



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE LA SANTÍSIMA CONCEPCIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA

PROPUESTA DE UN PLAN ESTRATÉGICO DE MANTENIMIENTO
BASADO EN RIESGOS Y ANÁLISIS DE MODOS DE FALLAS PARA
UN DIGESTOR CONTINUO.

Para optar al título de Ingeniera Civil Industrial
CAROLINA SANHUEZA PARRA

CELULOSA ARAUCO Y CONSTITUCIÓN S.A.

Ivo Carrasco Carrasco

Eduardo Arriagada

Héctor Valdés

Nombre Supervisor Empresa

Nombre Profesor Evaluador 1

Nombre Profesor Evaluador 2

Nota Informe escrito:

**Agradecimientos**

En primer lugar agradezco a Dios porque me permitió llegar hasta este momento en que me encuentro culminando mi carrera profesional. A mis padres, Roberto y Catalina, hermanas Gladys y Cata, tías y primos por su apoyo incondicional.

Agradezco cada vez que mis padres y tía Paty me fueron a dejar o a buscar al paradero, por prepararme desayuno y animarme cada vez que entraba a las 8 AM.

Agradezco a Celulosa Arauco y Constitución S.A. por brindarme la posibilidad de realizar mi práctica profesional en sus instalaciones. A quienes dentro de la empresa confiaron en mí en esta última etapa y siempre me alentaron a seguir, ellos son Nik Aránguiz Lira quien desde el principio me brindó toda la ayuda necesaria y me enseñó del proceso, Tío Jorge Jerez por ayudarme desde que supo que necesitaba práctica y especialmente don Ivo Carrasco, mi tutor, quien me enseñó las metodologías para el desarrollo de mi práctica profesional. No puedo dejar de mencionar a los chicos Ialo por enseñarme herramientas ingenieriles y del proceso con sus instalaciones. Agradezco los consejos de todo el equipo confiable que incluye a José Valenzuela, Ricardo Zambrano y Luis Sánchez. A José Luis Amigo le agradezco su ayuda día a día, por llevarme a terreno y enseñarme de los equipos.

Gracias a mi jefe de carrera, don Cristian Oliva San Martín, por su comprensión y ayuda en los momentos requeridos. A mis profesores evaluadores por sus consejos.

Finalmente, muchas gracias a mis amigas y amigos, quienes estuvieron conmigo desde el inicio de este proceso y los que se incorporaron durante el camino.

Gracias a todos por su paciencia conmigo.



Resumen

El presente informe describe el desarrollo y resultado de la Práctica Profesional Tutelada realizada en Celulosa Arauco y Constitución S.A. en la Superintendencia de Confiabilidad perteneciente a la Subgerencia de Mantenimiento, con el objetivo de ejecutar tareas propuestas que permitan optar a obtener el título de Ingeniera Civil Industrial.

El proyecto presenta una propuesta estratégica para la mantención del digestor continuo basado en RCM¹ (Reliability Centred Maintenance), el cual incluye planes, hojas de ruta y documentos e instructivos para la ejecución de dicho plan de mantenimiento.

En general, la metodología utilizada consiste en analizar las funciones de cada componente, identificando sus modos de fallas y determinando la mejor acción para eliminar o mitigar sus consecuencias. El impacto de cada modo de falla se analiza a través de la herramienta AMFE (Análisis de Modos de Fallas y sus Efectos). Además, con el fin de obtener más información, se realizaron reuniones con operadores y mantenedores para levantar la experiencia adquirida por ellos a través del tiempo.

Igualmente, se recopilieron antecedentes para una mejor comprensión del equipo, priorizando los subsistemas según el requerimiento de la empresa de tal forma de acotar el análisis a lo más importante, luego de eso viene la etapa de confección de

¹ Traducido es, Mantenimiento Centrado en Confiabilidad.



planilla de modos de falla (Llamada, “planilla RCM”), la cual posee campos puntuales que permiten el desarrollo del proyecto.

Se llevó a cabo un taller de validación de la información contenida en la planilla con un equipo de trabajo compuesto por jefes de área, operadores y mantenedores.

Con la planilla RCM aprobada, se comienzan a agrupar las acciones de mitigación de acuerdo con sus componentes y modos de falla de tal modo de generar planes de mantenimiento y balancear la carga de trabajo para finalmente cargar los planes en SAP².

Como resultado se modificaron y/o crearon 100 planes de mantenimiento en SAP y se entregaron 57 documentos de procedimientos, cubriendo un total de 3274 modos de falla asociados a 84 equipos y 31 rutas de inspección mecánica, que finalmente se traduce en el comienzo de la implementación de la estrategia de mantención, basada en riesgos a digester continuo en Línea 2 de Planta Arauco.

² Systemanalyse und Programmentwicklung ("Análisis de Sistemas y Desarrollo de Programas")



Evaluación de Desempeño del supervisor



Evaluación Final de Práctica Profesional Tutelada

Ingeniería Civil Industrial

A. ANTECEDENTES

Datos de la empresa u Organización	
Nombre o Razón Social	<u>CELULOSA ARAUCO Y CONSTITUCIÓN S.A.</u>
Dirección	<u>HORCONES S/N, ARAUCO</u>
Giro	<u>FABRICACIÓN DE PULPA DE MADERA</u>
Nombre Supervisor de Práctica	<u>IVO CARRASCO</u>
Cargo	<u>INGENIERO CONFIABILIDAD</u>
Profesión	<u>INGENIERO CIVIL ELÉCTRICO</u>
Fecha de la Evaluación	<u>12/11/2019</u>

Datos del Estudiante	
Nombre Completo	<u>CAROLINA ELIZABETH SANHUEZA PARRA</u>
Rut	<u>18.746.149-9</u>
Teléfono de contacto	<u>9 86253903</u>
Correo electrónico	<u>CSANHUEZAP@ING.UCSC.CL</u>

La Carrera cree firmemente en el trabajo conjunto con el medio externo, para formar profesionales actualizados en la disciplina, capaces de destacar por sus sólidos conocimientos, habilidades interpersonales y por el sello identitario UCSC.

Cabe destacar que la formación del Ingeniero civil Industrial de la UCSC se basa en el modelo CDIO¹, por lo que este profesional es capaz de Concebir, Diseñar, Implementar y Operar, productos, procesos y sistemas en un contexto real.

La información entregada por usted es utilizada como retroalimentación para validar y/o actualizar el perfil de egreso, así como para mejorar el quehacer académico de nuestra Carrera.

¹ Reforma de la Enseñanza de la Ingeniería. La Iniciativa CDIO: Concebir, Diseñar, Implementar y Operar sistemas y productos en un mundo real. Es una iniciativa implementada por el MIT y distintas Escuelas de Ingeniería a nivel mundial.



B. EVALUACIÓN

A continuación, evalúe, marcando con una X, según la siguiente escala de valorización.

0. No aplica	
1. Insatisfactorio	Nunca demuestra esta habilidad o actitud
2. Deficiente	Raramente demuestra esta habilidad o actitud
3. Regular	A veces demuestra esta habilidad o actitud
4. Bueno	Usualmente demuestra esta habilidad o actitud
5. Excelente	Siempre demuestra esta habilidad o actitud

	0	1	2	3	4	5
Conocimiento técnico y razonamiento						
El estudiante demostró los conocimientos técnicos necesarios para cumplir con las tareas asignadas.						X
Habilidades y atributos personales y profesionales						
El estudiante utilizó razonamiento analítico para la resolución de problemas.						X
El estudiante utilizó distintas fuentes de información para argumentar sus ideas.					X	
El estudiante fue capaz de tomar decisiones fundadas y argumentadas.						X
El estudiante utilizó el pensamiento sistémico para enfrentar las tareas encomendadas.						X
El estudiante propuso soluciones y acciones frente a situaciones analizadas.					X	
El estudiante generó distintas opiniones e ideas para solucionar un problema.					X	
El estudiante intentó mejorar por iniciativa propia.						X
El estudiante realizó las funciones propias de su cargo sin que requiera supervisión y control permanente.						X
El estudiante presentó facilidad para adaptarse a nuevas situaciones.						X
El estudiante demostró ser capaz de trabajar bajo presión.						X
El estudiante gestionó su tiempo de manera de cumplir con las tareas establecidas en los plazos correspondientes.						X
El estudiante demostró actitudes de ética, integridad y responsabilidad social.						X
El estudiante cumplió con su horario laboral.						X
Destrezas interpersonales: Trabajo en equipo y comunicación						
El estudiante demostró interés por aprender de otras personas y/o situaciones para mejorar su conocimiento y/o desempeño.						X
El estudiante se relacionó efectivamente con sus pares para lograr resultados esperados.						X



	0	1	2	3	4	5
El estudiante fue capaz de trabajar con personas de otras disciplinas.						X
El estudiante fue capaz de expresar ideas de manera clara, efectiva y apropiada.						X
El estudiante formuló argumentos lógicos en presentaciones e informes para justificar ideas.	X					
El estudiante utilizó lenguaje técnico en informes y presentaciones.	X					
El estudiante utilizó programas computacionales, herramientas tecnológicas o instrumentos pertinentes a la disciplina.						X
El estudiante pudo comprender textos y discursos orales en inglés.	X					
El estudiante fue capaz de redactar textos breves en inglés.	X					
El estudiante fue capaz de expresar ideas en inglés.	X					
Concebir, diseñar, implementar y operar sistemas en el contexto empresarial y social						
El estudiante demostró entender el impacto de la ingeniería en la sociedad.						X
El estudiante demostró entender el impacto de la ingeniería en temas ambientales.						X
El estudiante demostró conocer normativas relacionadas a la disciplina.				X		
El estudiante fue capaz de reconocer la cultura organizacional.						X
El estudiante fue capaz de concebir soluciones, analizando necesidades y oportunidades de mejora.					X	
El estudiante demostró comprender las etapas del proceso de diseño.						X
El estudiante fue capaz de diseñar procesos y/o sistemas para la solución de problemas.	X					
El estudiante fue capaz de implementar las soluciones propuestas.						X
El estudiante fue capaz de mejorar operaciones y/o procesos.						X
El estudiante fue capaz de gestionar mecanismos de evaluación y control a lo largo del proceso.					X	



i) Conocimientos

Considerando el dominio de conocimientos y herramientas técnicas relacionadas con la profesión y necesarias para realizar esta práctica profesional, señale 3 de ellas y evalúe el desempeño del estudiante considerando la escala indicada:

1	Insuficiente: El estudiante nunca demostró conocimiento en ...
2	Deficiente: El estudiante raramente demostró conocimiento en ...
3	Regular: El estudiante ocasionalmente demostró conocimiento en ...
4	Bueno: El estudiante frecuentemente demostró conocimiento en ...
5	Excelente: El estudiante muy frecuentemente demostró conocimiento en ...

Conocimiento/herramienta técnica	1	2	3	4	5
1. Herramientas computacionales: Excel / word					X
2. Redacción / ortografía / comprensión de lectura					X
3. Trabajo en equipo					X

ii) Desempeño general.

1. Mencione a lo más 3 fortalezas observadas del estudiante				
<ul style="list-style-type: none"> - Buen rendimiento para trabajo en equipo. - Capaz de desarrollar tareas complejas en el contexto de un proyecto. - Ha mejorado su rendimiento con el paso del tiempo. 				
2. Mencione a lo más 3 debilidades observadas del estudiante				
<ul style="list-style-type: none"> - No habla inglés (no requerido para este proyecto) 				
3. Considerando todos los aspectos evaluados, por favor califique con nota de 1 a 7, el desempeño general del estudiante, de acuerdo al siguiente rango de notas				
Sobresaliente 7- 6,1	Bueno 6 – 5,1	Satisfactorio 5 – 4,1	Deficiente 4 – 3,1	Insatisfactorio 3 – 1

CALIFICACIÓN	6,7
---------------------	-----



C. MEJORA CONTINUA

Las siguientes preguntas no tienen puntaje asignado y por ende no influyen en la calificación final del estudiante; sin embargo, para la carrera de Ingeniería Civil Industrial es importante que usted conteste abiertamente con el fin de conocer si nuestros alumnos están respondiendo a las necesidades de la empresa, y en el caso contrario, tomar las medidas correctivas para que ello ocurra.

<p>1. ¿Usted recomendaría a este estudiante para integrarse a su equipo u otro equipo de trabajo? Por favor, fundamente su respuesta</p>
<p>Si, trabaja bien en equipo, se adapta a las condiciones de trabajo. Es capaz de seguir un programa de trabajo, adaptándose a los cambios en la programación. Cumple las metas propuestas. Aprende rápido.</p>
<p>2. ¿Usted recomendaría a este estudiante a otra empresa/organización? Por favor, fundamente su respuesta</p>
<p>Si, ver punto anterior.</p>
<p>3. En la actualidad ¿qué conocimientos son fundamentales que posean nuestros estudiantes para tener un correcto desempeño laboral?</p>
<p>Hablar ingles Trabajar en equipo</p>


IVO CARRASCO
Nombre y Firma Supervisor
Timbre de la Empresa

Fecha: 12/11/19

Esta pauta debe ser completada y firmada por el supervisor directo del alumno en práctica y entregada en sobre sellado para que se adjunte al informe de práctica



Índice de Contenidos

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Antecedentes Generales de ARAUCO.....	1
1.2 Análisis de la situación actual	2
1.3 Objetivos.....	8
CAPÍTULO 2: METODOLOGÍA	9
2.1 Etapa 1: Identificar situación actual del proceso y equipos.....	15
2.2 Etapa 2: Definir la mejor acción para cada modo de falla	17
2.3 Etapa 3: Generar y actualizar planes.....	21
CAPÍTULO 3: RESULTADOS Y DISCUSIÓN	24
3.1 Etapa 1: Identificar situación actual del proceso y equipos.....	24
3.2 Etapa 2: Definir la mejor acción para cada modo de falla	25
3.3 Etapa 3: Agrupar acciones y generar planes.....	33
CAPÍTULO 4: CONCLUSIONES	37
REFERENCIAS.....	39
ANEXOS	39



Índice de Tablas

Tabla 1: Ejemplos de modos de falla frecuentes	26
Tabla 2: Ocurrencias de fallas más frecuentes.....	27
Tabla 3: Equipos inspeccionados.....	28
Tabla 4: Resumen de rutas por área	31
Tabla 5: 80% de las Acciones propuestas cíclicas.	31
Tabla 6: 80% de las acciones propuestas no cíclicas.....	32
Tabla 7: Extracto de planilla con cabeceras OT.	33
Tabla 8: Ejemplo algunas actividades de un plan.....	34
Tabla 9: Clase de orden de los planes	36
Tabla 10: Resumen de planes preventivos	36



Índice de Imágenes

Imagen 1: Digestor continuo y equipos accesorios I	3
Imagen 2: Digestor continuo y equipos accesorios II.....	4
Imagen 3: Evolución del mantenimiento	6
Imagen 4: Pirámide del mantenimiento	7
Imagen 5: Extracto planilla RCM I	12
Imagen 6: Extracto planilla RCM II	12
Imagen 7: Curva de la bañera	13
Imagen 8: Intervalos P-F	14
Imagen 9: Etapas de desarrollo RCM.	15
Imagen 10: Válvula manual.....	24
Imagen 11: Equipo rotatorio	24
Imagen 12: Extracto Planificación rutas mecánicas	30



Capítulo 1. Introducción

1.1 Antecedentes Generales de ARAUCO

Celulosa Arauco y Constitución S.A (en adelante Arauco), es una sociedad anónima que nace a partir de la fusión de Celulosa Arauco S.A. y Celulosa Constitución S.A. en 1979, empresas pertenecientes a la Corporación de Fomento de la Producción (CORFO), creadas para aprovechar los recursos forestales y crear nuevos empleos, esta corporación privatiza ambas empresas en 1977 y 1979 respectivamente.

