



Departamento de Posgrados  
Maestría en Gestión de Mantenimiento

Propuesta de un sistema de gestión de información  
para el mantenimiento mediante el software API-PRO  
para la empresa Cartopel SAI - División Molino

Trabajo de graduación previo a la obtención del título de:  
Magister en Gestión de Mantenimiento

Autor

Ing. Mec. Christian Xavier Riera Morocho

Director

Ing. Mec. MBA Edwing Fernando Heredia Espinoza

Cuenca – Ecuador  
2020

# Propuesta de un sistema de gestión de información para el mantenimiento mediante el software API-PRO para la empresa Cartopel SAI - División Molino

Riera Christian Xavier

Universidad del Azuay, Cuenca, Ecuador

Email: christianxr0713@gmail.com

## Resumen -

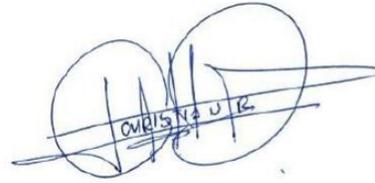
Este trabajo presenta una propuesta para un sistema de gestión de la información de mantenimiento para la empresa Cartopel SAI - División Molino.

A partir de la documentación técnica y datos de los historiales físicos del departamento de mantenimiento se realizó un análisis de criticidad de los equipos. NORSOK Z-008. Del listado de equipos y sub equipos críticos se hizo un análisis de modos de falla, causa y efecto (AMFE), se determinaron procedimientos, frecuencias, y tiempos por tarea para elaborar así los tipos de mantenimiento. Norma ISO 17359:2018.

La documentación técnica y datos obtenidos se ingresaron al software para la gestión de mantenimiento API PRO el cual brinda información de disponibilidad, tiempo medio entre fallas (MTBF), tiempo medio de reparación (MTTR), costos de mantenimiento, que son claves para la toma de decisiones. Norma UNE-EN 15341.

Palabras clave- AMFE, MTTR, MTBF, criticidad, mantenimiento, preventivo, predictivo, correctivo, frecuencia.

Translated by:



Abstract –

*This work presents a proposal for a maintenance information management system for Cartopel SAI Company – Mill Division. For it, with technical documentation and data found in the physical records of the maintenance department, a criticality analysis of the equipment was developed. NORSOK Z-008. An analysis of failure modes, cause and effect (AMFE) was carried out from the list of critical equipment and sub equipment. Procedures, frequencies, and times were determined. These were complemented by the existing preventive maintenance. ISO 17359: 2018 standard. The technical documentation and data obtained were introduced into the API PRO maintenance management software which provides availability information, mean time between failures (MTBF), mean time to repair (MTTR), maintenance costs, etc., which are overriding keys for decision making. UNE-EN 15341 standard.*

*Keywords - AMFE, MTTR, MTBF, criticality, maintenance, preventive, predictive, corrective, frequency*

## I. INTRODUCCIÓN

Cartopel S.A.I. - División Molino tiene sus inicios en el año 1989 como una planta dedicada a la producción y comercialización de papeles kraft liner y corrugados medios de diferentes gramajes. Forma parte de un grupo de empresas “Grupo Comeca” el mismo que consta de 3 molinos papeleros; Cartopel en Ecuador, Carvinsa en Perú y Empaques Santa Ana en Costa Rica. En el arranque de producción la empresa tenía una capacidad productiva de 25 toneladas por día, en la actualidad tiene una producción que oscila entre 280-320 toneladas por día.

Del estudio del manejo y control de información, que tiene el departamento de mantenimiento para la administración de históricos físicos, repuestos, procedimientos, fallos y frecuencias fue evidente que no se dispuso de un análisis de criticidad, modos de falla, causa y efectos de los equipos críticos. Tampoco información detallada de los costos de mantenimiento preventivo, correctivo y predictivo. Incluso resultó escasa la información acerca del personal interno y externo, lo cual dificultaba la asignación de recursos y tiempos en la planificación de las tareas de mantenimiento.

Mantenimiento es una actividad que debe ser considerada desde el inicio de un proyecto para definir estrategias que no dificulten la ejecución de las tareas futuras para el funcionamiento de los equipos. Las empresas en la actualidad no lo llevan a la práctica ya que lo consideran como un gasto que debe ser realizado una vez que los equipos estén funcionando (mantenimiento correctivo) lo que genera un desconocimiento de las condiciones de los equipos e incrementa los tiempos de respuesta de las actividades de mantenimiento teniendo un impacto directo a la disponibilidad, confiabilidad y mantenibilidad de la empresa [1].

Laurival Tabares en su libro de Administración Moderna del Mantenimiento, menciona que un buen sistema de planificación y control conduce a métodos estandarizados de ejecución desarrollados a partir de recomendaciones de los fabricantes, experiencia del personal involucrado en los equipos y con bibliografía de empresas similares: además, con la implantación de un buen sistema de planificación y control del mantenimiento con relación al mantenimiento correctivo no programado en una empresa productora de papel inglesa se logró un incremento de la productividad del 35% [2].

