	MTTR			
Impacto Económico	Ahorros Cuantificados			
Áreas de Mejora	Falsas Positivas			
	Capacitación			
Planes de Acción	Ajuste de Equipo			
	Taller de Diagnóstico			
	Estudio de Expansión			

Fuente: Área de fabricación Softys Chile.



UNIVERSIDAD
SAN SEBASTIAN
FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

13.5.7 Evaluación de la Situación Actual

Como se muestra en la siguiente tabla la disponibilidad anual de la maquina PP1 es del 81% lo que se traduce en 9.455 horas de disponibilidad de los equipos.

Actual	
Disponibilidad anual	Horas Disponible
81%	9.455

Se plantea un objetivo del aumento de alrededor del 3% y la disponibilidad anual quedaría entorno al 84% llegando a las 9.762 horas de disponibilidad de los equipos como muestra el siguiente recuadro.

Objetivo	
Disponibilidad Anual	Horas Disponible
84%	9.762

Por lo tanto con los pasos mencionados anteriormente se permite definir un camino para visualizar de mejor manera la mejora en la disponibilidad de tiempo en la PP1 debido a que con las características de los abb Smart Sensores G2 se demuestra que pueden realizar las mediciones a los diferentes equipos dentro de la línea y con esto detectar distintas fallas o el deterioro anticipado de los componentes de la PP1, lo que no lleva a poder gestionar de una mejor manera la planificación del mantenimiento que ya no debería ser correctivo si no que más bien predictivo.



UNIVERSIDAD
SAN SEBASTIAN
FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

En el siguiente recuadro podemos observar la Gancia que se puede obtener con la instalación de los dispositivos abb Smart Sensor G2 mejorando en un 3,25% la disponibilidad de tiempo de la línea PP1.

Detalle	Valor
Aumento de Disponibilidad	308
Aumento Esperado en Porcentaje	3,25%

13.5.8 Flujo de Gestión de Fallas Actual

En el flujo actual del área de preparación pastas la detección de las condiciones de los equipos depende de la percepción del mecánico de turno y operadores lo que generaba incertidumbre en la planificación ante una posible sospecha de falla y se sigue el siguiente flujo

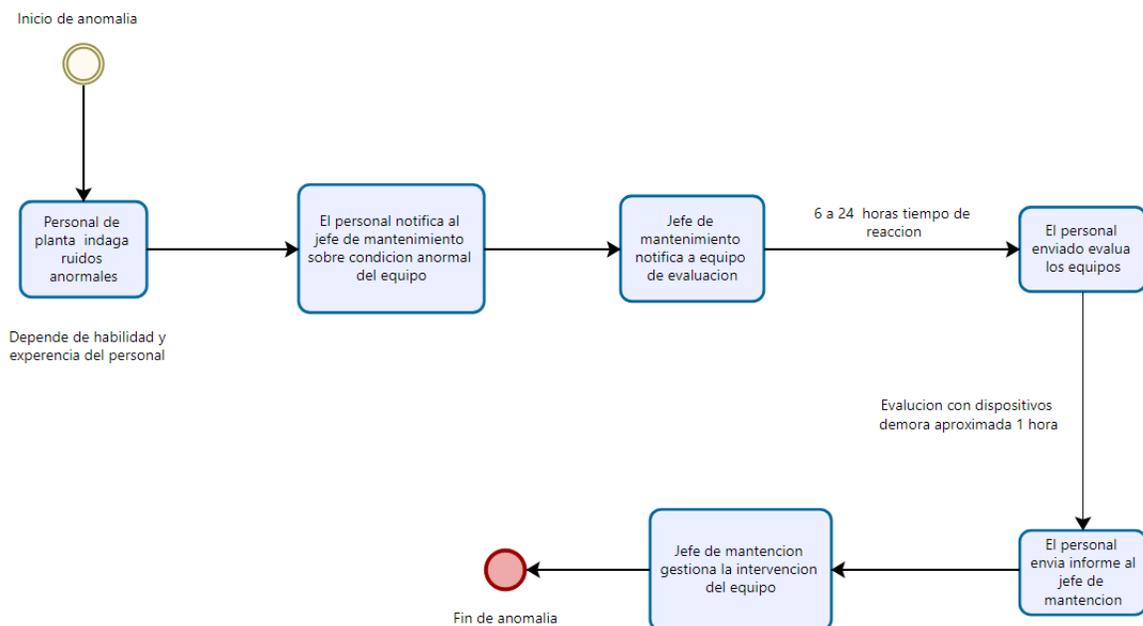
1. Mecánico de turno u operador detecta ruidos anormales del equipo, vibración o temperatura elevada.
2. Se notifica al jefe de mantenimiento
3. Se agenda visita de personal externo, este depende de la disponibilidad de su programación por lo general el tiempo de reacción es de 6 a 24 horas
4. Personal realiza revisión del equipo con las mediciones de vibraciones, temperatura y otros componentes si es necesario