Arauco es una empresa que cuenta con cinco negocios actualmente: Celulosa, Forestal, Energía, Paneles y Maderas.

Misión (Celulosa Arauco y Constitución S.A., 2018)

Contribuir a mejorar la vida de las personas, desarrollando productos forestales para los desafíos de un mundo sostenible.

- ✓ Producimos y gestionamos recursos forestales renovables.
- ✓ Somos una empresa global que hace suyos los desafíos de estar presente en el mundo.
- ✓ Creamos productos que mejoran la vida de las personas.

Valores (Celulosa Arauco y Constitución S.A., 2018)

- ✓ Seguridad: Siempre lo primero.
- ✓ Compromiso: Trabajamos con pasión.
- ✓ Excelencia e innovación: Queremos ser mejores.



- ✓ Trabajo en equipo: Juntos somos más.
- ✓ Buen ciudadano: Respetamos el entorno y creamos valor.

Áreas Asociadas

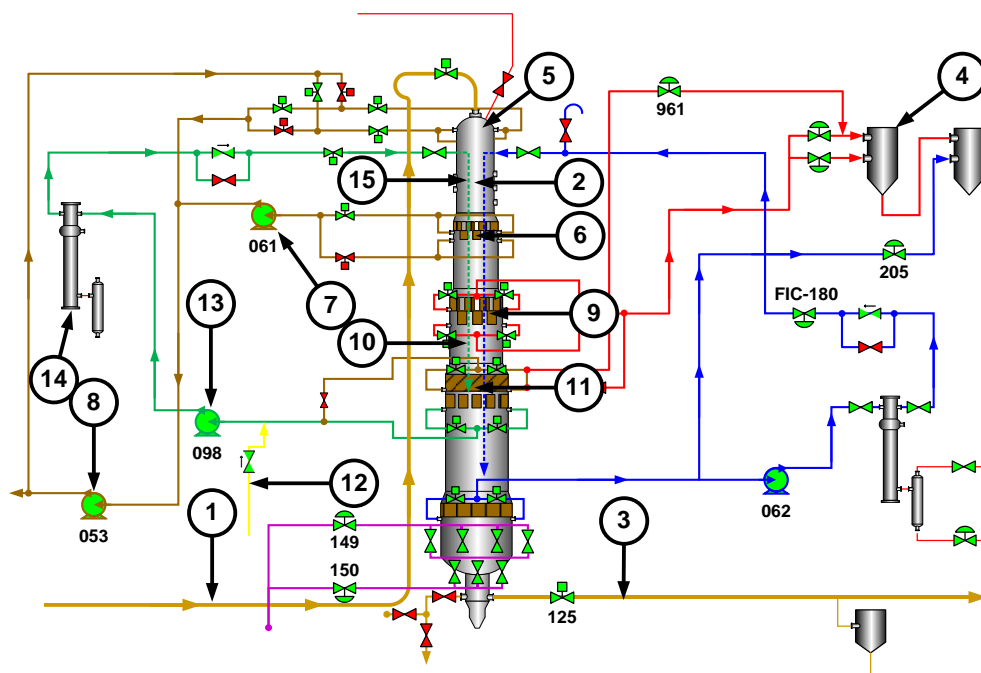
El proyecto fue realizado en el área de Fibra línea 2 de Celulosa Arauco, Planta Arauco, en la Superintendencia de Confiabilidad. Es decir, se consideran dos áreas:

- **Superintendencia de Confiabilidad:** Nace el 18 de Diciembre de 2017, como una unidad que depende de la Subgerencia de Mantenimiento por la necesidad de implementar una estrategia de competitividad sustentable, basada en reducción de costos e incremento de disponibilidad.
- **Digestor:** Es un área que tiene como equipo principal un digestor continuo con el propósito de realizar la cocción de astillas a una concentración de álcali constante y bajo condiciones de presión/temperatura requerida (MR Projets Ltda., 2012). De esta manera logra separar las fibras de celulosa de la lignina.

1.2 Análisis de la situación actual

Dentro de la industria de la celulosa a nivel mundial, se encuentra Arauco en el lugar número 2 de producción de pulpa, justo después de Fibria S.A. (Matthis, 2019) posee 5 plantas productivas en Chile, una en Uruguay y otra en Argentina; Cada planta productiva posee un funcionamiento similar, sin embargo, no posee exactamente los mismos equipos. Particularmente, en planta Arauco (Horcones, Región del Biobío) el centro fundamental de la producción de celulosa es el digestor continuo, donde se lleva a cabo la cocción de astillas con la finalidad de realizar la separación de las fibras de celulosa de la lignina. El proceso comienza con el

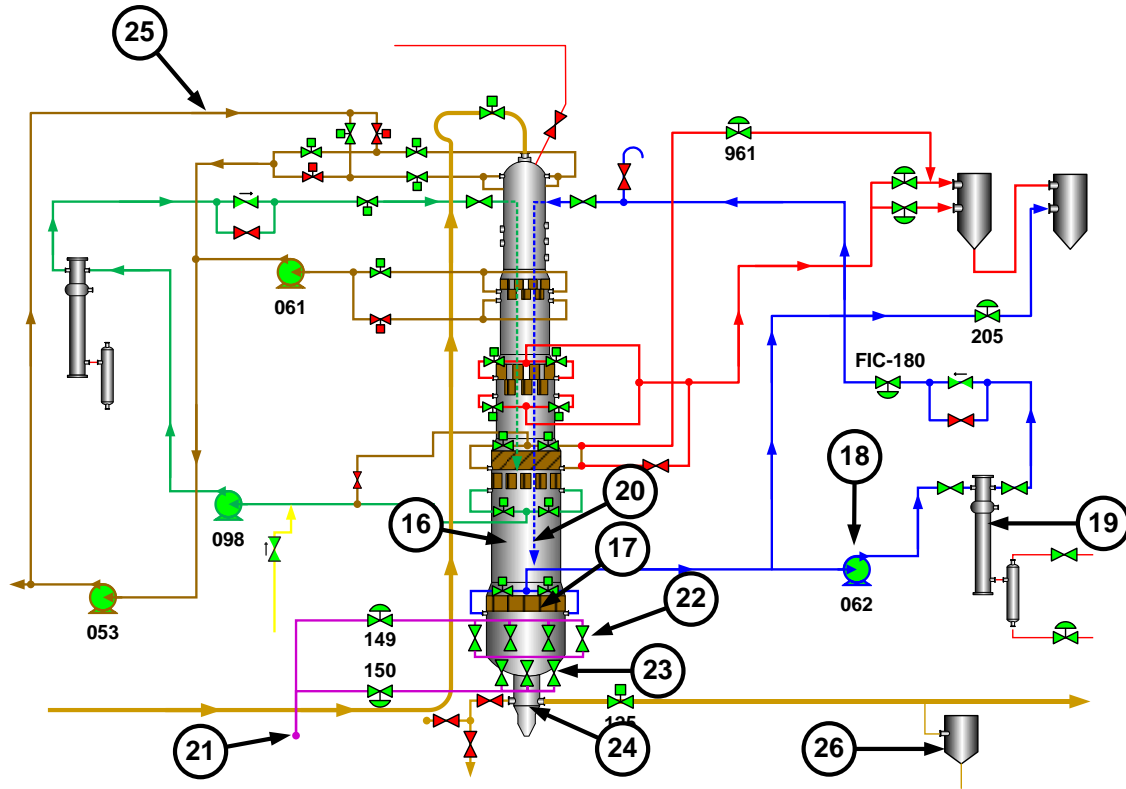
ingreso de astillas a la parte superior del digestor pasando por la primera zona de extracción de licor que es enviada a los calentadores, luego pasa a la malla de extracción de ajuste donde se extrae licor y se ajusta el perfil de concentración y temperatura, la segunda malla es de extracción de licor a ciclones, lugar donde se extrae licor y se envía a los ciclones de flasheo que separan el licor de los vahos, la siguiente malla es extracción MCC (Cocción continua modificada), extrae licor y lo envía a un calentador MCC, finalmente pasa por la malla extracción lavado que extrae licor al calentador de lavado, el proceso se ve en las imágenes 1 y 2.



- | | |
|--|--|
| 1. Alimentación | 9. Malla de Extracción de Licor a Ciclones (2 anillos) |
| 2. Digestor Continuo | 10. Zona de Cocción en Contracorriente |
| 3. Descarga | 11. Malla de Extracción MCC (2 anillos) |
| 4. Ciclón de Flasheo (3) | 12. Línea de Licor Blanco |
| 5. Malla de Desgase | 13. Bomba de Circulación MCC |
| 6. Malla de Extracción de Ajuste (2 anillos) | 14. Calentador de Licor MCC |
| 7. Bomba de Circulación de Ajuste | 15. Alimentación de Licor MCC |
| 8. Bomba de Circulación de Transferencia | |

Imagen 1: Digestor continuo y equipos accesorios I

Fuente: Manual de Digestor continuo, Celulosa Arauco y Constitución S.A



- | | |
|---------------------------------------|--|
| 16. Zona de Lavado | 22. Boquillas Horizontales |
| 17. Malla de Extracción de Lavado | 23. Boquillas Verticales |
| 18. Bomba de Circulación de Lavado | 24. Equipo de Descarga |
| 19. Calentador de Licor de Lavado | 25. Línea de Retorno de la Bomba de Circulación de Transferencia |
| 20. Línea de Licor de Lavado Caliente | 26. Muestrero |
| 21. Línea de Licor de Lavado | |

Imagen 2: Digestor continuo y equipos accesorios II

Fuente: Manual de Digestor continuo, Celulosa Arauco y Constitución S.A

En todo este proceso descrito se han identificado problemas relacionados con fallas por falta de inspecciones rutinarias de calidad, falta de información (documentos) en mantenciones mayores, entre otros. Si bien, digestor no posee una alta tasa de fallas, pero cuando ocurre una, los costos son de los más elevados por su



complejidad, pues requiere mantener sus equipos accesorios funcionando para producir, además una falla puede provocar la detención del área o la línea completa (áreas de digestor, lavado, blanqueo, química) generando un impacto negativo en:

- ✓ Seguridad de las personas: Riesgo de accidente si ocurre un evento y está en el área, y durante los trabajos, dado que siempre hay riesgos cuando se realizan las mantenciones correctivas.
- ✓ Medio ambiente: Riesgo para el medio ambiente asociado a fugas y derrames.
- ✓ Producción: Disminuye o se detiene por completo el ritmo de producción, dependiendo la gravedad de la falla.

El resumen del proceso productivo de celulosa fibra línea dos, se detalla en el anexo 1, y en el anexo 2 se encuentra una ilustración de digestor continuo fibra línea dos.

En el transcurso del tiempo, el mantenimiento ha pasado por distintas etapas, que según (Moubray, 1997) se pueden enmarcar en tres períodos principalmente: Primera generación propone reparaciones a la falla dado que los equipos eran simples y fáciles de reparar. Segunda generación, dada la situación vivida por la segunda guerra mundial, el mantenimiento cambia por aumento de la demanda de los bienes y el número de trabajadores se reducía. Por lo que aumentan la cantidad y complejidad de las máquinas y cambian su mantenimiento a preventivo, porque las fallas podían y debían prevenirse, pero como los costos de esta mantención fueron aumentando se crea el “sistema de planeamiento y control del mantenimiento” para mantener los costos regulados y de esta forma aumentar la

disponibilidad de los equipos en planta. Tercera generación hace énfasis en la confiabilidad y disponibilidad de los equipos buscando tener mayor seguridad, mejora calidad, no dañar el medio ambiente, mayor costo-beneficio entre otros. Surgen nuevas investigaciones que apuntan a que los trabajos se ejecuten correctamente y planearlos de tal forma que se hagan los que deban hacerse en el momento correcto (antes que se generen fallas funcionales) y en cuanto a las nuevas técnicas, la organización debe decidir cuales son las que valen la pena aplicar en su organización y realizar mantenimiento “a condición”, monitoreando los equipos críticos para prevenir las fallas. El diseño de los equipos debe hacer énfasis en la confiabilidad y facilidad para mantenerlos. En este punto es donde se reconoce la importancia de aplicar RCM en las industrias porque es una herramienta que determina la cantidad de tareas mínimas que deben realizarse y que estas sean las mejores para que el equipo siga cumpliendo su función. En la imagen 3 se pueden ver los cambios que han ocurrido en el mantenimiento de forma más resumida.

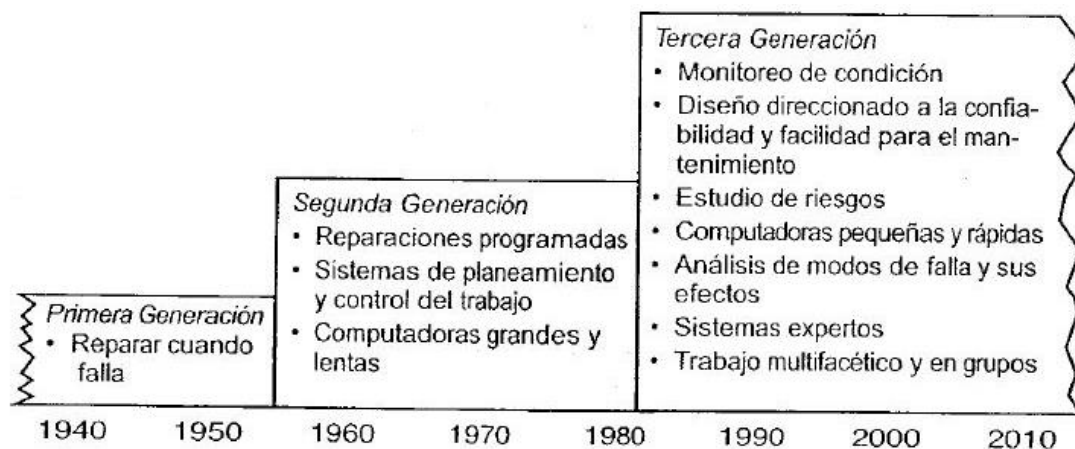


Imagen 3: Evolución del mantenimiento

Fuente: (Moubray, 1997)

Arauco busca alcanzar un mantenimiento de clase mundial, pero para ello debe pasar por las distintas etapas, actualmente está en etapa 4 (Ver imagen 4) con ingenieros de confiabilidad, comenzando a implementar la estrategia RCM que va de la mano de AMFE porque comprenden la importancia de tener un buen mantenimiento, ya que esto aumenta, en resumen, la confiabilidad de los equipos.