Por lo tanto, este trabajo propone un sistema de gestión de la información para el mantenimiento de la empresa Cartopel SAI, mediante el uso del software API PRO, donde, el mantenimiento actual se complementa con la metodología del mantenimiento basado en la condición (MBC) de acuerdo a la norma ISO 17359:2018 y así conocer el estado y condición de los equipos a fin de mejorar el mantenimiento preventivo con la medición y detección temprana de fallas [3].

Luego de analizar y clasificar la documentación técnica de aproximadamente 650 historiales de 3 años contenidos en carpetas y archivos físicos correspondientes a los 309 equipos que forman parte de la línea de producción se realizó una matriz de criticidad basados en la norma NORSOK 008 la cual nos proporciona directrices y requisitos para determinar equipos críticos [4].

Con estos equipos críticos, se efectuó un análisis modos de fallo causa y efecto (AMFE) para determinar si los fallos son medibles o no, y de esta manera seleccionar el tipo de mantenimiento preventivo, predictivo o correctivo. Una vez establecido el o los tipos de mantenimiento se definieron procedimientos con instrucciones preventivas, correctivas y rondas de inspección predictivas y sus frecuencias.

Esta información será administrada por el *software* de mantenimiento API PRO, el cual con su entorno amigable procesa los datos, para así, entregar informes estadísticos e indicadores de mantenimiento de acuerdo a la norma UNE-EN 15341. Con estos reportes será posible tomar decisiones acertadas en la gestión del mantenimiento.

## II. METODOLOGÍA APLICADA

### A. Descripción de la línea de producción de un molino papelerero

La línea de producción de un molino papelerero se dedica a la fabricación de bobinas de papel Kraft y corrugado medio de diferentes gramajes, el proceso se divide en:

1. Preparación de pasta de papel; en este proceso se realiza la desintegración y formación de la suspensión acuosa de la fibra, consiste en transformar la materia prima seca en forma de pasta, agregando una cantidad suficiente de agua [5].
2. Refinación de la pasta de papel; es una modificación mecánica que ayuda a potenciar la resistencia del papel.
3. Formación de la hoja de papel; la pasta de papel es repartida homogéneamente en sentido transversal a una velocidad constante en una malla sintética, el excedente de agua de la pasta es drenado a través de bombas de succión y por gravedad [5].
4. Prensado; en este proceso la hoja pasa a través de dos rodillos que trabajan a presión para mejorar la compactación y reducir el contenido de agua.
5. Secado; el papel pasa por 50 secadores que están divididos en 6 grupos, los secadores son cilindros metálicos calentados por vapor utilizados para reducir el porcentaje de humedad del papel.
6. Corte y rebobinado, es la etapa final de la producción

de papel, en esta fase se enrolla las bobinas de papel para su posterior comercialización a las diferentes corrugadoras.

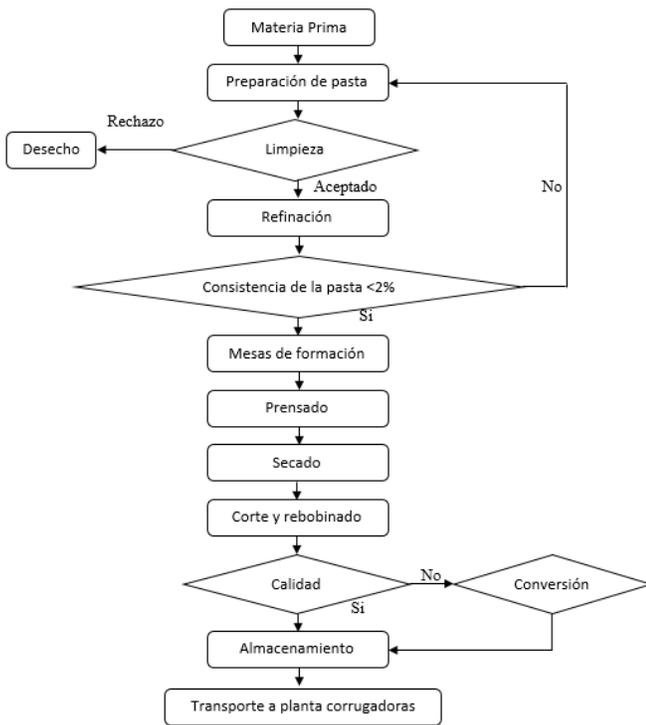


Fig. 1. Diagrama de flujo del proceso papelerero de Cartopel. Elaboración propia [5].

### B. Análisis de la criticidad de equipos y sub equipos.

Para la elaboración de la matriz de criticidad se utilizó criterios de la norma Norsok Z-008, la cual se basa en riesgo relacionado con la seguridad, medio ambiente, salud, pérdida de la producción y costos como principios para la toma de decisiones al momento de implementar la gestión de mantenimiento [4].

La determinación de la ocurrencia de fallos se determinó con el análisis de la documentación técnica de aproximadamente 650 historiales de 3 años y consultas a los técnicos del mantenimiento. La clasificación de la consecuencia es analizada de acuerdo con la pérdida de la función principal con relación a la seguridad, medio ambiente, salud, pérdida de la producción y costos [4].

Para el cálculo y cuantificación de criticidad se obtuvo del producto entre la probabilidad de ocurrencia de fallos por la consecuencia de los fallos.