UNIVERSIDAD
SAN SEBASTIAN
FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

5. El personal entrega informe técnico a jefe de mantenimiento, la entrega de este informe es al terminar la evaluación del equipo
6. Con los resultados el jefe de mantención programa la intervención del equipo cuando estima conveniente
7. Si la falla ocurre antes de que el mecánico de turno detecte anomalías, se realiza mantenimiento correctivo urgente

13.5.9 Diagrama de Flujo Gestión de Fallas Actual



Fuente: Departamento de Mantención y Fabricación Softys Chile.



UNIVERSIDAD
SAN SEBASTIAN
FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

13.6 Flujo Gestión de Fallas Objetivo

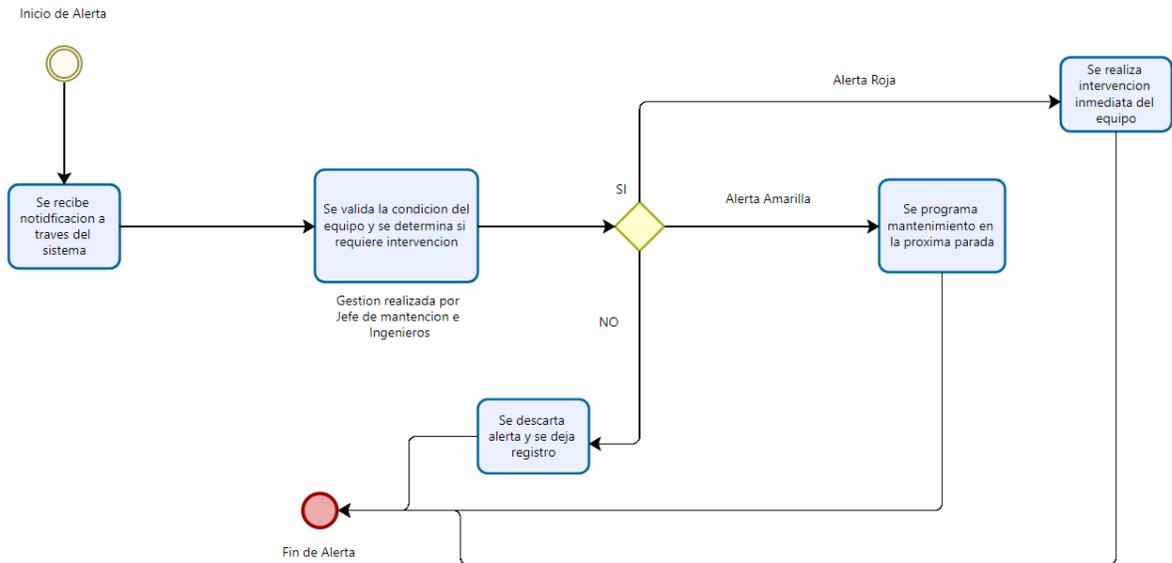
En el flujo de gestión de fallas que el sistema de sensores Smart propone se establece un modelo predictivo cien por ciento en línea, continuo y autónomo como se puede observar de la siguiente manera

1. El sensor Smart detecta vibración y temperatura de los equipos realizando una lectura de configuración recomendada cada tres horas, o cuando detecte anomalías fuera de rango, el dispositivo funcionara las 24 horas.
2. Se genera alerta automática amarilla o roja en la plataforma ABB Ability
3. El Ingeniero de confiabilidad recibe notificación inmediata y accede al historial y diagnóstico en línea
4. Se valida la condición y se determina si se requiere intervención
5. Si es necesario el jefe de mantención con los datos entregador por el ingeniero programara el mantenimiento del equipo en la próxima parada programada de maquinas
6. El equipo de mantenimiento ejecuta la intervención con anticipación y sin afectar la producción.