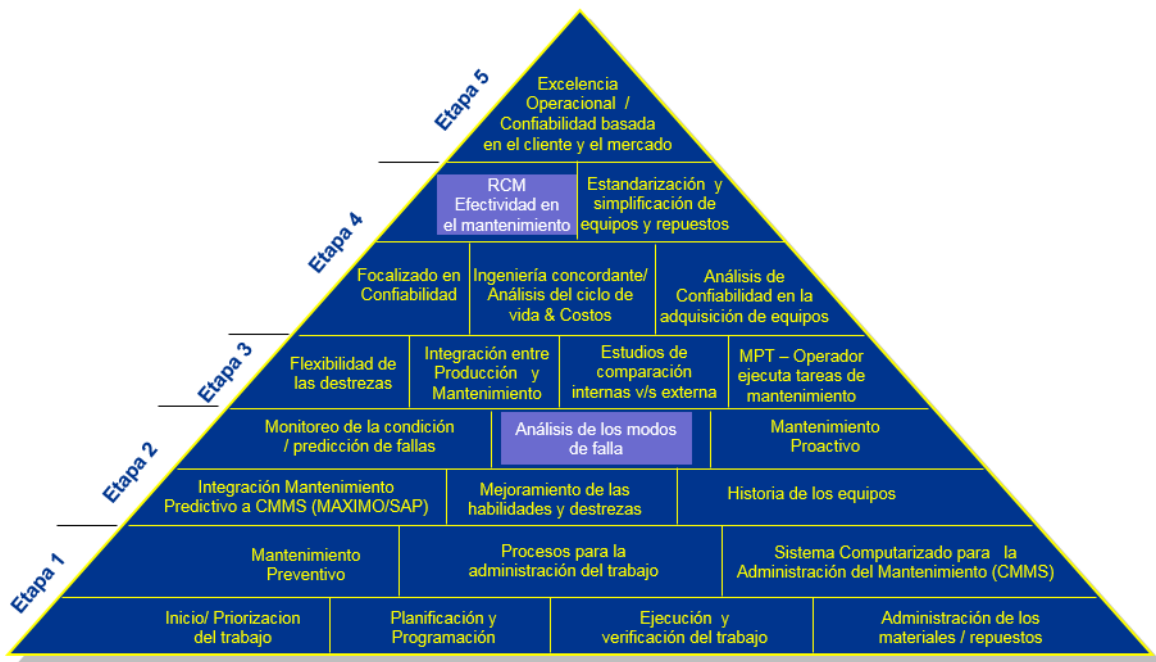


Imagen 4: Pirámide del mantenimiento

Fuente: Manual de mantenimiento. Ingeniería, gestión y organización. A. Pistarelli

Digestor tiene una capacidad de producción anual de 500.000 ADT³ aproximadamente, línea 2 (área de digestor continuo) opera con pino radiata. Para producir dicha cantidad de celulosa se requiere un uso de digestor de 8.760 Horas aprox. La cantidad de personal de planta que trabaja en el área de digestor es de

³ Air Dry Ton, que traducido es, Toneladas secas al aire.



43 operadores y mantenedores aproximadamente, esto porque hay personal de apoyo en ciertos periodos.

Los equipos accesorios de digestor son: Bombas, Válvulas, Estanques de flash, Calentadores, Transmisores, Unidad de lubricación forzada, entre otros.

Aumentar la confiabilidad de los equipos es importante dado que, “Existió una involución sostenida en el tiempo, por la aplicación de una estrategia basada solo en el costo, sin considerar el riesgo, por un periodo demasiado largo, lo que generó una progresiva pérdida de confiabilidad” (Confiabilidad, 2019). Es decir, se genera una baja eficiencia del sistema, porque predomina la mantención correctiva o a la falla, lo cual finalmente produce costos más elevados.

1.3 Objetivos.

Objetivo General.

- Proponer un plan estratégico de mantenimiento a digestor continuo basado en la metodología RCM y AMFE.

Objetivos Específicos.

- Establecer la situación actual del proceso de digestor continuo y sus equipos accesorios.
- Definir las acciones que mitiguen o eliminen el impacto para cada uno de los modos de fallas analizados.
- Generar y actualizar planes de mantención en SAP.



Capítulo 2: Metodología

El proyecto se planificó en tres etapas donde fueron utilizadas dos metodologías de mantenimiento:

- i. **RCM** simplificado, con el objetivo de bajar la utilización de HH especializadas de Planta en su implementación.

RCM tiene sus inicios a partir del primer estudio realizado por F.S. Nowlan and H.F Heap y publicado por el Departamento de Defensa de U.S. en 1978 para mejorar la confiabilidad y seguridad de sus equipos, donde describieron procesos innovadores y actuales, usados por las aerolíneas quienes comprendieron que su mantenimiento era costoso y peligrosos, por lo que tomando como base dicho estudio, se ha mejorado ampliamente hasta convertirse en lo hoy conocido como RCM y que se describe con más detalle en el Libro de Jhon Moubray en 1997.

Arauco implementa el método disminuyendo las sesiones de taller con expertos a tres y para el desarrollo del proyecto trabaja un ingeniero de confiabilidad, un mecánico experto y una memorista de ingeniería.

En el análisis de RCM es necesario responder (implícitamente) a 7 preguntas básicas: (Moubray, 1997)

1. ¿Cuáles son las funciones y los parámetros de funcionamiento asociados al activo en su actual contexto operacional?
2. ¿De qué manera falla en satisfacer dichas funciones?
3. ¿Cuál es la causa de cada falla funcional?



4. ¿Qué sucede cuando ocurre cada falla?
5. ¿En qué sentido es importante cada falla?
6. ¿Qué puede hacerse para prevenir o predecir cada falla?
7. ¿Qué debe hacerse si no se encuentra una tarea proactiva adecuada?

Para dar respuesta a estas preguntas, RCM propone realizar un análisis sistemático de cada modo de falla lo cual es la base de lo que es aplicado en la empresa. En el Capítulo 3 serán detallados los resultados del proceso.

Mantenimiento y Mantenimiento Centrado en Confiabilidad. (Moubray, 1997)

- Mantenimiento: Asegurar que los activos físicos continúen haciendo lo que sus usuarios quieren que hagan.
 - Mantenimiento Centrado en Confiabilidad: Proceso que determina lo qué se debe hacer para asegurar que cualquier activo físico continúe haciendo lo que sus usuarios quieren que haga en su contexto operacional actual.
- ii. **AMFE**, para identificar los modos de fallas y efectos al sistema.

Forma parte fundamental en el desarrollo de un análisis de RCM. Según (Moubray, 1997) “Un modo de falla es cualquier evento que causa una falla funcional” y “Los efectos de la falla describen qué pasa cuando ocurre un modo de falla”.

La planilla de información que se debe completar considera los ítems de Función del equipo, Falla funcional (qué deja de hacer el equipo), Modo de Falla (qué



causa la falla), Severidad (S, ver anexo 3), Ocurrencia (O, ver anexo 4), Capacidad de detección (D, ver anexo 5), Número ponderado de riesgo (NPR, Resulta de la multiplicación de $S \cdot O \cdot D$).

Las fuentes de información aceptables para AMFE son tres:

- ✓ Fabricante o proveedor del equipo: En ocasiones se le pide al proveedor que determine una tasa de falla, sin embargo, esto siempre depende de las condiciones en las que debe realizar la función el equipo.
- ✓ Listas genéricas de modos de falla: En este caso es la información de las OT las que dan cuenta de las frecuencias de las fallas.
- ✓ Personas que operan y mantienen los equipos: De acuerdo a lo planteado por (Moubray, 1997) son ellos la mejor fuente de información, pues día a día operan y mantienen los equipos, por ende, conocen el detalle de su funcionamiento y en caso de no saber algo son los más adecuados para investigar lo que no conocen. Arauco toma esta fuente como la principal.

Es necesario hacer énfasis y plantear muy bien los Modos de fallas de los equipos y cómo afecta su funcionalidad pues es un elemento importante para las siguientes etapas que definen el tipo de mantenimiento, la mejor acción posible para mitigar o eliminar el fallo, frecuencias, etc. Para de esta manera finalizar con planes estructurados que aumenten la confiabilidad de los equipos.

En la imagen 5 e imagen 6 se muestra un extracto de la planilla en la cual se utilizaron las metodologías antes expuestas.

Nombre UT	Función del Equipo	Componente (según modo de falla)	Modo de falla del equipo	Falla funcional del equipo	Severidad de falla	Probabilidad de falla en ausencia de planes	Detección de falla en ausencia de planes	Número ponderado de riesgo calculado
CUERPO VÁLVULA	Controlar variable de proceso / aislar equipo / contener producto	CUERPO VÁLVULA	Obstrucción en cuerpo válvula con elemento extraño	No controla/ no aísla / fuga	4	2	2	16
FILTRO LICOR NEGRO DIGESTOR L2	Retirar (Filtrar) los contaminantes presentes en el licor negro.	CORREA DE TRANSMISIÓN	Corte en correa de transmisión por alta carga por sellamiento de	No filtra el licor	2	3	5	30

Imagen 5: Extracto planilla RCM I

Fuente: Elaboración propias

Estrategia de mantenimiento	Tarea propuesta	Frecuencia de tarea	NOMBRE PLAN	Ejecutor
Mantenimiento por condición	Inspección de válvula	Una vez / 5 Años	260S Mant. PGP Válvulas	instrumentista
Mantenimiento por condición	Revisar variables de proceso (Presiones, flujo, temperatura)	Una vez / Turno	NO APLICA USO DE PLAN	operaciones

Imagen 6: Extracto planilla RCM II

Fuente: Elaboración propias

Curva de Weibull

Esta curva es conocida como la curva de la bañera por su forma, aquí se muestra que en el inicio de la vida del equipo sucede la denominada “Mortalidad infantil”, donde se registra una alta tasa de falla pero que disminuye rápidamente, algunos motivos puede ser la inexperiencia de quienes son los encargados de operar, no se conoce el procedimiento o el diseño tiene errores. Luego de ese período viene uno llamado “Fallas aleatorias”, los errores son con una baja frecuencia y sin grandes intervenciones, estos se pueden originar por las condiciones en las que se encuentra expuesto el equipo, errores humanos, eventos fortuitos u otros.



Finalmente está la etapa de “Desgaste”, las fallas comienzan a ir en aumento sostenido por el desgaste natural del equipo.

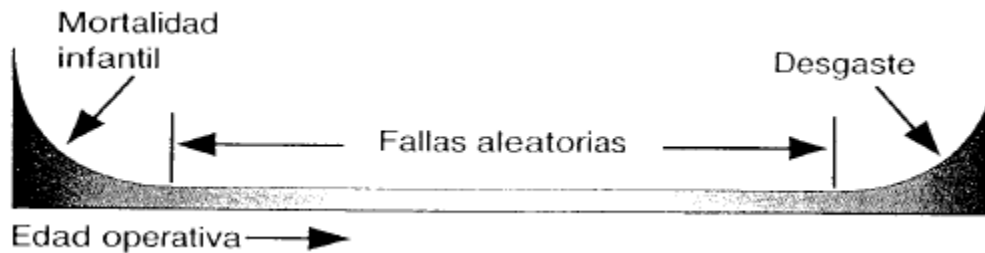


Imagen 7: Curva de la bañera

Fuente: John Moubray, RCM II

Intervalo P-F

El intervalo P-F identificable, dice relación con el período de desarrollo de la falla funcional, esto es importante cuando se propone la mejor acción y el tipo de mantenimiento que se realizará, porque generalmente se busca realizar planes que tengan una estrategia de mantenimiento a condición, esto porque se busca una condición que alerte de alguna falla, por lo que la frecuencia con la que se realiza la tarea debe ser menor a dicho intervalo. En la Imagen 7 se puede visualizar con claridad el intervalo que se hace referencia.

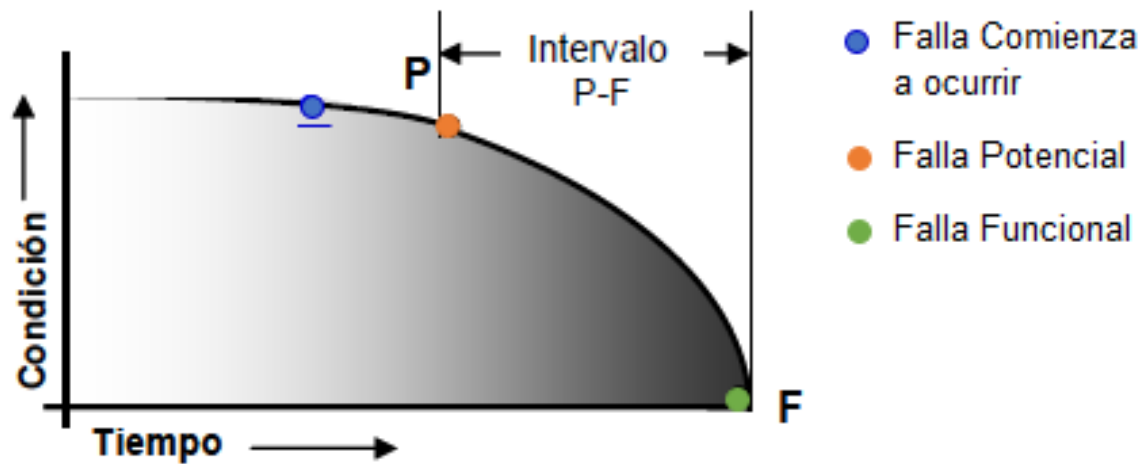


Imagen 8: Intervalos P-F

Fuente: Elaboración propia (Adaptado de Norma Internacional SAE JA1012)

Recapitulando, se tiene que RCM es una metodología que permite un análisis ordenado y tiene como propósito optimizar y/o mejorar los planes preventivos, AMFE estudia los modos de fallas de acuerdo a los parámetros que propone para encontrar la mejor acción de mitigación o eliminación de cada modo de falla, para esto es necesario complementar con las herramientas de “Curva de la bañera” porque estudia el ciclo de vida de los activos y finalmente, Intervalo PF que estudia los tiempos de falla, entre falla, y cuando ocurre la falla funcional. Todo esto en conjunto encuentra las acciones y frecuencias de realización para permitir que el activo no deje de cumplir su función y crear así los planes preventivos que mejor se adecúen a la realidad de los equipos y empresa considerando la relación beneficio - costo.