Donde;

Mayor o igual a 9: Alta criticidad

Entre 5 y 9: Media criticidad

Menor a 5: Baja criticidad

Bajo estos parámetros de un total de 309 equipos y sub equipos analizados resultaron 48 con alta, 117 con media y 144 con baja criticidad.

Tabla 1. Equipos y sub equipos con alta criticidad. Elaboración propia.

Equipos y subequipos críticos			
Item	Nombre de los subequipos	Valor de Criticidad	Nombre del equipo
1	Cuadro eléctrico (control y fuerza)	15	Rebobinadora
2	Rodillería	9	
3	Sistema neumático	15	Pope Reel
4	Cuadro eléctrico (control y fuerza)	9	
5	Conjunto giratoio	12	Pulper 4
6	Desfibrador	12	Desfibrador F2
7	Motor eléctrico	9	
8	Bomba centrífuga	9	Bomba tanque 9-10
9	Motor eléctrico	12	
10	Bomba fan top	12	Bomba Fan Top
11	Motor eléctrico	12	
12	Cuadro eléctrico (control y fuerza)	9	Bomba Fan Back
13	Bomba fan back	12	
14	Motor eléctrico	9	Screen Beloit M32
15	Screen	12	
16	Head Box	9	Mesa formación superior
17	Rodillería	12	
18	Screen	12	Screen SPM 1500
19	Head Box	12	
20	Rodillería	12	Mesa de formación inferior
21	Cuadro eléctrico (control y fuerza) rodillo couch	9	
22	Motor eléctrico rodillo helper	12	
23	Cuadro eléctrico (control y fuerza) rodillo helper	12	
24	Rodillería	12	Prensa Pick - Up
25	Motor eléctrico	9	
26	Rodillería	12	Prensa Inferior Gorostidi #1
27	Motor eléctrico	12	
28	Rodillería	12	Prensa Superior Gorostidi #1
29	Rodillería	12	
30	Motor eléctrico	12	Prensa Inferior Gorostidi #2
31	Roillo prensa	12	
32	Cilindros secadores	12	Primer grupo de secadores
33	Rodillería	12	
34	Cilindros secadores	12	Segundo grupo de secadores
35	Rodillería lona superior e inferior	12	
36	Cilindros secadores	12	Tercer grupo de secadores
37	Rodillería lona superior e inferior	9	
38	Cilindros secadores	12	Cuarto grupo de secadores
39	Rodillería lona superior e inferior	12	
40	Cilindros secadores	12	Quinto grupo de secadores
41	Cilindros secadores	12	
42	Rodillería lona superior e inferior	12	Sexto grupo de secadores
43	Caldera (cuerpo, domo, tubos, hogar, chimenea, quemador)	12	
44	Caldera (cuerpo, domo, tubos, hogar, chimenea, quemador)	12	Caldera B&W
45	Caldera (cuerpo, domo, tubos, hogar, chimenea, quemador)	12	Caldera CB 1400
46	Bomba	9	Caldera CB 800
47	Transformador	9	Bomba Vacío Filtro Inferior Prensa #1 y #2
48	Transformador	9	Transformador TR2
			Transformador TR1

Para los equipos críticos se realizó un listado de repuestos depurado con la información obtenida de reportes históricos,

información de catálogos y manuales, para mejorar el control y manejo al momento de realizar la programación y planificación de las tareas de mantenimiento, además que permitirá controlar el inventario de bodega optimizando los costos.

### C. Análisis de modos de falla, causa y efectos de los equipos y sub equipos críticos

De acuerdo a los criterios de la norma ISO 17359:2018, donde, determinados los equipos críticos la siguiente etapa es realizar un análisis de modos de falla, causa y efectos (AMFE) para la jerarquización del grado de criticidad del riesgo que es muy empleado en la planificación del mantenimiento lo que permite lograr un entendimiento global del funcionamiento de la línea de producción así como cuáles son las fallas más frecuentes que se presentan en los equipos críticos de la línea de producción de un molino papelerero [6].

Las fallas que se presentan en los equipos son un riesgo potencial en la línea de producción, por lo tanto, es necesario tener claro cómo se presentan y como afectan a los equipos para definir las tareas de mantenimiento adecuadas. Estas tareas de mantenimiento son derivadas del análisis de modos de falla, donde para cada modo le corresponde una tarea de mantenimiento [6].

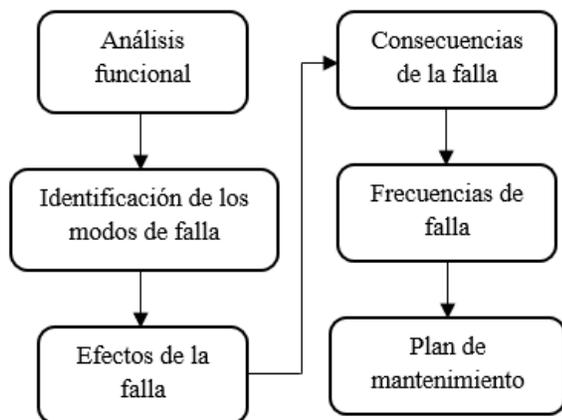


Fig. II. Proceso de gestión de mantenimiento aplicando análisis de falla, causa y efectos, AMFE [6]