UNIVERSIDAD
SAN SEBASTIAN
FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

13.6.1 Diagrama de Flujo de Gestión de Fallas Final



Fuente: Departamento de Mantención y Fabricación Softys Chile.



UNIVERSIDAD
SAN SEBASTIAN
FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

13.7 Etapa III Verificar

13.7.1 Verificación de Resultados Esperados

- Evaluación de disponibilidad antes y después con los KPIs (indicador de gestión) indicado en el tiempo estimado.
- Monitoreo de KPIs: MTBF, MTTR, % de disponibilidad.
- Revisión de reducción en horas de detención.
- Validación del ahorro económico.

Para la verificación de los resultados y para que su monitoreo pueda ser de manera simplificada se deberá tener en cuenta los siguientes indicadores de gestión.

Donde el tiempo medio entre fallas debe aumentar para aumentar la disponibilidad de la línea ya que actualmente cada 24 horas de presenta una falla o anomalía insípida y el tiempo medio de reparación debe disminuir, se apunta a que este disminuya de 8 horas en la actualidad a 4 horas con el sistema de monitoreo online.



UNIVERSIDAD
SAN SEBASTIAN
FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

13.7.2 Tabla de Indicadores

Indicador	Objetivo	Fórmula	Meta (Nueva Métrica)	Periodicidad	Responsable
Disponibilidad Operacional (DO)	Medir el porcentaje de tiempo que los equipos están disponibles para operar.	$DO = (\text{Tiempo Operativo} / \text{Tiempo Total}) \times 100$	$\geq 83\%$	Mensual	Jefe de Mantenimiento
Tiempo Medio Entre Fallas (MTBF)	Medir el tiempo promedio que transcurre entre fallas.	$MTBF = \text{Tiempo Total Operativo} / \text{N}^\circ \text{ de Fallas}$	$\uparrow 15\%$ sobre el valor base	Trimestral	Ingeniero de Confiabilidad
Tiempo Medio de Reparación (MTTR)	Evaluar la eficiencia del equipo técnico al reparar fallas.	$MTTR = \text{Tiempo Total de Reparación} / \text{N}^\circ \text{ de Fallas}$	$\downarrow 50\%$ respecto a situación actual	Mensual	Supervisor de Turno
% Reducción de Detenciones No Programadas	Cuantificar la mejora en continuidad operativa tras sensores.	$(\text{Horas de Detención Anterior} - \text{Actual}) / \text{Anterior} \times 100$	$\geq 50\%$ de reducción	Semestral	Encargado de Planificación
Costo por Minuto Detenido	Estimar el impacto económico de las paradas no programadas.	$\text{Costo Total de Paradas} / \text{Total de Minutos de Parada}$	\downarrow a menos de \$30 USD/minuto	Semestral	Analista de Costos
Confiabilidad del Sistema	Monitorear el porcentaje de cumplimiento de pronósticos de falla.	$\text{N}^\circ \text{ de Fallas Detectadas por Sensor} / \text{N}^\circ \text{ Total de Fallas} \times 100$	$\geq 85\%$	Trimestral	Jefe de Mantenimiento Predictivo

Fuente: Area de Preparación Pastas Softys



UNIVERSIDAD
SAN SEBASTIAN
FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

Para gestionar estos indicadores y mantener la mejora continua de los sistemas y la producción se debe tener en cuenta lo siguiente

- Tener en consideración un dashboard con todos los indicadores de monitoreo para ABB Ability.
- Que el sistema generara reportes automáticos enviado directamente a los responsables de la operación para mantener el control.
- Planificar auditorías internas con el fin de controlar la eficiencia del sistema y si la solución es efectiva.