Las etapas definidas se muestran en la Imagen 3:

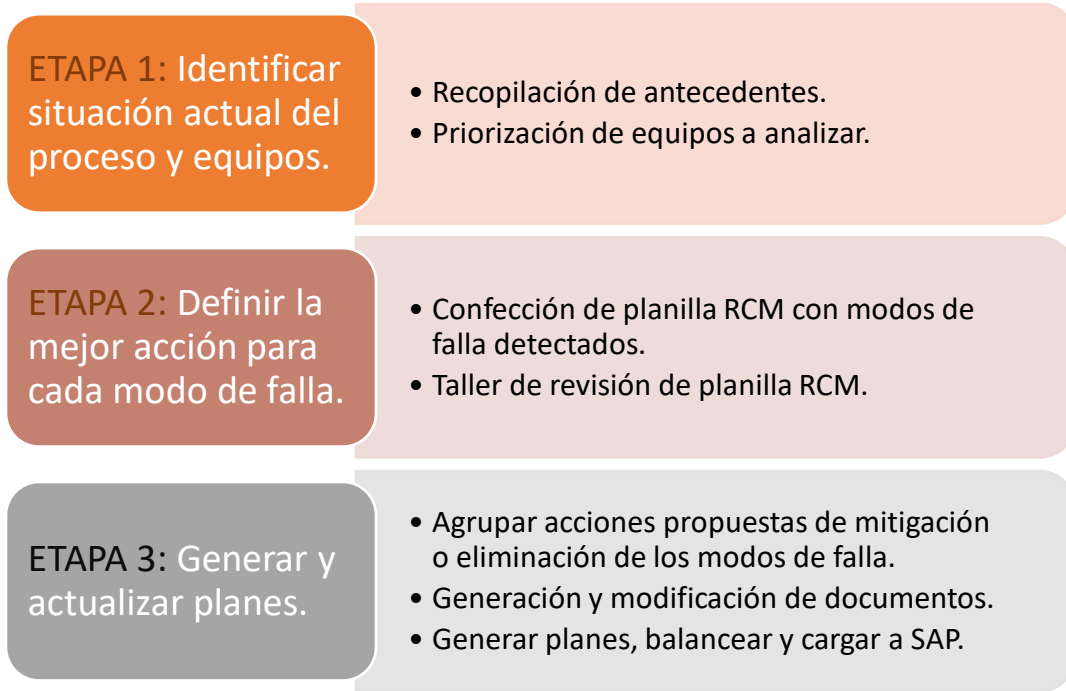


Imagen 9: Etapas de desarrollo RCM.

Fuente: Elaboración propia

2.1 Etapa 1: Identificar situación actual del proceso y equipos.

Recopilación de antecedentes

Para comprender el funcionamiento de digestor continuo, las distintas etapas que posee, sus equipos accesorios y componentes, se recopiló información que luego se complementó con la experiencia de quienes lo operan, esto fue descrito en el capítulo 1 de este informe. Además, se analizaron los resultados del estudio realizado por la empresa que concluyó la necesidad de realizar un análisis basado en RCM a digestor por los altos costos y consecuencias de una falla.

En promedio cada año Arauco invierte 180.000 USD por intervenciones en digestor continuo, y alrededor de 1.000 USD anuales en equipos accesorios. En el gráfico 1 se muestra el resultado del estudio realizado donde se visualiza en el eje “X”, número de intervenciones y, en el eje “Y” Costo promedio por intervención (USD):

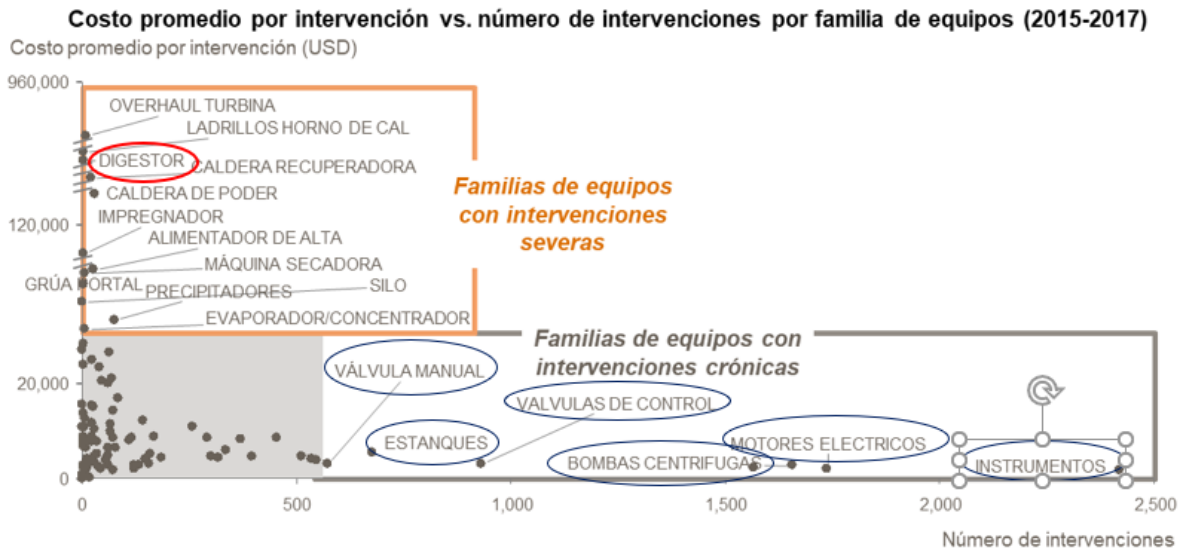


Gráfico 1: Estudio de costos de intervención

Fuente: Presentación SI Confiabilidad Celulosa Arauco

Priorización de equipos a analizar.

Para una priorización de equipos teórica se necesita considerar al menos:

Diagrama de Pareto: Con fallas históricas de acuerdo con la información que posee el sistema del 20% de los equipos que fallan con más frecuencia, dado que analizarlos todos significa un gasto mucho mayor para la empresa en HH y dinero.

Sin embargo, en este caso en la priorización se consideraron dos pilares:

- ✓ Información entregada por la empresa de SAP con las Órdenes de Trabajo (OT) que dan cuenta de los avisos de fallas, mantenencias históricas y costos.



- ✓ Experiencia del personal a cargo de operar y mantener el equipo. Esto porque ellos conocen la criticidad de los equipos y su funcionamiento al detalle.

2.2 Etapa 2: Definir la mejor acción para cada modo de falla.

Confección de planilla RCM con modos de falla.

Se definieron campos que para un análisis sistemático y ordenado. Algunos son:

- ✓ Función: Estándar de funcionamiento mínimo del activo que el usuario está dispuesto a aceptar dentro del contexto operacional en el que va a ser utilizado.
- ✓ Falla funcional: Capacidad de cualquier activo físico de cumplir una función según un parámetro de funcionamiento aceptable para el usuario.
- ✓ Modo de falla: Cualquier evento probable que causa una falla funcional.
- ✓ Estrategia de mantención: Hay tres tipos de mantenciones que se utilizarán:
 - Mantención por condición: Se mide, compara o inspecciona con el objetivo de buscar algo que puede estar fuera de la norma.
 - Mantención correctiva: Se realiza cuando el equipo ya falló, no afecta la producción, posee costo medio.
 - Mantención preventiva: Se realizan cambios cíclicos sin esperar una condición para de esa forma prevenir los modos de falla. (equipos críticos)
- ✓ Cabecera OT: Nombre de la agrupación de tareas por frecuencia, acciones propuestas y nombre del plan preventivo.
- ✓ Acciones propuestas: Fueron analizadas con el equipo de trabajo dedicado a RCM y personal experto que apoyó cuando fue requerido en diferentes sesiones



de trabajo. Éstas fueron realizadas por áreas, es decir cuando se revisaron las acciones por área, se solicitó personal del área a analizar para determinar este ítem, de modo que la experiencia de los operadores y mantenedores fue la principal fuente de información confiable que la empresa decidió utilizar.

Algunas acciones que mitigan o eliminan modos de fallas son:

- Inspección de equipos: Considerando una frecuencia y calidad. Para ello se revisaron las rutas de inspección de las áreas asociadas, encontrando un déficit en las rutas mecánicas dado que no se cumplían o se hacían en poco tiempo por lo que fue necesario realizar una mejora.
1. Se revisaron las rutas que estaban establecidas las cuales tenían algunas deficiencias que dieron cuenta de la necesidad de una mejora, las cuales son:
 - i. Las rutas tenían alrededor de 30 equipos cada una y con una frecuencia de inspección de 1 semana.
 - ii. El estándar dice que los equipos rotatorios requieren 7 minutos para ser inspeccionados, lo que no se ajusta a la realidad porque no se alcanzan a revisar 30 equipos en una ruta semanal con una buena calidad, dado que eso requiere 21 HH y las realizaban en 2 hrs diarias en los 5 días, es decir ocupaban 10 HH aproximadamente.
 - iii. La Pauta de Ruta de mantenimiento sólo contaba con la ubicación técnica (UT) antigua de los equipos, (Las UT fueron modificadas y actualizada hace aproximadamente 1 año) y un campo “observación” (Ver Anexo 6)



- iv. Combinaban tipos de equipos, es decir, en una misma ruta había estanques, soportes, equipos rotatorios y extractores.
- v. Existían áreas combinadas (Blanqueo con área química) porque históricamente siempre fue así.
- vi. El personal cargaba peso extra en sus rutas porque debían llevar siempre todos los elementos de protección personal (EPP), por ejemplo, para inspeccionar estanques se necesita arnés, para unidades hidráulicas lámpara estroboscópica, etc. lo que desmotivaba al personal y hacía poco eficientes las inspecciones.

Algunas ventajas de esta forma de trabajo son:

- i. Fácil administración de la ejecución de las rutas por ser pocas y ya poseer el hábito de revisar ciertos equipos en días determinados.
2. En conjunto con el personal experto se analizaron las antigua rutas de la siguiente manera:
- i. División de los equipos por área (separando blanqueo de área química) y con una duración de 150 min aprox. por ruta. Esta división principalmente fue dada por la ubicación de los equipos en terreno para seguir un orden lógico en la práctica.
 - ii. Frecuencias de inspección según el tipo de equipo.
 - iii. Se quitan de las rutas mecánicas las unidades hidráulicas (UH) dado que existe un contrato con una empresa externa para mantener esos equipos.



Otras acciones de mejora son:

- Revisar variables: Aquellas que se pueden controlar en operaciones o a través de las herramientas que poseen en planta como “Wedge” que es un programa que recopila datos históricos y entrega en un análisis estadístico de ellos.
- Limpieza de equipos: Esta acción se realiza en las rutas de inspección semanales de las diferentes áreas para evitar deterioro de los equipos por un factor que es completamente controlable.
- Procedimientos: Documentos que indiquen la forma adecuada como realizar un trabajo, por ejemplo: manuales de equipos, instructivos específicos, etc. Que permitan entregar las herramientas necesarias a los mantenedores para obtener un resultado de calidad.

Las acciones propuestas se clasifican en:

- Cíclicas: Planes de mantenimiento con frecuencias establecidas.
- No cíclicas: Cubiertas a la falla o con documentos como manuales y procedimientos que permitan realizar los trabajos de una manera adecuada y estandarizada.

Taller de revisión de planilla RCM

Algunos de los ítems fueron revisados y validados en los talleres con los jefes de áreas, operadores y mantenedores expertos:

- ✓ Frecuencia: Se relaciona con la tarea propuesta y cada cuánto tiempo es necesario realizarla para lograr el resultado deseado (mitigar o eliminar falla)



- ✓ Puesto de Trabajo Responsable: Área a cargo de realizar la acción propuesta.
- ✓ Ejecutor: Trabajadores del área o jefe.
- ✓ Oportunidad de ejecución: En servicio (E/S), Parada general de las áreas (PGP), No aplica uso de plan (N/A).

2.3 Etapa 3: Generar y actualizar planes.

Agrupar acciones propuestas de mitigación o eliminación de los modos de falla.

Agrupar las acciones para formar paquetes de información tiene relación con variables descritas anteriormente, por lo que en esta etapa se recopila la información y se busca que los equipos y acciones propuestas generen el mejor plan preventivo que permita aumentar la confiabilidad del equipo y reducir o eliminar las fallas que se describieron. Las acciones se agrupan en tres ítems.

- Planes preventivos: Acciones cíclicas estructuradas en SAP por ubicación técnica (Planes Individuales) o grupo de equipos (Rutas de Inspección).
- Hoja de Ruta en SAP: Define las tareas de recuperación, equipo y materiales a usar en tareas no cíclicas, por ejemplo, cambiar un equipo a la falla.
- Documentos: Procedimientos que definen el modo correcto de realizar una actividad.

Generación y modificación de documentos.

Hay una cantidad de modos de fallas que no pueden ser cubiertos con mantenciones porque están asociados a la forma en que se realizan ciertas



actividades y deben ser cubiertos con documentos que aseguran que las tareas son ejecutadas siempre del modo correcto.

- Especificación Técnica (EETT): Este documento indica la descripción general del servicio que se solicita, personal requerido, equipos a intervenir, materiales y suministros necesarios, programación del trabajo, documentos requeridos para ejecutar el trabajo, en general es un tipo de contrato para las empresas contratistas que se requieren (Ver anexo 7).
- Pauta de Trabajo Mantenición (PTM): Es el documento que detalla la forma en que se debe realizar un trabajo. Contiene ubicación técnica de los equipos, información del tipo de equipo, plan técnico que debe seguir desde los preparativos para intervenir hasta la entrega del equipo, planos, fotos, plan de seguridad y una pauta de trabajo. Mientras más detallado es mejor, porque se busca que cualquiera que realice el trabajo lo haga con la misma calidad o similar (Ver anexo 8).
- Pauta de Ruta Mantenimiento (PRM): Documento con el cual los técnicos deben ir a terreno al momento de realizar una inspección de los diferentes equipos (Ver anexo 9).
- Check List Recepción (CLR): Documento que contiene un listado con hitos relevantes que debe completar el encargado de realizar el trabajo a cualquier equipo en planta (Ver anexo 10).



- Hoja Trabajo Estándar (HTE): Documento que describe un estándar de trabajo para trabajos rutinarios dentro de la planta, como engrases de bomba, cambio de aceite, procedimientos de inspección, entre otros (Ver anexo 11).

Generar planes, balancear y cargar a SAP.

- Clase de orden: Rutas de inspección (ZPP), Parada de área (ZPL).
- Plan Preventivo (PP): Número asignado en SAP para el plan creado.
- Posición Plan: Número de posición en SAP.
- Hoja de Ruta: Número de hoja de ruta asignado por SAP, que describe las acciones a seguir en el plan.



Capítulo 3: Resultados y discusión

3.1 Etapa 1: Identificar situación actual del proceso y equipos.

Priorización de equipos a analizar.

Del análisis y requerimientos directo de la empresa, se obtuvo un total de 86 equipos que presentaron las mayores frecuencias y costos en términos de intervenciones por fallas. Las familias de equipos las podemos categorizar en: Digestor Continuo, Válvulas, Unidad de lubricación forzada, Transmisores, Trampas de licor, Estanques, Manómetro, Filtro licor negro, Enfriadores de licor, Calentadores de licor y Bombas. De manera desagregada se presentan en el anexo 12.