#### C.I. Análisis funcional de los equipos y sub equipos críticos.

Para realizar el análisis funcional es necesario primero determinar la función principal y la falla funcional de los equipos, por lo tanto, se debe conocer cuáles son las funciones que despeñan dentro del proceso. El análisis funcional fue realizado tomando como referencia la norma ISO 14224:2016 *Petroleum, petrochemical and natural gas industries – Collection and exchange of reliability and maintenance data for equipment* [7], donde se define como mecanismos de fallas a todas las combinaciones de procesos que den lugar a las fallas y categoriza como tipos de fallas a:

1. Fallas mecánicas;
2. Fallas de material;
3. Fallas de instrumentación;
4. Fallas eléctricas;
5. Influencia externa

Para la determinación de las causas de falla se basa en identificar la “causa raíz” que da lugar a la falla de un equipo, clasificándolas en:

1. Causas relacionadas al diseño;
2. Causas relacionadas a la fabricación / instalación;
3. Causas relacionadas a la operación / mantenimiento;
4. Fallas relacionadas a la gestión;
5. Otros.

#### C.II. Identificación de los modos de falla de los equipos y sub equipos críticos

Se define como modos de falla a las posibles maneras en que un equipo puede fallar o la pérdida de la capacidad de la función principal. Para cada modo de falla se debe asignar una tarea de mantenimiento para lograr minimizarlos o eliminarlos [6]. La norma ISO 14224:2016 categoriza en tres tipos de modos de falla:

1. Función deseada no obtenida
2. Pérdida de una función específica, o función fuera de los límites operacionales establecidos
3. Indicación de falla observada, pero sin impacto inmediato y crítico en la función del equipo

Se clasificaron los equipos en: giratorios, mecánicos y eléctricos [7].

Del análisis realizado se determinó que la mayoría de modos de fallos están asociados a fallas mecánicas y fallas eléctricas.

#### C.III. Efectos y consecuencias de la falla

Los efectos son considerados como la forma en que la falla se manifiesta, las consecuencias se miden mediante la evaluación de su impacto sobre los equipos [6].

Una vez establecidas todas las funciones, fallas funcionales y sus correspondientes modos de falla se califica la severidad, la posibilidad de ocurrencia y la probabilidad de detección temprana de las fallas [8].

Para desarrollar el análisis de modos de falla, causa y efectos se realizó una matriz con los 48 equipos y sub equipos de alta criticidad, donde tomamos como referencia manuales, catálogos, información técnica y reportes históricos para determinar los fallos frecuentes en motores, desfibradores, cuadros eléctricos de control y potencia, *pulpers*, rodillos de zona húmeda y zona seca, mesas de formación, secadores, rebobinadora, calderos, bombas centrífugas, bombas de vacío, *screens* y transformadores logrando determinar un total de 1183 modos de falla.

#### D. Parámetros y técnicas de medición de modos de fallo.

El monitoreo de condiciones implica el uso de elementos específicos para monitorear los equipos con respecto a los modos de falla encontrados, se divide en: monitoreo de condiciones periódico que incluyen técnicas tales como la termografía, vibraciones, análisis de aceite, medición de espesores, análisis Baker, muestreo; y monitoreo de condiciones continuo de parámetros del proceso y condiciones de los equipos a través de instrumentación como la temperatura, presiones, caudales, velocidades, sistema scada usados para detectar condiciones de operación anormales [3].

Tabla II. Ejemplos de parámetros de mediciones usados para diagnósticos [3]

<b>Parámetros de mediciones</b>			
<b>Eficiencia</b>	<b>Mecánico</b>	<b>Eléctrico</b>	<b>Análisis de aceite, calidad y otros</b>
* Consumo de energía	* Expansión térmica	* Corriente	* Análisis de aceite
* Eficiencia	* Posición	* Voltaje	* Análisis de partículas de desgastes de ferrografía
* Temperatura	* Nivel del fluido	* Resistencia	* Dimensiones del producto
* Presión	* Temperatura	* Inductancia	* Propiedades físicas del producto
* Termografía	* Desbalanceo	* Termografía	* Propiedades químicas del producto
* Corriente	* Desplazamiento de vibración	* Capacitancia	* Color
	* Termografía	* Campo magnético	* Aspecto visual
	* Velocidad de vibración	* Resistencia del aislamiento	* Olor
	* Aceleración de vibración	* Descargas	* Pruebas no destructivas
	* Ruido		
	* Ondas		

De acuerdo a estos parámetros se estableció las técnicas de monitoreo apropiadas para los modos de fallo que son medibles donde se optimizará los mantenimientos preventivos ya establecidos en el sistema de gestión mantenimiento actual.

Es importante tomar en consideración que a cada modo de falla le corresponde una acción de mantenimiento, de tal forma, se identificó la mejor estrategia de mantenimiento, ya sea preventiva o predictiva [7].

Para la determinación de los intervalos de monitoreo se utilizaron los tres criterios siguientes:

1. Experiencia del personal relacionado con los equipos.
2. Evaluación de la condición con los resultados de los diagnósticos.
3. Criterio estadístico, son modelos probabilísticos de fallos, en este criterio se sintetiza la experiencia que brinda el historial de fallas e intervenciones asociadas con los equipos.