13.8 Etapa IV Actuar

13.8.1 Acciones de Mejora y Expansión

- Documentar y estandarizar procedimientos exitosos para volver a repetirlos y así mantener la competitividad del sistema.
- Escalar el sistema a otras líneas críticas para que el control se manifieste en todas las áreas de la organización.
- Incorporar nuevas funcionalidades de monitoreo actualizando constantemente los sistemas para mantener la eficiencia de la producción.
- Revisión semestral del plan detectando posibles fallas y mejoras para cada una de las etapas del proceso.



UNIVERSIDAD
SAN SEBASTIAN
FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

13.8.2 Retroalimentación

- Reuniones mensuales con el área para realizar análisis de datos, indicadores y funcionamiento de los equipos buscando el levantamiento de información relevante que ayude a la mejora del proceso.
- Revisión del desempeño y capacitación del personal constantemente para que se mantengan actualizados y comprometidos con el cumplimiento de metas impuestas.
- Revisar como será posible presentar la implementación de esta mejora sin considerar las cuantificaciones monetarias, si no, que solo intentar convencer a la gerencia de que el sistema es viable para su implementación (venderlo sin lo económico), presentada esta cuestión la respuesta sería que se aborda mediante la disminución de carga de trabajo para los equipos de mantención y el área de preparación pastas generando una mejora en el ambiente laboral, la rotación del personal y dando la posibilidad de mejorar la vida de los trabajadores de la planta en Puente Alto al contar con mayor tiempo disponible y no ocupar sus horas de vida en horas o turnos extras.
- También abordar la reducción del 50% de las fallas, el cómo se logra, justificándolo como una meta impuesta por la gerencia de Softys y además apoyándose en el conocimiento entregado por el distribuidor del dispositivo que en diversas implementaciones logran la reducción desde un 40% a un 70% de las fallas que se intentan controlar.



UNIVERSIDAD
SAN SEBASTIAN
FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

14 Análisis Económico

Los costos asociados a la adquisición del dispositivo de medición inteligente ABB representan los recursos financieros, humanos y tecnológicos necesarios para implementar la propuesta de mejora que busca aumentar la disponibilidad de operativa de la línea PP1 en la empresa Softys Chile.

La inversión en la implementación del sistema de monitoreo predictivo ABB para la línea PP1 es clave en cuanto a la actualización de la forma en que se obtienen datos de las fallas en el área de mantenimiento, en que se deberá cuantificar la capacitación de técnicos y profesionales en el uso y análisis de los nuevos datos predictivos, además de tener en cuenta una nueva planificación mensual de la mantención de los equipos, así como el monitoreo continuo de los resultados en términos de reducción de fallas y optimización del tiempo de producción.

Estos costos no deben ser vistos únicamente como una inversión operativa destinada a la eficiencia productiva, sino también como una herramienta estratégica que mejora la percepción del balance trabajo y vida entre los colaboradores, al reducir significativamente las interrupciones por fallas no programadas y las presiones asociadas a las reparaciones de emergencia, se contribuye a un entorno de trabajo más estable y predecible, lo que indirectamente favorece el bienestar del equipo de mantención.



UNIVERSIDAD
SAN SEBASTIAN
FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

Para la puesta en marcha tendremos los siguientes costos

14.1.1 Costo de Adquisición de Smart Sensor G2

Nombre del producto	Función	Valor (CLP)	Cantidad	Valor total (CLP)
Smart Sensor G2	Es el encargado de recolectar los datos de los equipos a través de vibraciones, temperatura, entre otros.	\$244.200	40	\$9.768.000

Fuente: Términos y condiciones de ABB Tecnologías Digitales.

14.1.2 Costo de Adquisición de Sensores Gateway

Nombre del producto	Función	Valor (CLP)	Cantidad	Valor total (CLP)
Smart Sensor Gateway	Es el encargado de recolectar los datos que genera el sensor smart G2 para su posterior procesamiento	\$968.000	6	\$5.808.000

Fuente: Términos y condiciones de ABB Tecnologías Digitales.

14.1.3 Costo de Instalación

Nombre del producto	Función	Valor (CLP)	Cantidad	Valor total (CLP)
Instalación de dispositivos	Es el costo de instalación que se requiere de los dispositivos.	\$3.000.000	1	\$3.000.000

Fuente: Términos y condiciones de ABB Tecnologías Digitales.