Imagen 10: Válvula manual

Fuente: Celulosa Arauco y Constitución S.A., Planta Arauco



Imagen 11: Equipo rotatorio

Fuente: Celulosa Arauco y Constitución S.A., Planta Arauco



3.2 Etapa 2: Definir la mejor acción para cada modo de falla.

- ✓ Fallas Funcionales: Los equipos cumplen distintas funciones y, por ende, las fallas funcionales igual son diferentes. Las más frecuentes de los equipos analizados son tres:
- No controla / No aísla / Fuga, es asociada a todas las válvulas, ya sean automáticas o manuales, las que representan el 54,4% de todas las fallas funcionales.
 - No controla/mide variable o fuga, las que son asociadas a los transmisores de las válvulas automáticas. Son el 18,4% de las fallas funcionales.
 - No aísla / Fuga: Una falla en las válvulas asociadas a los equipos como bombas, trampas de vapor, estanques y digestor continuo pueden provocar la detención de estos equipos. Estas fallas funcionales son el 9,3% del total de ellas.
 - No impulsa agua: Esta falla se asocia a todas las bombas analizadas y se provoca por un fallo en una de sus componentes como acoplamiento, sello mecánico, empaquetaduras, entre otras. Esta falla representa el 7,1% de las fallas funcionales identificadas.

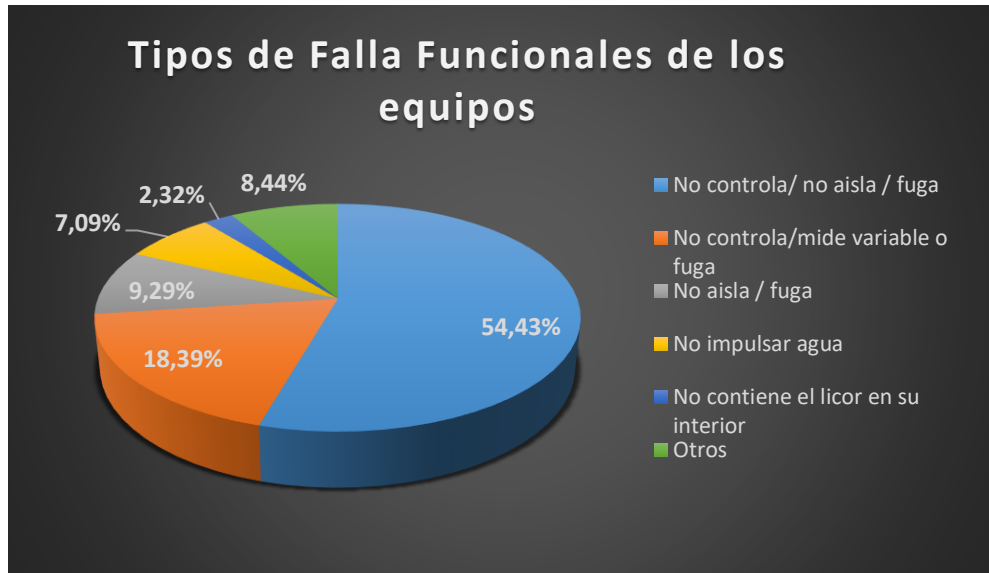


Gráfico 2: Tipos de fallas funcionales de los equipos

Fuente: Elaboración propia

- ✓ Modos de Falla: Resultaron un total de 364 diferentes tipos de modos de falla. Se seleccionaron algunos de los más frecuentes para ejemplificar el trabajo realizado, esto se puede ver en la Tabla 1.

Modos de falla
Fuga/filtración en unión con proceso por daño en elementos de fijación (pernos) por corrosión por uso
Fuga/filtración en unión con proceso por daño en empaquetadura por uso
Fuga/filtración en unión con proceso por error de montaje (torque, empaquetadura, norma de conexión a proceso, material)
Obstrucción en cuerpo válvula por uso
Daño en cable por contacto con agente externo (licor, fuego, soldadura)
Resorte actuador dañado por error de montaje
Obstrucción en cuerpo válvula con elemento extraño
Falla relé/spool posicionador por uso
Eje accionamiento desacoplado por vibraciones en línea de proceso por ajuste operacional
Obturador con desgaste (válvula no sella) por uso
Medición incorrecta por cable dañado/cortado por contacto con agente externo (licor, fuego, soldadura)
Medición incorrecta por daño sensor por operar fuera de rango (se exceden las condiciones de diseño del equipo)

Tabla 1: Ejemplos de modos de falla frecuentes

Fuente: Elaboración propia



Cada modo de falla se analiza usando la herramienta propuesta por AMFE según: Severidad (Ver anexo 3), Ocurrencia (Ver anexo 4) y Detección de la falla (Ver anexo 5). Se obtiene el indicador “NPR” a través de una multiplicación de los puntajes asignados a cada factor. En el anexo 13 se presenta parte de la planilla en la cual se aprecia el indicador que permitió buscar las estrategias de mantención y acciones de mitigación o eliminación de los modos de fallas.

Las tres ocurrencias de fallas más frecuentes se detallan en la tabla 2.

Ocurrencia	Cantidad
Falla ocurre a cada 2 años	2036
Falla ocurre a cada año	775
Falla ocurre a cada 5 años	184

Tabla 2: Ocurrencias de fallas más frecuentes

Fuente: Elaboración propia

- ✓ Estrategia de mantención: Todos los modos de falla fueron asociados a una estrategia de mantención, las cuales fueron explicadas en el Capítulo 2. Sin embargo, cabe destacar que el 65,06% tiene un procedimiento formal que se encuentra en SAP y el 34,94% restante queda a cargo de superintendentes y personal a cargo de las áreas que deben crear/difundir/ procedimientos, capacitar personal, entre otras. En el Gráfico 3, se muestra la distribución del total de las estrategias por cada modo de falla analizado. Es importante recordar que N/A es, “No Aplica” porque se resuelven con procedimientos.

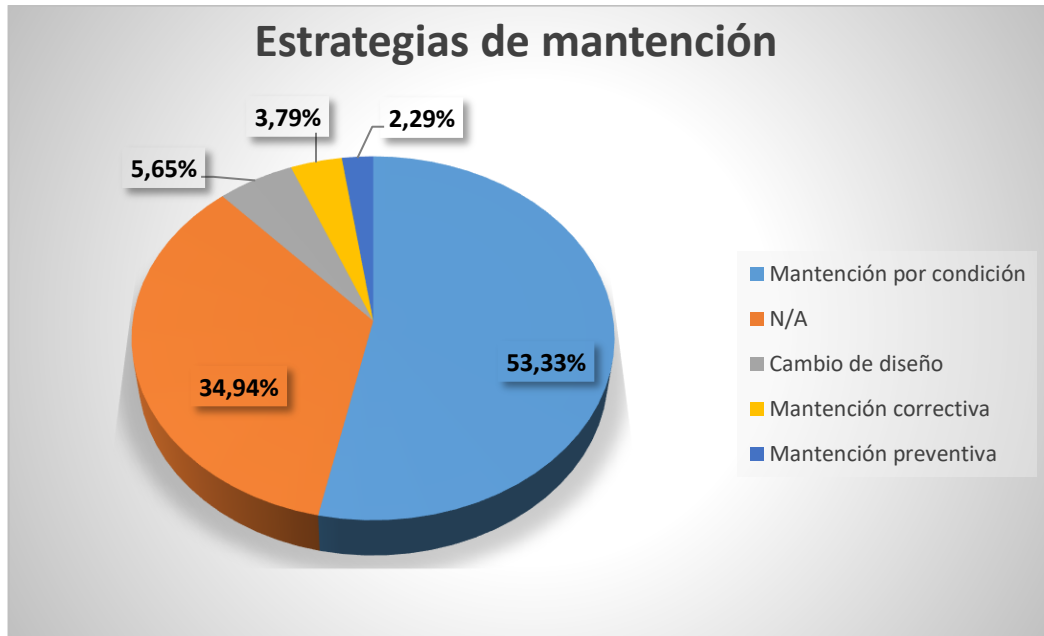


Gráfico 3: Estrategias de mantención

Fuente: Elaboración propia

- ✓ Acciones propuestas: Algunas se pueden visualizar en la tabla 4.

En cuanto a la acción “inspección equipo”, Se detallará la mejora realizada al área mecánica de fibra línea 2 con las rutas semanales.

- Se cronometró el tiempo de inspección de un mecánico para distintos equipos, los cuales se aprecian en la tabla 3.

EQUIPOS	TIEMPO (min)
Filtros	2
Extractores, Agitadores, Reductores	5
Estanques	10
Bombas/Motores	11
Correa Transportadora	40

Tabla 3: Equipos inspeccionados

Fuente: Elaboración propia



- La frecuencia de inspección de los Equipos rotatorios se definió cada 2 semanas, a excepción de los equipos críticos de digestor que se inspeccionarán con frecuencia de 1 semana, extractores cada 8 semanas y las rutas de Estanques y soportes se realizarán cada 24 semanas. Relacionando así la frecuencia de inspección con la frecuencia de falla de cada equipo.
- En promedio se programan 4 rutas por día con una duración de 10 HH diarias en total para que las realicen 4 mecánicos en una jornada laboral de 8 horas. De esta forma se liberan HH para realizar otras labores.
- Se mejora la calidad de la inspección.
- Estandarización de pauta de ruta mantenimiento de acuerdo con el nuevo formato de Arauco, incluyendo campos de revisión específicos de los modos de falla que deben tener una revisión especial, algunos de ellos se pueden ver en el anexo 11, donde muestran campos especiales para vibraciones, temperatura, corrosión, entre otros.
- Como desventaja se tiene que se aumenta de 15 rutas por semana, a 31 rutas con distintas frecuencias, esto para quien lleva el control de las rutas se puede volver engorroso. Sin embargo, se realizó una planificación de dos ciclos completos, es decir, para 48 semanas como ayuda para cuando surjan problemas y no se realice alguna ruta. La imagen 12 muestra una parte de la asignación de las rutas, estas fueron distribuidas por áreas



(241: Digestor, 247: Lavado, 246: Blanqueo, 056-256: Área Química y TK-EXT: Estanques – Extractores, por su baja frecuencia), días y semanas.

Por ejemplo: Ruta 1 del área 241, se realizará cada 2 semanas los días Jueves. Ruta crítica del área 241, todos los miércoles de cada semana debe realizarse.

	SEMANA 33	SEMANA 34	SEMANA 35
	MIÉRCOLES JUEVES VIERNES LUNES MARTES	MIÉRCOLES JUEVES VIERNES LUNES MARTES	MIÉRCOLES JUEVES VIERNES LUNES MARTES
241	RUTA CRÍTICA	RUTA CRÍTICA	RUTA CRÍTICA
247	RUTA 1 RUTA 2 RUTA 3 RUTA 4 RUTA 5		RUTA 1 RUTA 2 RUTA 3 RUTA 4 RUTA 5
246	RUTA 1 RUTA 2 RUTA 3 RUTA 4 RUTA 5		RUTA 1 RUTA 2 RUTA 3 RUTA 4 RUTA 5
256 056		RUTA 1 RUTA 2 RUTA 3 RUTA 4 RUTA 5	
TK, EXT	RUTA 1 RUTA 2 RUTA 3 RUTA 4 RUTA 5	RUTA 1 RUTA 2 RUTA 3 RUTA 4 RUTA 5	

Imagen 12: Extracto Planificación rutas mecánicas

Fuente: Elaboración propia

Resultaron 31 rutas de inspección con una duración de 150 min cada una aproximadamente.



La tabla 4 muestra el número de rutas asignadas por área. Por ejemplo: para los equipos de digestor resultaron un total de 5 rutas (1 crítica y 4 normales).

Equipos	Cantidad Rutas
Digestor	5
Lavado	5
Blanqueo	5
Área Química	5
Estanques y Soportes	9
Extractores	2
TOTAL	31

Tabla 4: Resumen de rutas por área

Fuente: Elaboración propia

Finalmente las acciones propuestas se clasifican en:

- Cíclicas: El 80% de las acciones de planes preventivos y a condición se muestran en la tabla 5, donde en la primera columna se aprecian en detalle dichas acciones y en la segunda la frecuencia acumulada respectiva.

Acciones Propuestas Cíclicas	Frecuencia Acumulada
Inspección de equipo	32,90%
Inspección de válvula	49,32%
Inspección de actuador	60,18%
Inspección de EPC	66,29%
Diagnóstico con posicionador inteligente	70,31%
inspección de soportes	73,29%
Inspección a circuito electroneumático	76,27%
Diagnóstico dinámico PGP	78,84%
Realizar END	80,77%

Tabla 5: 80% de las Acciones propuestas cíclicas.

Fuente: Elaboración propia



- No cíclicas: De los modos de falla que se cubren con acciones correctivas o con documentos, se tiene que el 80% de las acciones propuestas se concentran en 15 actividades que se muestran en la tabla 6, donde la primera columna muestra las acciones y la segunda columna su frecuencia acumulada.

Acciones Propuestas No Cíclicas	Frecuencia Acumulada
Revisión de variables de proceso	17,28%
Instalar medidor de punto de rocío con alarma al DSS	26,39%
Generar procedimiento de montaje válvula	35,50%
Generar procedimiento de montaje transmisor	44,12%
Generar procedimiento de montaje posicionador	51,40%
Generar procedimiento de montaje válvula	58,69%
Inspección de equipo	63,86%
Generar procedimiento de medición transmisor	67,50%
Cambio a la falla	69,62%
inspección de equipo a la falla	71,44%
Capacitar personal en cuidado y buen uso de aire de planta y accesorios	73,26%
Inpección de equipo a la falla	75,09%
Cambio de I/P a la falla	76,91%
Inspección de válvula a la falla	78,68%
Revisión de equipo a la falla	80,45%

Tabla 6: 80% de las acciones propuestas no cíclicas.

Fuente: Elaboración propia

De lo anterior también cabe destacar que de 2015 modos de fallas 1012 se cubren con procedimientos y 559 con actividades de operación que no aplica crear un plan para cubrirlos, es decir, actividades no cíclicas.



- ✓ Cabecera OT: Se definió de acuerdo con los factores mencionados anteriormente, lo cual se puede visualizar en la Tabla 7, donde aparece un extracto de la “planilla RCM” con los datos esenciales como equipo, modo de falla, falla funcional, entre otros.

Nombre UT	Modo de falla del equipo	Falla funcional del equipo	Estrategia de mantenimiento	Tarea propuesta	Frecuencia de tarea	Cabecera OT	Ejecutor	Oportunidad de ejecución
CUERPO VÁLVULA	Obstrucción en cuerpo válvula con elemento extraño	No controla/ no aísla / fuga	Mantenimiento por condición	Inspección de válvula	Una vez / 5 Años	260S Mant. PGP Válvulas Automat. Digestor	instrumentista	PGP
FILTRO LICOR NEGRO DIGESTOR L2	Corte en correa de transmisión por alta carga por sellamiento de malla con pasta por desajuste operacional	No filtra el licor	Mantenimiento por condición	Revisar variables de proceso (Presiones, flujo, temperatura)	Una vez / Turno	NO APLICA USO DE PLAN	operaciones	E/S
FILTRO LICOR NEGRO DIGESTOR L2	Corte en correa de transmisión por mal montaje (tensión, alineamiento, tipo de correa)	No filtra el licor	N/A	Generar procedimiento de montaje de correas	N/A	Procedimiento	Pablo Maturana	N/A
FILTRO LICOR NEGRO DIGESTOR L2	Correas de transmisión sueltas por ingreso de agua en poleas por error en limpieza de operador de terreno	No filtra el licor	N/A	Instruir a operador de terreno sobre modo correcto de limpiar área	N/A	NO APLICA USO DE PLAN	Felipe Poblete	N/A
DIGESTOR CONTINUO	Malla de ajuste parcialmente tapada (no extrae licor suficiente) por uso	No separa las fibras de celulosa de la lignina	Mantenimiento preventiva	Lavar con AAP mallas	Una vez / Año	52S Mantenimiento Gral Digestor	áreas	PGP
DIGESTOR CONTINUO	Daño en empaquetadura de prensa estopa de dispositivo de descarga del digestor por uso	No efectúa la cocción de las astillas	Mantenimiento por condición	Inspección equipo	Dos vez / Mes	2S RUTA 1 DIGESTOR	Mecánico	E/S

Tabla 7: Extracto de planilla con cabeceras OT.