Mientras más criterios se logren dominar e integrar más importante será la experiencia y más efectivas las decisiones. Por lo tanto, si el personal tiene un alto grado de competencia en los diferentes criterios podrán llegar a la conclusión más apropiada para determinar el intervalo adecuado para los equipos en el contexto operacional que se esté analizando [9].

En base a esta metodología se encontró que en los 48 equipos y sub equipos críticos debe realizarse rondas de inspección periódicas, en 42 llevarse a cabo termografías, en 37 hacer análisis de vibraciones, en 15 análisis de aceite, en 11 ultrasonido, en 10 mediciones de desgaste y en 9 análisis baker.

Del análisis de la documentación técnica se identificó un aproximado de 450 actividades para mantenimiento preventivo entre mecánicas, eléctricas, instrumentación y lubricación realizados en la mayoría de equipos que forman parte de línea de producción ya sean estos de alta, media o baja criticidad. Cabe mencionar que, del total 169 actividades están relacionadas con los equipos y sub equipos definidos como críticos.

#### E. Software para la gestión de información de mantenimiento API PRO

Las herramientas informáticas para el sistema de gestión de mantenimiento permiten administrar la información y monitorear los activos empresariales mejorando la disponibilidad de los equipos, optimización de recursos humanos, materiales y reducción de costos de mantenimiento [10].

En el mercado existen varios *softwares* para la gestión de mantenimiento los cuales ofrecen módulos similares para administrar la información de los equipos que forman parte de una línea de producción. Por lo tanto, para la implementación del software se consideró el soporte técnico a nivel internacional, API PRO cuenta con este servicio en Perú y Costa Rica donde el grupo empresarial tiene molinos papeleros.

API PRO es una herramienta informática que se ha dedicado desde el año 1986 a desarrollar, vender y dar soporte a soluciones avanzadas para la administración del mantenimiento, implementado en más de 400 empresas alrededor del mundo con resultados positivos [10]

#### E.1 Estructura modular

API PRO está construido con una estructura modular que permite a cada empresa a partir de la instalación del sistema básico ir implementando módulos para que su sistema crezca de acuerdo a sus necesidades [10].

Para el manejo de los datos se usó los módulos de información de activos, mantenimiento, inspección e informes estadísticos.

### E.1.1 Módulo de información de activos (documentación de planta y búsqueda de la información).

La información especificada en la documentación de la planta es usada a través de todo el sistema en la búsqueda de información y en el análisis técnico del histórico o de costos.

**Estructura de planta.** API PRO combina dos formas de estructuración de planta, donde los objetos de mantenimiento son enlazados a la estructura de posiciones teniendo la posibilidad de definir las áreas operativas de la planta en la estructura de posiciones y la información detallada de cada objeto de mantenimiento a más documentación completa de movimientos, costos e historia del mantenimiento de cada objeto de mantenimiento individual que se mueve dentro de la planta [10]

Para la estructuración de la planta se propone la taxonomía dividida en unidad legal, planta, área operativa, equipo, sub equipo y repuestos, basada en la norma ISO 14224-2016, donde usa una clasificación sistemática de ubicación y subdivisión de equipos [7].

De acuerdo a estos parámetros se realizó el árbol estructural para la planta identificando las áreas operativas de la línea de producción, las cuales son; preparación de pasta, refinación, mesas de formación, prensado, secado, terminado, planta de aguas y planta de fuerza. En estas áreas operativas están distribuidos los equipos analizados.

Para la codificación API PRO maneja dos tipos para los equipos ya sea está numérica o alfanumérica adaptándose al sistema de codificación existente [10], en la empresa se usó el sistema de codificación numérico empleado en los archivos físicos que maneja la empresa los cuales se ingresaron en el *software*.

**Búsqueda de información única.** Permite ver toda la información de la planta a detalle, teniendo acceso a la estructuración de la planta, lista de repuestos, órdenes de trabajo planificadas, históricos, inspecciones, documentos, fichas técnicas de los equipos.

### E I. II. Módulo de mantenimiento (planificación, recursos e historia)

Con este módulo se maneja todas las actividades de mantenimiento.

Las actividades soportadas en este módulo son:

- Mantenimiento correctivo no planificado
- Mantenimiento correctivo planificado
- Mantenimiento preventivo
- Mantenimiento basado en la condición
- Rutas de inspección (mecánicas, eléctricas, instrumentación y lubricación)

Este módulo cubre todo el proceso desde la generación de órdenes de trabajo, localización de repuestos, materiales, mano de obra, un sistema extensivo de instrucciones de trabajo, herramientas avanzadas para la planificación, registro de actividades, información de fallas, consumo de repuestos, materiales, horas de trabajo y un rango completo de funciones para analizar la información histórica técnica y financiera. [10] En el manejo de las solicitudes de trabajo se elaboró un flujograma de acuerdo a las necesidades de la planta para garantizar la correcta ejecución de las tareas garantizando su ejecución y control de manera eficiente.