UNIVERSIDAD
SAN SEBASTIAN
FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

14.1.4 Costo de Suscripción o Licencia

Nombre del producto	Función	Valor (CLP)	Cantidad	Valor total (CLP)
suscripción de monitoreo para smart g2	Cumple con el tratamiento de datos, almacenamiento y soporte para los sensores.	\$110.000	40	\$4.400.000

Fuente: Términos y condiciones de ABB Tecnologías Digitales.

14.1.5 Costos de Personal de Soporte

Nombre del producto	Función	Valor (CLP)	Cantidad	Valor total (CLP)
Ingeniero de confiabilidad	Es el personal de soporte para los equipos si se presenta algún inconveniente y además interpreta los datos del dispositivo.	\$30.000.000	2	\$60.000.000

Fuente: Términos y condiciones de ABB Tecnologías Digitales.

14.1.6 Costos de Capacitación

Nombre del producto	Función	Valor (CLP)	Cantidad	Valor total (CLP)
Costo capacitación	Son los costos asociados a la capacitación del área del personal de mantenimiento o corresponde a 20 horas.	\$2.400.000	1	\$2.400.000

Fuente: Términos y condiciones de ABB Tecnologías Digitales.



UNIVERSIDAD
SAN SEBASTIAN
FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

14.2 Resumen del Total de Costos

A continuación, se procederá a realizar la suma de todos los costos que están incluidos en la mejora propuesta

Nombre del producto	Función	Valor (CLP)	Cantidad	Valor total (CLP)
Smart Sensor Gateway	Es el encargado de recolectar los datos que genera el sensor smart G2.	\$968.000	6	\$5.808.000
Smart Sensor G2	Recolecta los datos de los equipos a través de vibraciones, temperatura, entre otros.	\$244.200	40	\$ 9.768.000
Suscripción de monitoreo para smart g2	Cumple con el tratamiento de datos, almacenamiento.	\$110.000	40	\$4.400.000
Instalación de dispositivos	Es el costo de instalación que se requiere de los dispositivos empresa externa 3 personas.	\$3.000.000	1	\$3.000.000
Ingeniero de confiabilidad	Es el personal de soporte para los equipos, entregar análisis de datos.	\$30.000.000	2	\$60.000.000
Costo capacitación	Son los costos asociados a la capacitación del área del personal que lo realiza un especialista de ABB.	\$2.400.000	1	\$2.400.000
	Total			\$ 85.376.000

Fuente: Términos y condiciones de ABB Tecnologías Digitales.



UNIVERSIDAD
SAN SEBASTIAN
FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

14.3 Análisis de Beneficios o Ahorros

Los beneficios de la implementación del sistema de monitoreo predictivo se traducen en impactos económicos y operativos en que la gestión va directamente involucrada con la reducción de costos en el área de mantención.

Entre los beneficios más destacados se encuentran la disminución de los costos de mantenimiento por fallas no programadas, la mejora en la eficiencia operativa al reducir los tiempos de inactividad no programados y el fortalecimiento del área que permite una planificación proactiva del mantenimiento y la extensión de la vida útil de los equipos.

Estos beneficios no solo contribuyen a la sostenibilidad económica de la organización al optimizar los recursos y reducir pérdidas, sino que también fortalecen la confiabilidad de la línea de producción y la percepción de una gestión proactiva, generando un entorno más eficiente, predecible y con menor riesgo de interrupciones costosas.

Para el área de mantención el costo total anual de las perdidas por fallas no programadas se desglosa en la siguiente tabla