Fuente: Elaboración propia

3.3 Etapa 3: Agrupar acciones y generar planes.

Agrupar acciones propuestas de mitigación o eliminación de los modos de falla.

Las acciones propuestas, frecuencias y ejecutores fueron nuevamente revisados por el equipo de trabajo para buscar la mejor agrupación de planes. Además, cabe destacar que algunas acciones que fueron propuestas se podían realizar durante la ejecución de un mismo plan preventivo.



Por ejemplo, en el plan “52 Semanas mantención general digestor continuo” se agrupan diversas actividades como las que se aprecian en la Tabla 8.

Nombre UT	Componente (según modo de falla)	Modo de falla del equipo	Tarea propuesta	Frecuencia de tarea	Cabecera OT	Ejecutor	Oportunidad de ejecución
BBA RECIRCULACIÓN TRANSFERENCIA DIGESTOR	PLATO DE SUCCIÓN	Falla plato de succión por desgaste por uso	Inspección de plato succión	Una vez / Año	52S Mantención Gral Digestor	áreas varias	PGP
BBA RECIRCULACIÓN TRANSFERENCIA DIGESTOR	PLATO DE SUCCIÓN	Baja eficiencia de bomba por desgaste (Desajuste de plato de succión e impulsor)	Revisar variable de proceso en conjunto con operaciones	Una vez / Año	52S Mantención Gral Digestor	áreas varias	E/S
BBA RECIRCULACIÓN TRANSFERENCIA DIGESTOR	PLATO DE SUCCIÓN	Corte pernos ajuste plato por corrosión por uso	Inspección pernos ajuste plato durante el cambio de conjunto rotatorio	Una vez / Año	52S Mantención Gral Digestor	áreas varias	PGP
DIGESTOR CONTINUO	MALLA DIGESTOR	Malla de cúpula de digestor parcialmente tapada (no extrae licor) por uso	Limpieza manual de mallas	Una vez / Año	52S Mantención Gral Digestor	áreas varias	PGP
DIGESTOR CONTINUO	MALLA AJUSTE DIGESTOR	Malla de ajuste parcialmente tapada (no extrae licor suficiente) por uso	Lavar con AAP mallas	Una vez / Año	52S Mantención Gral Digestor	áreas varias	PGP
DIGESTOR CONTINUO	MANTO DIGESTOR	Pérdida de espesor en manto del equipo por uso	Realizar END	Una vez / Año	52S Mantención Gral Digestor	áreas varias	PGP
DIGESTOR CONTINUO	ANILLO DE FONDO	Daño en anillo de fondo de dispositivo de descarga de digestor por uso	Realizar Inspección mecánica a anillo de fondo y pasada de eje	Una vez / Año	52S Mantención Gral Digestor	áreas varias	PGP

Tabla 8: Ejemplo algunas actividades de un plan

Fuente: Elaboración propia

- Planes preventivos: Para los 3274 modos de fallas, se realizaron un total de 74 planes preventivos.
- Hoja de Ruta en SAP: Solo se realizó una hoja de ruta, que aplica al cambio de pernos, tuercas y arandelas. Esta es una actividad que debe seguir un estándar y que puede ser requerida en cualquier momento por la empresa, dado que muchos equipos poseen estas componentes. La hoja de ruta cubrió un total de 5 modos de fallas.



- Documentos: Se entregaron un total de 57 archivos con procedimientos de montajes, pruebas de equipo, alineamientos, cambios, entre otros.

Generación y modificación de documentos.

Los documentos que fueron cargados a SAP son:

- Especificación Técnica (EETT): Resultaron 31 documentos cargados correctamente en SAP (Ver anexo 7).
- Pauta de Trabajo Mantenición (PTM): Resultaron 33 documentos cargados correctamente en SAP (Ver anexo 8).
- Pauta de Ruta Mantenimiento (PRM): Resultaron 23 documentos cargados correctamente en SAP (Ver anexo 9).
- Check List Recepción (CLR): Resultaron 21 documentos cargados correctamente en SAP (Ver anexo 10).
- Hoja Trabajo Estándar (HTE): Resultaron 22 documentos cargados correctamente en SAP (Ver anexo 11).

Generar planes, balancear y cargar a SAP.

- Clase de orden: En la tabla 9 se muestra la cantidad de planes que requieren personal de planta para su ejecución (ZPL) y los que requieren servicios externos (ZPP) por modos de fallas y por cantidad de planes. Solo considerando los analizados en RCM.



Clase de orden	Filas con PP	Cantidad PP
ZPL	283	39
ZPP	960	35
Total general	1243	74

Tabla 9: Clase de orden de los planes

Fuente: Elaboración propia

- Plan Preventivo (PP): Además de los planes mencionados anteriormente que aplican al desarrollo del análisis de modos de falla de digestor, se crearon y modificaron los planes preventivos de las rutas de inspección del puesto de trabajo responsable: Mecánicos (PTR 123, siendo los números la identificación del puesto de trabajo en planta) para las cuatro áreas de fibra línea 2 que son: digestor, lavado, blanqueo y área química. En total fueron 31 PP; sin embargo 5 de dichos planes aplicaban al análisis de RCM y formaban parte de los planes de inspección.

En resumen, los planes modificados fueron 52 y los nuevos 48, arrojando un total de 100 planes creados y modificados. En la tabla 10 se muestran un detalle de lo mencionado.

PLANES	Aplican a RCM	Aplican a PTR 123	Aplican a RCM y PTR 123	Recuento
Modificados	40	15	3	52
Nuevos	34	16	2	48
Total planes	74	31	5	100

Tabla 10: Resumen de planes preventivos

Fuente: Elaboración propia



Capítulo 4: Conclusiones

Un plan estratégico de mantenimiento dice relación a un plan general que contiene un conjunto de procedimientos con sus documentos asociados, Hojas de ruta y planes estructurados en SAP que permiten tener la información disponible para quienes deban realizar las inspecciones rutinarias o mantenciones de los equipos.

La metodología utilizada por la empresa se basa en RCM y AMFE, ambos métodos se pueden utilizar en forma conjunta dado que AMFE se enfoca en el análisis de los modos de falla y RCM busca crear u optimizar planes de mantenimiento que fue el resultado de este proyecto, entregando a la empresa un total de 100 planes de mantenimiento, 57 documentos de procedimientos en archivo y una hoja de ruta asociados a los 3274 modos de fallas.

Implementar RCM y AMFE es de gran importancia para el mantenimiento de los equipos y, por ende, para la empresa, porque esto hace que aumente la disponibilidad de los equipos críticos, en este caso de digestor continuo y su área en conjunto disminuyendo las fallas funcionales que se producen en el equipo y sus subsistemas, logrando equipos más confiables. Arauco se encuentra implementando etapa 4 de la pirámide de mantenimiento, en búsqueda constante de avanzar hasta el mantenimiento de clase mundial.

Un problema del método es lograr enfocarse en el requerimiento de la empresa respecto del nivel de profundidad que debe tener el análisis porque resulta muy fácil abrir cada modo de falla a un estudio cada vez más exhaustivo.



Finalmente se concluye que el objetivo del proyecto de proponer un plan estratégico de mantenimiento fue cumplido, dando respuesta al requerimiento del área de confiabilidad perteneciente a Celulosa Arauco y Constitución S.A., Planta Arauco. El plan estratégico está listo para ser puesto en marcha cuando la empresa estime conveniente, ya sea en parada general de planta, trabajos de mantención y otros. Cabe destacar que las rutas mecánicas que fueron mejoradas ya están siendo implementadas, sin embargo, los resultados se evaluarán al término del primer ciclo de las rutas.



Referencias

Celulosa Arauco y Constitución S.A. (2018). *Memoria ARAUCO*. Santiago: Publicaciones ARAUCO.

Confiabilidad, S. d. (2019). *Confiabilidad*. Arauco: Celulosa Arauco y Constitución S.A.

Matthis, S. (25 de Junio de 2019). *Pulp and Paper*. Obtenido de Pulpapernews web site:
<https://www.pulpapernews.com/20190802/10501/andritz-receives-long-term-maintenance-and-service-contract-araucos-mapa-project>

Moubray, J. (1997). *Reliability-centred Mintenance*. United Kingdom: Publicado po Aladon Ltd.

MR Projets Ltda. (2012). *Manual interactivo Área 241 - Digestor L2*. Arauco.

Anexos

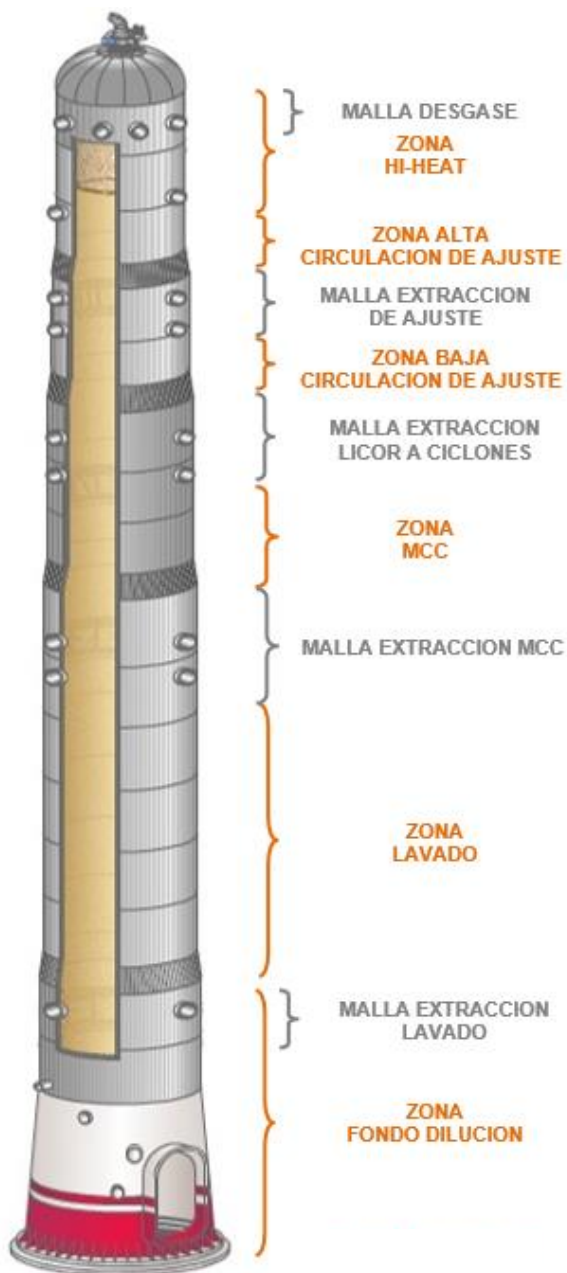
Anexo 1: Resumen proceso productivo celulosa fibra línea 2.



Fuente: SGMIO Celulosa Arauco y Constitución S.A.



Anexo 2: Ilustración digestor continuo fibra línea 2.



Fuente: SGMIO Celulosa Arauco y Constitución S.A.



Anexo 3: índice de Severidad (S)

Severidad	Descripción	Evaluación
Riesgo de seguridad personal	Vida y seguridad de la gente está en riesgo: la falla afecta la seguridad del proceso. Eso puede llevar a daños corporativos altos.	10
Violación de la ley	Violaciones de la ley son posibles: la falla causa una violación de la ley o no-compliance con reglas regulatorias (e.g., polución). Personas no están en peligro.	9
Falla total de función primaria, impacto alto en producción	Función primaria falló totalmente. El equipo no está operacional y genera parada de producción significativa: 100% de pérdida productiva por más de 24 horas.	8
Falla parcial de función primaria, impacto medio en producción	Función primaria falló parcialmente. El equipo no está totalmente operacional según especificaciones y genera limitación de producción significativa: 100% de pérdida productiva por 12-24 horas o más de 50% de pérdida productiva por más de 24 horas	7
Falla total de función secundaria, impacto bajo en producción	Función secundaria falló totalmente: 100% de pérdida productiva por 6-12 horas o más de 50% de pérdida productiva por más de 12 horas.	6
Funciones secundarias limitadas, algún impacto en producción	Función secundaria falló parcialmente: 100% de pérdida productiva por 2-6 horas o restricciones de capacidad de equipo en standby comprometiendo producción en hasta 50% por hasta 12 horas.	5
Impacto en producción bajo	100% de pérdida productiva por 0.5-2 horas o restricciones de capacidad de equipo en standby comprometiendo producción en hasta 20% por hasta 12 horas	4
Impacto en producción muy bajo	100% de pérdida productiva por hasta 0.5 hora o restricciones de capacidad de equipo en standby comprometiendo producción en hasta 20% por hasta 6 horas	3
Impacto en producción extremadamente bajo	Baja pérdida productiva. No hay parada completa de producción pero capacidad de equipos en standby compromete hasta 20% de la producción por menos de 30 mins	2
Sin impacto alguno	Sin pérdida productiva, equipos en standby totalmente capaces de suplir producción	1



Anexo 4: Índice de Ocurrencia (O)

Probabilidad Ocurrencia	Descripción	Evaluación
Falla ocurre a cada hora	Una falla por hora	10
Falla ocurre a cada turno	Una falla por 8 horas	9
Falla ocurre a cada día	Una falla por día	8
Falla ocurre a cada semana	Una falla por siete días	7
Falla ocurre a cada mes	Una falla por mes	6
Falla ocurre a cada tres meses	Una falla por tres meses	5
Falla ocurre a cada seis meses	Una falla por seis meses	4
Falla ocurre a cada año	Una falla por año	3
Falla ocurre a cada 2 años	Una falla por dos años	2
Falla ocurre a cada 5 años	Una falla por cinco años	1

Anexo 5: índice de Detección (D)

Probabilidad de detección	Descripción	Evaluación
Virtualmente imposible	Las medidas de prueba y/o monitoreo de máquinas pueden no detectar la posible causa / fallas secuenciales o no hay medidas de prueba / monitoreo de máquinas instaladas	10
Extremadamente baja	Extremadamente baja posibilidad de que medidas de prueba / monitoreo de máquinas van reconocer posible causa / fallas secuenciales o chequeos son aleatorios	9
Muy baja	Muy baja posibilidad de que medidas de prueba / monitoreo de máquinas van reconocer posible causa / fallas secuenciales o monitoreo no es confiable	8
Baja	Las medidas de prueba / monitoreo de máquinas no previenen la ocurrencia del error, monitoreo va a identificar la causa y habilitar la aislación de la falla después de su ocurrencia	7