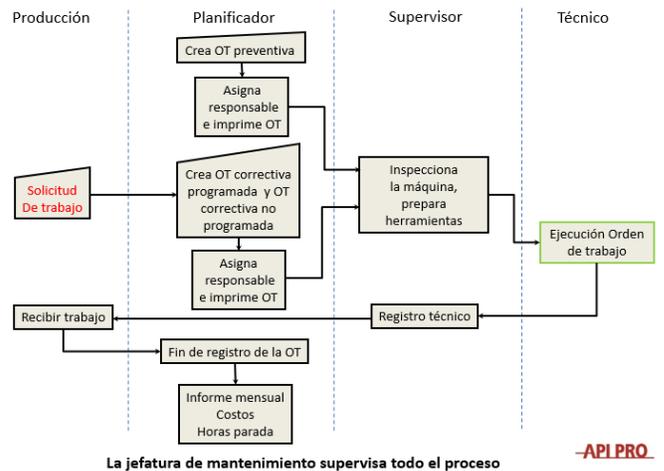


Fig. III. Flujograma de órdenes de trabajo (OT) preventivas, correctivas programadas y correctivas no programadas, Elaboración propia [10].

**Órdenes e instrucciones de trabajo.** La flexibilidad de este *software* permitió realizar un diseño de órdenes de trabajo con sus respectivas instrucciones las cuales tienen detalladas paso a paso las etapas para cumplir las instrucciones establecidas dentro de las órdenes de trabajo.

**Planificación de las actividades de mantenimiento.** API PRO maneja dos herramientas para la planificación de las actividades, las cuales son:

Sistema de acumulación de las órdenes de trabajo, donde se puede tener una vista general de todas las actividades con sus fechas y frecuencias establecidas en un entorno visual, donde, mediante sus filtros de búsqueda se puede obtener información de toda la planta o ya sea de un equipo específico, establecer rangos de fechas, tipos de trabajos (mecánicos, eléctricos, instrumentación, lubricación, etc.) ver en la fig. IV.

**Sistema de inspección de órdenes de trabajo.** Este sistema usa un diagrama de Gantt de todas las órdenes de trabajo, se utiliza para realizar una correcta planificación debido a que maneja un código de colores para identificar las tareas pendientes de ejecución, en ejecución, o espera.

De igual manera que el sistema de acumulación de órdenes de trabajo permite manejar filtros donde podemos establecer rangos de fechas, tipos de trabajo, etc.

**Registro de órdenes de trabajo.** Es una herramienta para manejar información de las tareas de mantenimiento, se utiliza

para mover las órdenes desde la planificación a los históricos la cual permite ingresar tiempos de espera, mano de obra directa e indirecta, repuestos, materiales, tiempos de parada del equipo o de la línea de producción y costos, información para el manejo de datos estadísticos que brinda el API PRO

**Información de históricos.** Los históricos de mantenimiento se puede revisar y analizar desde de la estructura de la planta. Incluye una herramienta analítica gráfica que presenta las estadísticas de los tiempos de parada y espera por repuestos, distribución de órdenes de trabajo de acuerdo al tipo de trabajo; planificado / no planificado / preventivo, costos totales y costos detallados por tipo de trabajo, recursos internos / externos, repuestos y materiales [10].

### *E.I.III. Módulo de inspección.*

La necesidad de optimizar la producción genera un enfoque sobre el mantenimiento predictivo para reemplazar parcialmente las tareas de mantenimiento preventivo.

Este módulo establece rondas de inspección en rutas lógicas a través de la planta, para cada ronda la orden de ejecución es controlada por el usuario, independientemente del sistema de numeración usada para las máquinas o los puntos de inspección o lubricación. Cada ronda puede tener múltiples objetos de mantenimiento, cada objeto tiene varios puntos y en cada punto realizar actividades asociadas a intervalos individuales. Los intervalos son controlados por fecha y /o contadores (horas de funcionamiento, unidades producidas, kilómetros recorridos, etc.) [10].

Del levantamiento de la información se definió un total de 147 rondas de inspección de lubricación, eléctricas, instrumentación y mecánicas para todos los equipos de planta, estas se ingresarán al *software* para un correcto control y administración de las mismas.

### *E.I.IV Módulo de informes estadísticos.*

Una de las ventajas que tiene el API PRO son los datos estadísticos con la facilidad de importarlos a Excel en diagramas de Pareto, los cuales permiten el manejo de

indicadores en todo sistema de gestión de mantenimiento. API PRO los divide en informes financieros e informes de mantenimiento.

Con los datos ingresados se tiene información para medir y controlar los presupuestos, costos de paradas programadas, costos de mantenimiento preventivo, predictivo, correctivo programado y no programado, rondas de inspección, información de horas mano de obra, control de repuestos, análisis de fallos, tiempo medio entre fallos (MTBF), tiempo medio de reparación (MTTR), número de paros. Es necesario establecer un rango de fechas para el análisis estadístico.

### *F. Indicadores para gestión de mantenimiento.*

La gestión realizada debe ser medible, entendible y monitoreada con valores cualitativos y cuantitativos que brindan una herramienta para tomar decisiones acertadas, por lo tanto, los indicadores proporcionan información para apoyar la gestión en el logro de la excelencia en el mantenimiento y en el empleo de los activos técnicos de una manera competitiva, son utilizados para medir el estado, realizar comparaciones, diagnósticos, identificar objetivos, definir metas, medir cambios de manera continua en el tiempo y planificar acciones acertadas de mejora continua a mediano y largo plazo [11].