UNIVERSIDAD
SAN SEBASTIAN
FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

14.3.1 Tabla Costo Total de Perdidas por Fallas No Programadas

Línea	PP1	Suma de tiempo por reparación	Costo Total de Falla (CLP)	% del valor
	Causa de falla			
Avería mecánica	Se tranca Tornillo 76	282	\$ 10.333.044	0,8%
	Eje con rodamiento en mal estado	11.143	\$ 408.301.806	30,2%
	Bomba centrifuga por rodamiento trabado	4.217	\$ 154.519.314	11,4%
	Corte de acoplamiento por bomba trancada	845	\$ 30.962.490	2,3%
	Correa cortada	235	\$ 8.610.870	0,6%
Trancón	trancón de rodamiento	5.447	\$ 199.588.974	14,8%
	Opera térmico por sobrecarga de motor	601	\$ 22.021.842	1,6%
Avería eléctrica	Falla de estatus	610	\$ 22.351.620	1,7%
	Motor quemado por sobrecarga	12.165	\$ 445.749.930	33,0%
	trancón de rodamiento	413	\$ 15.133.146	1,1%
	Opera térmico por sobrecarga de motor	480	\$ 17.588.160	1,3%
	Se baja volumen de producción de fibra	465	\$ 17.038.530	1,3%
	Total	36.903	\$ 1.352.199.726	

Fuente: Área de fabricación Softys Chile.



UNIVERSIDAD
SAN SEBASTIAN
FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

Como el objetivo es la reducción del 50% de las fallas no programadas, en la siguiente tabla se muestra la cantidad de costos a reducir

14.3.2 Tabla de Costos Totales de Perdidas por Fallas No Programadas a Reducir

Línea	PP1	Costo Total de Falla (CLP)	Reducción 50% (CLP)
	Causa de falla		
Avería mecánica	Se tranca Tornillo 76	\$ 10.333.044	\$ 5.166.522
	Eje con rodamiento en mal estado	\$ 408.301.806	\$ 204.150.903
	Bomba centrífuga por rodamiento trabado	\$ 154.519.314	\$ 77.259.657
	Corte de acoplamiento por bomba trancada	\$ 30.962.490	\$ 15.481.245
	Correa cortada	\$ 8.610.870	\$ 4.305.435
Trancón	trancón de rodamiento	\$ 199.588.974	\$ 99.794.487
	Opera térmico por sobrecarga de motor	\$ 22.021.842	\$ 11.010.921
Avería eléctrica	Falla de estatus	\$ 22.351.620	\$ 11.175.810
	Motor quemado por sobrecarga	\$ 445.749.930	\$ 222.874.965
	trancón de rodamiento	\$ 15.133.146	\$ 7.566.573
	Opera térmico por sobrecarga de motor	\$ 17.588.160	\$ 8.794.080
	Se baja volumen de producción de fibra	\$ 17.038.530	\$ 8.519.265
	Total	\$ 1.352.199.726	\$ 676.099.863



UNIVERSIDAD
SAN SEBASTIAN
FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

Como el costo total de perdidas por fallas no programadas es de \$1.352.199.726 al año y lo que se quiere lograr es la reducción del total de fallas al 50% lo que generaría la reducción del 50% de los costos por lo tanto el beneficio que se quiere lograr con la mejora es del ahorro de \$676.099.863 al año.

Como ya se calcularon las pérdidas totales por fallas y el ahorro al que la mejora propone obtener se realizara el cálculo del costo de retorno de la inversión con la siguiente formula

$$ROI = \frac{(\text{Beneficios anuales esperados} - \text{inversion inicial})}{\text{Inversion inicial}} * 100$$

14.3.3 Retorno de la inversión (ROI)

$$ROI = \frac{(676.099.863 - 85.376.000)}{85.376.000} * 100 = 691,9\%$$

Se proyecta un ahorro anual de \$676.099.863 gracias a la reducción del 50% en las fallas más frecuentes de la línea de producción PP1. Este ahorro significativo permite obtener un retorno de la inversión de aproximadamente el 691,9% en el primer año, lo que indica una alta rentabilidad del proyecto que sugiere que es viable económicamente. Este valor explica que, por cada peso invertido en el proyecto, se espera generar 6.9 pesos de retorno en beneficios durante el primer año.

La capacidad del sistema para predecir y prevenir el 50% de las fallas más costosas de la línea PP1 tiene un impacto directo y sustancial en la reducción de gastos por reparaciones de emergencia, pérdidas de producción por tiempo de inactividad y posibles daños secundarios a los equipos.