Media baja	Baja posibilidad de que medidas de prueba / monitoreo puedan identificar la posible causa / fallas secuenciales. Monitoreo va a mostrar una falla.	6
Media	Posibilidad media de que medidas de prueba / monitoreo pueden reconocer la causa o fallas secuenciales. Monitoreo va a mostrar una falla anticipadamente.	5
Media alta	posibilidad ligeramente alta de que medidas de prueba / monitoreo pueden reconocer la causa o fallas secuenciales. Monitoreo puede prevenir una falla anticipadamente.	4
Alta	Alta posibilidad de que medidas de prueba / monitoreo puedan reconocer causa o fallas secuenciales. Monitoreo muestra dato en tiempo real para identificar fallas y causas anticipadamente. Fallas pueden ser prevenidas con éxito.	3
Muy alta	Muy alta posibilidad de que medidas de prueba / monitoreo puedes reconocer la causa o fallas secuenciales. Monitoreo muestra dato en tiempo real para identificar fallas y causas anticipadamente. Fallas pueden ser prevenidas con éxito.	2
Casi cierta	La medida de prueba / monitoreo ciertamente reconoce la causa o fallas secuenciales. Monitoreo muestra dato en tiempo real para identificar fallas y causas anticipadamente. Fallas pueden ser prevenidas con éxito.	1




Anexo 6: Ruta de inspección antigua para digestor

Ite	Ubicac.técnica	TAG	Denominación	Observación RUTA # 1 DIGESTOR
1	CA02-241-HAC-051055-21065	241-21065	Bomba Nº 2 de alta presión agua sello	
2	CA02-241-HAC-051055-21064	241-21064	Bomba Nº 1 de alta presión agua sello	
3	CA02-241-HAA-026032-21040	241-21040	BBA. Nº2 LICOR BLANCO (C20-2)	
4	CA02-241-HAA-026032-21039	241-21039	BBA. Nº1 LICOR BLANCO (C20-1)	
5	CA02-241-HAH-059172-22170	241-22170	TK LICOR NEGRO AL FILTRO	
6	CA02-241-HAC-051055-59066	241-59066	FILTRO # 1 DE AGUA SELLO ALTA PRESION.	
7	CA02-241-HAH-059172-21171	241-21171	BOMBA LICOR NEGRO AL FILTRO (ARA-21)-M	
8	CA02-241-HAC-051055-59057	241-59057	FILTRO SIST.HDCO PARA DISPOSIT. DESCARGA	
9	CA02-241-HAC-051055-59092	241-59092	FILTRO # 3 DE AGUA SELLO	
10	CA02-241-HAC-051055-59093	241-59093	FILTRO # 4 DE AGUA SELLO ALTA PRESION.	
11	CA02-241-HAB-051046-21190	241-21190	BBA. LICOR ASTILLAS TOPE IMPREGNADOR	
12	CA02-241-HAC-051055-59094	241-59094	FILTRO # 5 DE AGUA SELLO MEDIA PRESION.	
13	CA02-241-HAC-051055-21090	241-21090	Bomba de agua sello mediana presión	
14	CA02-241-HAI-022175	241-22175	Reactor de oxidación licor blanco	
15	CA02-241-HAC-051055-21089	241-21089	BOMBA AGUA SELLO ALTA PRESIÓN	
16	CA02-241-HAJ-031019-38719	241-38719	Extractor Nº 2 del techo	
17	CA02-241-HAC-051055-21091	241-21091	Bomba reforzadora agua planta	
18	CA02-241-HAI-022175-56178	241-56178	SILENCIADOR ENTRADA SOPLA.AIRE OXIDACION	
19	CA02-241-HAI-022175-29177	241-29177	SOPLADOR AIRE DE OXIDACIÓN	
20	CA02-241-HAI-022175-21180	241-21180	Bomba de licor blanco oxidado	
21	CA02-241-HAA-026032-21037	241-21037	BBA.RECIRCULACION AL TOPE DE IMPREGNADOR	
22	CA02-241-HAB-051046-21191	241-21191	BOMBA RECIRC.LICOR ASTILLAS CHUTE ASTILL	
23	CA02-241-HAB-051046-21050	241-21050	BBA.ALTA PRESIÓN PARTE SUPERIOR DIGESTOR	
24	CA02-241-HAB-051046-21051	241-21051	BBA.ALTA PRESIÓN PARTE SUPERIOR DIGEST.	
25	CA02-241-HAB-051046-21052	241-21052	BBA. ALTA PRESIÓN AL FONDO DEL DIGESTOR	
26	CA02-241-HAB-051046-21099	241-21099	Bomba recirculación MCC	
27	CA02-241-HAA-026032-23036	241-23036	ESTANQUE DE NIVEL	
28	CA02-241-HAE-023155	241-23155	Estanque condensado limpio	
29	CA02-241-HAE-023155-21161	241-21161	BBA.CONDENSADO CONT.ENFRIADOR CONDENSADO	
30	CA02-241-HAC-051055-21062	241-21062	Bomba recirculación lavado	
31	CA02-241-HAC-051055-58097	241-58097	CALENTADOR DE LICOR Nº5	



Anexo 7: Extracto Especificación Técnica (EETT)

	ESPECIFICACION TECNICA SERVICIO DE MANTENIMIENTO MECÁNICO A EQUIPOS DE FIBRA EN PGP L2 2018	Versión :01
		Página : 1 de 8
		SGC


CELULOSA ARAUCO Y CONSTITUCIÓN S.A. PLANTA ARAUCO
SUBGERENCIA DE MANTENCIÓN
SUPERINTENDENCIA DE MANTENCIÓN FIBRA

**SERVICIO DE CAMBIO EMPAQUETADURAS EN
TRENZA DE EQUIPOS ROTATORIOS ÁREAS 241,
246 Y 247**

CONTROL DE EMISION		
ELABORO	REVISO	APROBO
MAYO 2018	MAYO 2018	MAYO 2018

Oportunidad de ejecución	Parada de línea 2 durante octubre de 2018
--------------------------	---



	E ESPECIFICACION TECNICA SERVICIO DE MANTENIMIENTO MECÁNICO A EQUIPO 8 DE FIBRA EN PGP L2 2018	Versión :01
		Página : 2 de 8
		SGC

INDICE

1.	OBJETIVO.....	3
2.	DESCRIPCION DEL SERVICIO.....	3
	2.1 DESCRIPCION GENERAL.....	3
	2.2 EQUIPOS A INTERVENIR.....	3
	2.3 PREPARATIVOS PREVIOS.....	4
	2.4 ACTIVIDADES A DESARROLLAR EN EJECUCION.....	5
	2.5 SUPERVISION EN LA EJECUCION DEL SERVICIO.....	6
	2.6 ASPECTOS RELEVANTES DE SEGURIDAD, MEDIO AMBIENTE Y CALIDAD.....	7
	2.7 COMISIONAMIENTO Y PUESTA EN SERVICIO DE EQUIPOS.....	8
	2.8 RECEPCION DE LOS TRABAJOS.....	8
3.	PERSONAL, EQUIPOS, MATERIALES Y SUMINISTROS.....	8
	3.1 COMPETENCIAS DEL PERSONAL ES.....	8
	3.2 EQUIPOS, MATERIALES Y SUMINISTROS.....	10
4.	PROGRAMA, DOCUMENTOS Y HORARIO EJECUCION DE TRABAJO.....	11
	4.1 HITOS RELEVANTES.....	11
	4.2 AUTORIZACION (FIRMA) PTC.....	12
	4.3 DOCUMENTOS REQUERIDOS.....	13
5.	PRESENTACION DE LA OFERTA.....	14
6.	AUMENTO DE OBRA.....	14
7.	REFERENCIAS.....	15
	7.1 BASES ADMINISTRATIVAS GENERALES PARA EMPRESAS CONTRATISTAS.....	15
	7.2 NORMATIVA LEGAL APLICABLE.....	15
	7.3 ESTÁNDARES Y DOCUMENTOS TÉCNICOS APLICABLES.....	15
8.	ANEXOS.....	15




Anexo 8: Pauta de Trabajo de Mantenimiento (PTM)

		PLAN TRABAJO DESMONTAR/MONTAR VALVULAS									
Orden de trabajo :		Area/Lugar específico:								Fecha:	
Trabajo a realizar:										Fluido:	
Tipo Valvula:		MANUAL <input type="checkbox"/>		AUTOMATICA <input type="checkbox"/>		Diámetro _____		Clase: _____			
DATOS MONTAJE	Tipo empaquetadura :				Torque requerido :						
	Perno/esparrago :		Diámetro:		Largo :		cantidad _____		Grado :		
DESMONTAR PARA		Cambio: <input type="checkbox"/>		Mantenición : <input type="checkbox"/>		Lavado Linea <input type="checkbox"/>		Cambio Empaquet. <input type="checkbox"/>			
MODELO VALVULA						TIPO UNION					
1.- Bola <input type="checkbox"/>		2.- Mariposa <input type="checkbox"/>		3.- Diafragma <input type="checkbox"/>		1.- Roscada <input type="checkbox"/>		2.- Flange <input type="checkbox"/>			
4.- Tapón <input type="checkbox"/>		5.- Cono <input type="checkbox"/>		6.- Compuerta <input type="checkbox"/>		3.- Socked weld <input type="checkbox"/>		4.- Butt weld <input type="checkbox"/>			
7.- Segmento Bola <input type="checkbox"/>		8.- Globo <input type="checkbox"/>		9.- Cuchilla <input type="checkbox"/>		5.- Junta america <input type="checkbox"/>		6.- Wafer <input type="checkbox"/>			
10.- Check <input type="checkbox"/>		11.-Pinch <input type="checkbox"/>		12.-VSE <input type="checkbox"/>		7.- LUG taped <input type="checkbox"/>		8.- Otra <input type="checkbox"/>			
Verificaciones previas a la ejecución del trabajo				SI NO N/A			Observaciones /comentarios				
1.- Verificar retiro de aislación				<input type="checkbox"/>			_____				
2.- Verificar instalacion y aprobacion de andamios				<input type="checkbox"/>			_____				
3.- Coordinar maniobras (grúa)				<input type="checkbox"/>			_____				
Desmontaje				SI NO N/A			Observaciones /comentarios				
1.- Chequear PTC-Realizar PPA				<input type="checkbox"/>			_____				
2.- Charlas seguridad/analisis entorno c/operador planta				<input type="checkbox"/>			_____				
3.- bloquear sistema o equipo				<input type="checkbox"/>			_____				
4.-Verificar drenado de líneas				<input type="checkbox"/>			_____				
5.- Instalar maniobras, afianzar equipo				<input type="checkbox"/>			_____				
6.- Soltar perno con precaucion y opuestos al mecanico				<input type="checkbox"/>			_____				
7.- Verificar estado valles y posible daño en cuello o linea				<input type="checkbox"/>			_____				
Montaje				SI NO N/A			Observaciones /comentarios				
1.- Realizar limpieza zona sello flange				<input type="checkbox"/>			_____				
2.- Empaquetaduras según especificación técnica				<input type="checkbox"/>			_____				
3.- Cambio pernos o espárragos				<input type="checkbox"/>			_____				
4.- instalar equipo en posición correcta y verificar sentido flujo				<input type="checkbox"/>			_____				
5.- colocar pernos y empaquetadura				<input type="checkbox"/>			_____				
6.- Alinear flanges de valvula y piping				<input type="checkbox"/>			_____				
7.- Ergonomia respecto a la posición del accionamiento o posicionador				<input type="checkbox"/>			_____				
8.- Realizar primer ajuste de pernos según secuencia				<input type="checkbox"/>			_____				
9.- Torque de esparragos en etapas y secuencia				<input type="checkbox"/>			_____				
10.-Limpieza del area de trabajo				<input type="checkbox"/>			_____				
11.- Cierre PTC, desbloquear sistema y entrega de trabajo a operaciones				<input type="checkbox"/>			_____				
Información de Proceso de Torque											
ITEM	Descripción						Secuencia de torque				
	Grado perno	Diámetro perno	Largo perno	Cantidad pernos	Torque requerido	Torque aplicado	1° Etapa	2° Etapa	3° Etapa	Vuelta reloj	Estado
1											
VERIFICACIÓN FINAL	Verificar sentido de flujo				<input type="checkbox"/>		Volante instalado <input type="checkbox"/>				
	Accionamiento de la válvula				<input type="checkbox"/>		Limpieza equipo/área <input type="checkbox"/>				
	Verificación de torque/apriete						P1	P2	P3	P4	Sec. reloj
						<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
OBSERVACIONES:						Responsable y ejecutantes del trabajo					
_____						1.- _____					
_____						2.- _____					
_____						3.- _____					
_____						4.- _____					



Anexo 9: Pauta de Ruta de Mantenimiento (PRM)

		RUTA CRÍTICA DIGESTOR															OBSERVACIONES		
N° RUTA:		INSTRUMENTOS NECESARIOS				Ubicación geográfica	Vibración lado transm.	Vibración lado libre	Temperatura lado transm.	Temperatura lado libre	Fugas / Filtraciones	Corrosión / soltura / base / soportes	Ruidos anormales	Sistema transmisión	Sello mec. / prensa estopa	Circuito Refrigeración		Lubricación / fugas / niveles / Visor	Limpieza
NOMBRE DE RUTA: 1S RUTA CRÍTICA DIG.		- VIBROPEN - LÁMPARA ESTROBOSCÓPICA - PIRÓMETRO																	
FRECUENCIA: UNA SEMANA		FECHA:																	
TIEMPO ESTIMADO: 150 MINUTOS																			
N°	UBICACIÓN TÉCNICA	TAG	K-P-O	DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO															
1	CA02-200-201-021-24121190	241-2119	K	BBA. LICOR ASTILLAS TOPE IMPREGNADOR	1° PISO														
2	CA02-200-201-010-24121037	241-2103	K	BBA.RECIRCULACION AL TOPE DE IMPREGNAD	1° PISO														
3	CA02-200-201-010-24121191	241-2119	K	BOMBA RECIRC.LICOR ASTILLAS CHUTE ASTILL	1° PISO														
4	CA02-200-201-010-24126032	241-2603	K	ALIMENTADOR ALTA PRESION L2	2° PISO														
5	CA02-200-201-012-24126056	241-2605	K	DISPOSITIVO DESCARGA DEL DIGESTOR	1° PISO														
6	CA02-200-201-011-24126047	241-2604	K	DISPOSITIVO SALIDA DEPOSITO IMPREGNACI	1° PISO														
7	CA02-200-201-012-24121053	241-2105	K	BOMBA DE RECIRCULACIÓN Y TRANSFERENCI	3° PISO														
8	CA02-200-201-010-24126027	241-2602	K	ALIMENTADOR DE BAJA PRESION	4° PISO														
9	CA02-200-201-010-24126021	241-2402	K	REDUCT. TORNILLO ALIMENT. DE ASTILLAS	6° PISO														
10	CA02-200-201-010-24126021	241-2602	K	TORNILLO ALIMENTADOR DE ASTILLAS	6° PISO														
11	CA02-200-201-010-23126454	231-2645	K	CORREA TRANSP. ASTILLAS AL DIGESTOR	6° PISO														



Anexo 10: Check List de Recepción (CLR)



PROTOCOLO RECEPCION DE EQUIPOS ESTATICOS

TAG	DESCRIPCION EQUIPO

ACTIVIDAD REALIZADA	Aplica	CONFORME	OBSERVACIONES
Limpieza general.			
Inspección M. Predictiva.			
Retiro de andamios.			
Reparaciones ejecutadas			
Elementos extraños.			
Inspección operacional.			
Otros (Especificar):			
1.			
2.			
3.			