La política de mejoramiento continuo solo es posible si se realiza seguimientos y control a las metodologías aplicadas en cualquier sistema de gestión, las mediciones son herramientas no solo para detectar oportunidades de mejora, sino también para implementar las acciones [12].

Como ventajas del uso de indicadores podemos decir que nos permiten realizar seguimientos, evaluar los logros de los objetivos plateados, determinar las no conformidades en los procesos, mejorar los procedimientos, identificar las fortalezas y las debilidades [12].

Basados en la norma UNE-EN 15341 se han seleccionado indicadores claves para la gestión de mantenimiento, los cuales están dentro de tres perspectivas; indicadores técnicos, indicadores claves económicos e indicadores organizacionales.

Tabla III. Indicadores claves económicos para la gestión de mantenimiento.  
Elaboración propia [11]

<b>Indicadores clave económicos para gestión de mantenimiento</b>			
<b>Indicador</b>	<b>Unidades</b>	<b>Explicación y cálculo</b>	<b>Frecuencia</b>
Costo total de mantenimiento	Dólares Americanos	Sumatoria de remuneraciones, repuestos, materiales, herramientas, equipos, consultorías, contratistas, capacitación del personal en un periodo de tiempo establecido. No incluye los costos relacionados tiempos inactivos con respecto a pérdidas de producción	Mensual Anual
Costo total de mantenimiento / Costo total de conversión	% del costo de mantenimiento con relación al costo total de conversión	% del costo total de conversión pertenece al mantenimiento	Mensual Anual
Costo de mantenimiento por tonelada de papel	% del costo de mantenimiento con relación al costo de conversión de una tonelada de papel	% del costo total de conversión de una tonelada de papel pertenece al mantenimiento	Mensual Anual
Costo de mantenimiento preventivo	Dólares Americanos	Determinar el costo del mantenimiento preventivo	Mensual Anual
Costo de mantenimiento correctivo programado	Dólares Americanos	Determinar el costo del mantenimiento correctivo programado ( costos de paradas programadas )	Mensual Anual
Costo de mantenimiento correctivo no programado	Dólares Americanos	Determinar el costo del mantenimiento correctivo no programado	Mensual Anual
Costo de mantenimiento predictivo	Dólares Americanos	Determinar el costo del mantenimiento predictivo (vibraciones, termografía, baker on-line, ultrasonido, análisis de aceites, rutas de inspección)	Anual
Costos de mano de obra	Dólares Americanos	Mano de obra del personal de mantenimiento de la planta. Incluye horas suplementarias y extraordinarias	Mensual
Costos de servicios prestados	Dólares Americanos	Mano de obra del personal contratado	Mensual
Costos de materiales y repuestos	Dólares Americanos	Costo de materiales y repuestos utilizados en los diferentes tipos de mantenimiento realizados en un periodo de tiempo establecido	Mensual
Costos de capacitación	Dólares americanos por persona	Costo total de capacitación interna o externa dividido para el total del personal directo de mantenimiento	Mensual Anual

Tabla IV. Indicadores claves técnicos para la gestión de mantenimiento.  
Elaboración propia [11]

<b>Indicadores clave técnicos para gestión de mantenimiento</b>			
<b>Indicador</b>	<b>Unidades</b>	<b>Explicación y cálculo</b>	<b>Frecuencia</b>
Disponibilidad	% de horas	(Horas de mantenimiento programado + horas de mantenimiento no programado) / horas totales de producción	Mensual Anual
Tiempo de paros no programados	Horas	Cuantifica las horas de paro de la producción generados por mantenimientos correctivos no programados (mecánicos, eléctricos, instrumentación, lubricación)	Mensual Anual
Tiempo de paros programados	Horas	Cuantifica las horas de paro de la producción generados por mantenimientos correctivos programados (mecánicos, eléctricos, instrumentación, lubricación)	Mensual Anual
Tiempo medio entre fallos (MTBF)	Horas	Permite conocer la frecuencia con la que suceden los fallos. Tiempo total de funcionamiento / número de fallos	Mensual Anual
Tiempo medio de reparación (MTTR)	Horas	Permite conocer el tiempo de reparación de un fallo. Tiempo total de reparación / número de fallos	Mensual Anual

Tabla V. Indicadores organizacionales para la gestión de mantenimiento.  
Elaboración propia [11]