UNIVERSIDAD
SAN SEBASTIAN
FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

14.3.4 Payback

Es un indicador que determina el periodo de recuperación de la inversión o es el tiempo que tardará en recuperarse la inversión inicial con los ahorros anuales generados y se calcula con la siguiente formula.

$$\textit{Payback} = \frac{\text{Inversion Inicial}}{\text{Beneficio Anuales Esperados}}$$

Payback

$$\textit{Payback} = \frac{85.376.000}{676.099.863} = 0,126$$

Periodo de recuperación = 0,126 X 12 meses = 1,51 meses

El periodo de recuperación de la inversión de tan solo 1.51 meses, este valor representa el tiempo estimado que tardará la organización en recuperar la totalidad de la inversión inicial de \$85.376.000 a través de los ahorros generados por la reducción de costos de falla no programados.

La rapidez con la que se espera recuperar la inversión inicial convierte al proyecto de implementación del sistema de monitoreo ABB predictivo en una opción financieramente atractiva.



UNIVERSIDAD
SAN SEBASTIAN
FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

14.4 Análisis Costo-Beneficio

El beneficio neto de la implementación del sistema de monitoreo con sensores ABB para el área de mantención se calcula como la diferencia de los beneficios totales esperados y los costos totales de implementación.

Inversión inicial = \$85.376.000

Beneficio anual esperado o ahorro = \$676.099.863

Beneficio neto = \$676.099.863 – \$85.376.000 = \$590.723.863

Por lo tanto, se puede considerar que la implementación de un sistema de monitoreo en línea para la línea de preparación pastas PP1 es una inversión viable y bastante estratégica.

Ademas como los Smart Sensor ABB nos facilita el monitoreo de condiciones en línea ya no sería necesario la detención de las máquinas para la medición de su estado o condición (una hora mensual), por lo tanto, el costo en que se incurre por la no producción cuando se tomaban estos datos sería un beneficio extra y una recaudación de un total de \$40.176.000 pesos.

Beneficio neto: \$590.723.863 + \$40.176.000 = \$630.899.897



UNIVERSIDAD
SAN SEBASTIAN
FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

15 Plan de Mantenimiento Sugerido

Este plan de mantención está diseñado para optimizar la disponibilidad de la línea PP1, reduciendo detenciones no programadas mediante un enfoque predictivo basado en sensores inteligentes ABB.

El plan abarca los principales equipos de la línea, alineándose con los principios de la Industria 4.0 y el mantenimiento basado en mejoras continuas.

Este plan permitirá

- Prevenir fallas como motores quemados, rodamientos dañados o trancones críticos.
- Evitar detenciones imprevistas coordinando mantenimientos con ventanas programadas y la detección con otras áreas.
- Minimizar costos por emergencias y repuestos no planificados, entre otros.
- Extender la vida útil de los activos mediante mantenimiento basado en condición del equipo.



UNIVERSIDAD
SAN SEBASTIAN
FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

15.1 Tabla de Mantenición

Equipo	Componente Monitoreado	Frecuencia	Acción Preventiva	Sensor
Pulper Helico	Rodamientos del rotor	Online	Verificar vibración y ruido. Reemplazo si alerta roja.	Sí
Bombas 20/21/207/38-B/57	Ejes, rodamientos y acoplamientos	Online	Revisión de alineamiento y temperatura. Lubricación.	Sí
Tornillo 76	Rodamientos y eje	Online	Lubricación y limpieza. Ajustes si detecta sobreesfuerzo.	Sí
VP-60 (Estrujador)	Rodamientos y sellos	Online	Limpieza y ajuste. Cambio si vibración aumenta >25%.	Sí
Dispensor Kcrima	Rodamientos y discos	Online	Verificación de temperatura en discos. Ajuste de torque.	Sí
Sistema de Correas	Tensión y desgaste	Online	Revisión física. Cambio si vibración alta o daño detectado.	Sí
Motores de bombas y tornillos	Temperatura de bobinas, consumo	Online	Corte automático ante sobrecalentamiento o sobre corriente	Sí
Tableros eléctricos	Protección térmica, sobrecarga	Semanal	Ajuste y prueba de protecciones térmicas	No directo
Sistema de control local	Variadores, contactores	Semanal	Ensayo funcional y verificación térmica	Indirecto
Gateway / ABB Ability	Conectividad y comunicación	Online	Verificación online y corrección de fallas de red	Sí

Fuente: Área de fabricación Softys Chile.