VERIFICA Y AUTORIZA POR MANTENCIÓN (ITO)

FECHA HORA

DIA MES AÑO

NOMBRE

FIRMA

VERIFICA Y AUTORIZA POR OPERACIONES

FECHA HORA

DIA MES AÑO

NOMBRE

FIRMA

Nota: Completar con "X" si es deficiente o "OK" si está en conformidad. -



Anexo 11: Hoja de Trabajo Estándar (HTE)

araucó		Hoja de Trabajo Estándar		Proceso	Ruta inspección Mecánica
Ruta inspección mecánica	Última actualización	Actualizado por		Duración Total	5 min.
	13-dic-18	Confiabilidad		Aplicación	Todas las rutas de inspección mecánica que involucren bombas centrífugas-motores de todas las áreas
#	Descripción paso a seguir				
1	Inspección motor				
1.1	Inspección visual de motor, protección lado ventilador.				
1.2	Prestar atención a sonidos anormales en motor.				
1.3	Revisar por soltura pernos, patas con juego, laines sueltas, pernos cortados y base en general.				
1.4	Medir vibraciones en equipo.				
1.5	Medir temperatura en equipo.				
2	Inspección bomba				
2.1	Realizar inspección visual a bomba, tuberías de alimentación y descarga, entorno.				
2.2	Revisar fugas de sello mecánico o prensa estopas.				
2.3	Revisar presión de agua de sello y que esté lubricando el sello mecánico o la empaquetadura.				
2.4	Prestar atención a sonidos anormales en bomba.				
2.5	Revisar soltura pernos, patas con juego, laines sueltas, pernos cortados, etc.				
2.6	Medir vibraciones en equipo.				
2.7	Medir temperatura en equipo.				
<p>- En caso de encontrar averías, se debe crear aviso M2 (SAP/SAP Fiori) - Corregir deficiencias menores en el instante.</p>					
				3	Inspección acoplamiento
				3.1	Prestar atención a sonidos anormales en acoplamiento.
				3.2	Revisar con lámpara estroboscópica anomalía en acoplamiento.
				3.3	Revisar zona inferior de acoplamiento por posible polvillo de goma, grasa, pedazos de metal, etc.
				3.4	Revisar estado de protección de acoplamiento, pernos sueltos, daños y roce con acoplamiento
				4	Inspección otros
				4.1	Revisar pernos sueltos, faltantes, empaquetadura dañada, fuga por flange o tubería
				4.2	Revisar estructura de la base por daño, corrosión, partes faltantes, etc.
					Punto de mayor riesgo
					Inspección visual
					Inspección auditiva
					Vibropen
					Inspección manual
					Lámpara estroboscópica
					Pirómetro



Anexo 12: Equipos Analizados

EQUIPOS ANALIZADOS
VÁLVULA TRANSM TEMP LIQ CIRCUL CALIEN EXC DIG L2 241-TT088
VÁLVULA TRANSM TEMP ENTRAD EXTRAC FILTRAD DIG L2 241-TT144
VÁLVULA TRANSM PRESION DEPOS IMPREG L2 241-PT066
VÁLVULA TRAMPA DE LICOR DIGESTOR L2 241-PIC207
VÁLVULA TRAMPA DE LICOR DIGESTOR L2 241-PIC206
VÁLVULA TRAMPA DE LICOR DIGESTOR L2 241-PIC167
VÁLVULA TK 4 CONDENSADO 241-LCV301-B
VÁLVULA TK 4 CONDENSADO 241-LCV301-A
VÁLVULA TK 2 CONDENSADO 241-LCV302-B
VÁLVULA TK 1 CONDENSADO 241-LCV303-B
VÁLVULA TK FLASH N°3 L2 241-LIC165
VÁLVULA TK FLASH N°2 L2 241-LIC209
VÁLVULA TK FLASH N°2 L2 241-FIHC205
VÁLVULA TK FLASH N°2 L2 241-FIC205
VÁLVULA TK FLASH N°1 L2 241-HCV169
VÁLVULA TK FLASH N°1 L2 241-HCV163
VÁLVULA TK FLASH N°1 L2 241-FIC163
VÁLVULA TK CONDENSADO LIMPIO 241-LCV304-B
VÁLVULA TK CONDENSADO LIMPIO 241-LCV304-A
VÁLVULA TK 4 CONDENSADO 241-LCV301-B
VÁLVULA TK 4 CONDENSADO 241-LCV301-A
VÁLVULA TK 2 CONDENSADO 241-LCV302-A
VÁLVULA TK 1 CONDENSADO 241-LCV303-A
VÁLVULA TK 4 CONDENSADO 241-LCV301-B
VÁLVULA MANUAL DEPOSITO IMPREGNACIÓN 241-VV079
VÁLVULA MANUAL BBA ALTA PRESION FONDO DEPOSITOS DIGEST 241-VV129
VÁLVULA MANUAL BBA ALTA PRESION FONDO DEPOSITOS DIGEST 241-VV128
VÁLVULA DIGESTOR CONTINUO 241-XSV100
VÁLVULA DIGESTOR CONTINUO 241-KSV983
VÁLVULA DIGESTOR CONTINUO 241-KSV982
VÁLVULA DIGESTOR CONTINUO 241-KSV981
VÁLVULA DIGESTOR CONTINUO 241-KSV980
VÁLVULA DIGESTOR CONTINUO 241-HSV160
VÁLVULA DIGESTOR CONTINUO 241-HSV131
VÁLVULA DIGESTOR CONTINUO 241-HSV130
VÁLVULA DIGESTOR CONTINUO 241-HSV125
VÁLVULA DIGESTOR CONTINUO 241-HCV161



VÁLVULA DEPOSITO IMPREGNACION 241-PCV066
VÁLVULA DEPOSITO IMPREGNACION 241-HCV079
VÁLVULA DEPOSITO IMPREGNACION 241-FCV078
VÁLVULA DEPOSITO IMPREGNACION 241-FCV069
VÁLVULA BBA RECIRCULACION DIG CALENTADOR LICOR 241-FCV950
VÁLVULA BBA RECIRCULACION LICOR DIGESTOR 241-HCV138
VÁLVULA BBA RECIRCULACION LICOR DIGESTOR 241-HCV137
VÁLVULA BBA ALTA PRESION FONDO DEPOSITOS DIGEST 241-FCV129
VÁLVULA BBA ALTA PRESION FONDO DEPOSITOS DIGEST 241-FCV128
UNIDAD LUBRIC DISPOSITIVO SALIDA DIGE L2 241-51069
TRANSM TEMP NUE LIN LIC BLAN DIG CONT L2 241-FT950
TRANSM PRES DIF EXTRACCION LAVADO DIG L2 241-PDT118
TRANSM NIVEL DEPOSIT ASTILLA DIG CONT L2 241-LT104A
TRANSM FLUJO TK PRIMARIO FLASH DIG L2 241-FT163
TRANSM FLUJO LINEA SOPLADO DIGESTOR L2 241-FT129
TRANSM FLUJO LINEA BYPASS SOPLADO DIG L2 241-FT128
TRANSM FLUJO FONDO DEPOS IMPREG L2 241-FT069
TRANSM FLUJO BOQUI INFER DEPOS IMPREG L2 241-FT078
TRANSM DIFERENCIAL PRESION DIGESTOR L2 241-PDT173
TRANSM DIFERENCIAL PRESION DIGESTOR L2 241-PDT172
TRANSM DIFERENCIAL PRES SUP DIG CONT L2 241-PDT101
TRANSM DIFEREN PRESION TOPE DIG CONT L2 241-PDT103
TRANSM CONDUCT A TK CONDENS LIMPIO L2 241-CT313
TRAMPA DE LICOR DIGESTOR L2 241-57096
TRAMPA DE LICOR DIGESTOR L2 241-57077
TK 2 CONDENSADO 241-CT314
TK 1 CONDENSADO 241-CT315
TK FLASH N°3 L2 241-23095
TK FLASH N°2 L2 241-23060
TK FLASH N°1 L2 241-23059
TK CONDENSADO LIMPIO 241-CT316
MANÓMETRO 241-PT412
FILTRO LICOR NEGRO DIGESTOR L2 241-59172
ENFRIADOR LICOR NEGRO DEBIL 3 241-58131
ENFRIADOR LICOR NEGRO DEBIL 2 241-58088
ENFRIADOR LICOR NEGRO 1 246-58016
ENFRIADOR LICOR EVAPORADORES 4 241-58132
DIGESTOR CONTINUO 241-51055
CALENTADOR LICOR NEGRO 4 241-58097
CALENTADOR LICOR NEGRO 3 241-58085



CALENTADOR LICOR NEGRO 2 241-58084
CALENTADOR LICOR NEGRO 1 241-58083
CALENTADOR LAVADO LICOR VAPORIZADOR 241-58086
BBA RECIRCULACION TRANSFERENCIA DIGESTOR 241-21053
BBA MEDIA PRESIÓN AGUA SELLO 241-21089
BBA AGUA SELLO BAJA PRESION 241-21090
BBA 2 ALTA PRESION AGUA SELLO 241-21065
BBA 1 ALTA PRESION AGUA SELLO 241-21064



Anexo 13: Extracto planilla RCM con indicadores AMFE.

Nombre UT	Función del Equipo	Modo de falla del equipo	Falla funcional del equipo	Severidad de falla	Probabilidad de Ocurrencia de falla en ausencia de planes	Detección de falla en ausencia de planes	Número ponderado de riesgo calculado	Estrategia de mantención
BBA ALTA PRESIÓN AGUA SELLO	Transferir agua limpia y a alta presión a área digestor, Equipos rotatorios y pdi del área de digestor	Falla sello mecánico por error en ajuste (de flujo de agua de sello)	No impulsar agua	7	6	8	336	Mantención por condición
DIGESTOR CONTINUO	Efectuar la cocción de las astillas a una concentración de álcali constante y bajo condiciones de presión/temperatura requerida	Grietas circunferenciales en zona de protección anódica de la zona del MCC por uso	No efectúa la cocción de las astillas	9	4	9	324	Mantención por condición
CALENTADOR LICOR	Aumentar, por contacto indirecto con vapor, la temperatura del licor que se utiliza en el Impregnador para calentar las astillas	Daño en empaquetaduras de tapas superior e inferior por uso (filtración DE LICOR CALIENTE)	No aumenta temperatura del licor	10	4	7	280	Mantención por condición



INTERCAMBIADOR CALOR TK CONDENSADO LIMPIO	Disminuir la temperatura del licor negro, por contacto indirecto con agua tibia.	Daño en empaquetaduras de uniones enflanchadas llegada de licor negro, por error en el montaje	Disminuye parcialmente la temperatura	10	3	9	270	N/A
ENFRIADOR LICOR NEGRO DEBIL 241	Disminuir la temperatura del licor negro, por contacto indirecto con agua tibia.	Daño en empaquetaduras de tapas laterales por uso (filtración DE LICOR CALIENTE)	No baja la temperatura al licor negro	10	3	7	210	Mantenimiento por condición
DIGESTOR CONTINUO	Efectuar la cocción de las astillas a una concentración de álcali constante y bajo condiciones de presión/temperatura requerida	Socavaciones en reducciones y codos de líneas de recirculación y transferencia por uso	No efectúa la cocción de las astillas	8	3	8	192	Mantenimiento por condición
TRANSM PRES DIF EXTRACCION LAVADO DIG L2	Medir y controlar variable	Taponamiento de toma proceso por uso	No controla/mide variable o fuga	7	3	7	147	Mantenimiento preventiva
BBA ALTA PRESIÓN AGUA SELLO	Transferir agua limpia y a alta presión a área digestor, Equipos rotatorios y pdi del área de digestor	Obstrucción de filtros de succión bomba por aumento de contaminación en agua planta (durante verano)	No impulsar agua	6	3	5	90	Mantenimiento preventiva



ENFRIADOR LICOR NEGRO DEBIL	Disminuir la temperatura del licor negro, por contacto indirecto con agua tibia.	Rotura en línea por alta vibraciones por soltura en soportes de línea por uso	No contiene el fluido en su interior	10	1	8	80	Mantenición por condición
VÁLVULA MANUAL	Controlar variable de proceso / aislar equipo / contener producto	Trabamiento de válvula por daño en accionamiento por uso	No aísla / fuga	5	3	5	75	Mantenición preventiva
FILTRO LICOR NEGRO DIGESTOR L2	Retirar (Filtrar) los contaminantes presentes en el licor negro.	Rotura de carcasa por desgaste por uso	No contener licor	8	1	8	64	Mantenición por condición
BBA RECIRCULACIÓN TRANSFERENCIA DIGESTOR	Contener licor en su interior	Desgaste de voluta por uso	No contiene el fluido en su interior	7	1	8	56	Mantenición por condición
CALENTADOR LICOR	Contener el licor negro en su interior	Daño en área de sellado flanges de tapas superior e inferior por uso	No contiene el licor en su interior	5	1	8	40	Mantenición por condición
FILTRO LICOR NEGRO DIGESTOR L2	Retirar (Filtrar) los contaminantes presentes en el licor negro.	Daño en o'ring de camisa por uso	Filtra parcialmente el licor	2	2	9	36	Mantenición por condición
TRANSM PRESION DEPOS IMPREG L2	Medir y controlar variable	Medición incorrecta por cable dañado/cortado por error de montaje	No controla/mide variable o fuga	3	3	3	27	N/A



TRANSM TEMP ENTRAD EXTRAC FILTRAD DIG L2	Medir y controlar variable	Medición incorrecta por descalibración por uso	No controla/mide variable o fuga	3	2	4	24	Mantenión por condición
TRANSM TEMP ENTRAD EXTRAC FILTRAD DIG L2	Medir y controlar variable	Fuga/filtración en unión con proceso por daño en empaquetadura por uso	No controla/mide variable o fuga	2	3	3	18	Mantenión por condición
MANÓMETRO	Medir variable	Medición errónea por descalibración por uso	No mide variable o fuga	4	2	2	16	Mantenión preventiva
BBA MEDIA PRESIÓN AGUA SELLO	Transferir agua limpia y a alta presión a área digestor, Equipos rotatorios y pdi del área de digestor	Desgaste tapa acoplamiento flexible por uso	No impulsar agua	2	1	7	14	Mantenión por condición
CALENTADOR LICOR	Aumentar la temperatura del licor	Grietas en tubos por dilatación de ciclos térmicos por uso	No contiene el licor en su interior	2	1	4	8	Mantenión preventiva
TRANSM TEMP ENTRAD EXTRAC FILTRAD DIG L2	Medir y controlar variable	Medición incorrecta por daño sensor por uso	No controla/mide variable o fuga	2	1	3	6	Mantenión preventiva