<b>Indicadores organizacionales para gestión de mantenimiento</b>			
<b>Indicador</b>	<b>Unidades</b>	<b>Explicación y cálculo</b>	<b>Frecuencia</b>
Índice de frecuencia de accidentabilidad	Índice	Cuantifica la gravedad de los accidentes ocurridos. Nº de accidentes por 1000000/ Nº de horas trabajadas	Mensual Anual
Horas - hombre de mantenimiento preventivo	%	horas-hombre de mantenimiento preventivo / horas-hombre totales de mantenimiento	Mensual
Horas - hombre de mantenimiento correctivo programado y no programado	%	horas-hombre de mantenimiento correctivo programado y no programado / horas-hombre totales de mantenimiento	Mensual
Horas-hombre suplementarias de mantenimiento	%	Horas-hombre suplementarias de mantenimiento / horas-hombre totales de mantenimiento	Mensual
Horas-hombre extraordinarias de mantenimiento	%	Horas-hombre extraordinarias de mantenimiento / horas-hombre totales de mantenimiento	Mensual
Cumplimiento de mantenimiento preventivo	%	Órdenes de trabajo preventivas ejecutadas / ordenes de trabajo preventivas generadas	Mensual
Cumplimiento de mantenimiento correctivo programado	%	Órdenes de trabajo correctivos programados ejecutados/ Órdenes de trabajo correctivos programados generados	Mensual
Cumplimiento de mantenimiento predictivo	%	Órdenes de trabajo predictivos ejecutados/ Órdenes de trabajo predictivos generados	Mensual

### III. RESULTADOS

Con el análisis de la documentación técnica de historiales físicos de 3 años se encontraron 309 equipos que forman parte de la línea de producción, se realizó una matriz de criticidad basada en la norma NORSOK Z-008 donde se obtuvo 48 equipos y sub equipos con alta, 117 con media y 144 con baja criticidad.

A partir de los 48 equipos y sub equipos críticos se realizó una la matriz de modos de fallos, causa y efectos donde se determinó un total de 1183 modos de fallos.

Para cada modo de fallo se determinaron las actividades, procedimientos y frecuencias de monitoreo de condición adecuadas, se definió que en el 100 % de los equipos y sub equipos críticos del molino papelerero deben realizarse rondas de inspección periódicas; en el 92% termografías, 77% análisis de vibraciones, 31% análisis de aceite, 23% ultrasonido, 21% mediciones de desgaste y en el 19% análisis baker. Estas actividades se complementan con los 169 mantenimientos preventivos definidos en la documentación técnica.

En el *software* API PRO se estableció la taxonomía para realizar la estructuración de todos los equipos y sub equipos, se ingresó la documentación, datos técnicos, repuestos y mantenimientos. Con estos datos, el API PRO entrega información estadística, financiera y de mantenimiento, los cuales se utilizaron en los indicadores económicos, técnicos y organizacionales definidos en pro del control y mejora del

sistema de gestión. Se desarrolló también un total de 24 indicadores claves para administrar la gestión de mantenimiento

### IV. CONCLUSIONES.

Para el correcto manejo de la información primero se debe realizar una matriz de criticidad de los equipos y sub equipos que forman parte de la línea de producción, esto para priorizar y cuantificar la criticidad de los mismos.

De todas las herramientas de análisis recomendadas para el monitoreo de condiciones en un molino papelerero por tener alto índice de equipos giratorios y de potencia, las técnicas de monitoreo de condición que mayor información entregan son; rondas de inspección, análisis de vibraciones y termografías.

Con el apoyo de los módulos de búsqueda inspecciones e informes del *software*, se emite información estadística financiera y de mantenimiento. Que conduce a indicadores claves para la gestión.

### V. AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mi esposa, a mis hijas y a mi mamá por todo el apoyo brindado en el transcurso de este tiempo para cumplir esta meta.

## VI. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Pistarelli, A. J. (2010). *Manual de Mantenimiento: Ingeniería, Gestión y Organización*. Banfield Buenos Aires.
- [2] Tabarez, L. (2006). *Aministración Moderna de Mantenimiento*. Brasil: Novo Polo Publicaciones.
- [3] ISO. (17359:2018). *Condition monitoring and diagnostics of machines — General guidelines*.
- [4] Norma Norsok 008 (2011). Norma Noruega. *Mantenimiento basado en riesgo y en la clasificación de la consecuencia*.
- [5] Smook, G. A. (1990). *Handbook for Pulp & Paper Technologists*. Atlanta, Georgia.
- [6] Aguilar-Otero, J. R., Torres-Arcique, R., & Magaña-Jiménez, D. (2010). *Análisis de modos de falla, efectos y criticidad (AMFEC) para la planeación del mantenimiento*. Monterrey, México.
- [7] ISO. (14224: 2016). *"Petroleum, petrochemical and natural gas industries – Collection and exchange of reliability and"*
- [8] Mora, A. (2005). *Mantenimiento Estratégico para Empresas Industriales o de Servicios*. Medellín Colombia.
- [9] Electronic Document: Sexto, Luis Felipe. *¿CÓMO DETERMINAR LA FRECUENCIA DE MANTENIMIENTO? SEIS CRITERIOS TÉCNICOS DE DECISIÓN* [en línea]. Marzo de 2017. [01/06/2020]. Disponible en Internet: blog master Sostenibilidad, Mantenimiento & Gestión de Activos, <<https://se-gestiona.radicalmanagement.com>> y Portal Radical Management <<https://www.radicalmanagement.com>>.
- [10] APIPRO. (2018). *Enterprise Asset Management Software, User's guide*. Denmark.
- [11] UNE-EN (15341:2008). *Maintenance. Indicateurs-clés de performances en matière de maintenance*. Madrid. España: AENOR.
- [12] Uday Kumar, D. G. (Vol. 19 No. 3, 2013). *Maintenance performance metrics: a estate-of-the-art review*. Emerald Group Publishing Limited.