También podemos agregar a este plan algunos complementos estratégicos para que se puedan llevar de mejor manera la adaptación y se asegure una mantención de los equipos de la forma más adecuada posible.

Como complemento podemos encontrar la programación mensual de lubricación a los equipos donde se puede entregar una lista de comprobación con tipo de lubricante, frecuencia de aplicación, cantidad, responsable y observaciones, además agregar un protocolo de mantención basado en condición esto quiere decir que cuando se genere una alerta amarilla se generara automáticamente una orden de trabajo para que sea atendida a la brevedad.



UNIVERSIDAD
SAN SEBASTIAN
FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

16 Conclusión

La propuesta desarrollada en este proyecto permitió abordar de manera integral la problemática de baja disponibilidad operacional en la línea PP1 de la planta Softys, específicamente en el área de preparación de pasta. Desde el punto de vista técnico, la implementación de sensores inteligentes ABB Ability representa un avance significativo hacia un modelo de mantenimiento predictivo, con monitoreo continuo de variables críticas como la vibración y la temperatura. Esta solución permite anticipar fallas potenciales antes de que se materialicen, eliminando la dependencia de mediciones esporádicas realizadas por empresas externas y otorgando autonomía al equipo de confiabilidad de la planta.

La selección de equipos críticos para la instalación de los sensores se fundamentó en criterios de frecuencia de falla, impacto en la producción, accesibilidad y condición operativa. El análisis técnico demuestra que la incorporación de estos dispositivos no solo mejora la capacidad de diagnóstico, sino que también optimiza la planificación del mantenimiento, reduciendo intervenciones de emergencia y aumentando la seguridad del área. Además, el flujo de respuesta ante alertas se acorta considerablemente, lo que mejora la capacidad de reacción y disminuye el riesgo de detenciones no programadas.

Desde la perspectiva económica, se evidenció que el costo de implementación de la solución, estimado en \$85.376.000 pesos, se justifica plenamente al proyectar una mejora en la disponibilidad en torno al 3%, lo que equivale a un aumento en la continuidad operacional de la línea y una reducción considerable de pérdidas por detenciones. Se estima que este aumento de disponibilidad puede traducirse en beneficios económicos superiores a \$590 millones de pesos anuales, considerando el valor de producción no interrumpida, la reducción de fallas catastróficas y la mejora en la eficiencia del mantenimiento.



UNIVERSIDAD
SAN SEBASTIAN
FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

En consecuencia, se concluye que la solución planteada es técnica y económicamente viable, y que su implementación generará un impacto positivo sostenido en la confiabilidad del proceso productivo. Este proyecto no solo mejora un aspecto puntual de la operación, sino que establece una base sólida para la adopción de tecnologías de Industria 4.0 y la evolución hacia una gestión de equipos basada en datos. Se recomienda continuar con la expansión del monitoreo predictivo a otras líneas de producción y fortalecer el entrenamiento del personal en el análisis de datos para consolidar esta transformación.



UNIVERSIDAD
SAN SEBASTIAN
FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

17 Bibliografía

Predictiva. (s. f.). *Análisis de Criticidad Integral de Activos - Predictiva21*.
<https://predictiva21.com/analisis-criticidad-integral-activos>

Administración moderna de mantenimiento. (2010). Laurival Tavares.

Monitorización para todo tipo de máquinas. (2012).
https://www.schaeffler.mx/remotemedien/media/_shared_media/08_media_library/01_publications/schaeffler_2/tpi/downloads_8/tpi_214_es_es.pdf.

Manuales de productos SKF. (2024). <https://www.skf.com/cl/products/condition-monitoring-systems/product-support-training/product-manuals>.

ABB Ability™ Smart Sensor - Motores que indican cuándo realizar mantenimiento. (2023). <https://new.abb.com/motors-generators/es/servicios-del-motor/servicios-avanzados/smart-sensor>.

MacNeil, C. (2025, 29 enero). Análisis costo beneficio: Pasos, ejemplos y plantilla GRATIS [2025] • Asana. *Asana*. <https://asana.com/es/resources/cost-benefit-analysis>