



**ANÁLISIS DE MANTENIMIENTO BASADO CONDICIÓN EN ZONA DE ENVASADO
LÍNEA DE PRODUCCIÓN PET DE POSTOBÓN S.A, UTILIZANDO HERRAMIENTAS
PREDICTIVAS**

Juan Carlos Jaimes Jáuregui

Monografía presentada para optar al título de Especialista en Gerencia de Mantenimiento

Asesor

Noé Alejandro Mesa Quintero Magíster (MSc) en Ingeniería

Universidad de Antioquia

Facultad de Ingeniería

Especialización en Gerencia de Mantenimiento

Medellín, Antioquia, Colombia

2022

Cita	Juan Jaimes [1]
Referencia Estilo IEEE (2020)	[1] Juan Jaimes, “Análisis de mantenimiento basado condición en zona de envasado línea de producción pet de Postobón S.A, utilizando herramientas predictivas”, Trabajo de grado especialización, Especialización en Gerencia de Mantenimiento, Universidad de Antioquia, Medellín, Antioquia, Colombia, 2022.



Especialización en Gerencia de Mantenimiento, Cohorte XXVII.

Sede de Investigación Universitaria (SIU).



Repositorio Institucional: <http://bibliotecadigital.udea.edu.co>

Universidad de Antioquia - www.udea.edu.co

Rector: Jhon Jairo Arboleda Céspedes

Decano/Director: Jesús Francisco Vargas Bonilla

Jefe departamento: Noé Alejandro Mesa Quintero

El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Antioquia ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por los derechos de autor y conexos.

Dedicatoria

Dedico la siguiente monografía a Dios y a mi mamá, papá, esposa e hija que han estado constantemente de mi lado dándome fuerzas para culminar mis estudios.

Agradecimientos

Agradezco a Dios por permitir la oportunidad de estudio en mi camino, a mi familia por el acompañamiento y sustento constante, a la empresa Postobón S.A por el apoyo económico y brindar espacios para dichos estudios, y a mis profesores que han estado dispuestos para asesorar académicamente.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN	8
ABSTRACT.....	9
I. INTRODUCCIÓN	10
II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	12
III. JUSTIFICACIÓN.....	13
IV. OBJETIVOS	15
V. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	16
VI. MARCO TEÓRICO	17
VII. METODOLOGÍA	39
VIII. RESULTADOS	55
IX. CONCLUSIONES.....	59
X. RECOMENDACIONES	60
REFERENCIAS	61

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Plan de mantenimiento predictivo	27
Tabla 2. Matriz de criticidad de activos de Postobón S.A.....	41
Tabla 3. Descripción de la jerarquización de la taxonomía	43
Tabla 4. Desarrollo de la taxonomía para los equipos críticos de la matriz	45
Tabla 5. Costo de mantenimiento, servicio y materiales	48
Tabla 6. Análisis consecuencia de componentes	48
Tabla 7. Componentes para análisis MBC.....	49
Tabla 8. Hoja de ruta de técnicas predictivas.....	50
Tabla 9. Mediciones y análisis predictivos vibraciones	54
Tabla 10. Mediciones y análisis predictivos tribología	54
Tabla 11. Mediciones y análisis predictivos termografía	54
Tabla 12. Optimización costos de mantenimiento implementando MBC.....	57
Tabla 13. Relación de ahorros con implementación MBC	58

LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Curva P-F.....	13
Ilustración 2. Flujo mantenimiento predictivo	18
Ilustración 3. Partidas de costos de reparaciones de mantenimiento	19
Ilustración 4. Modelo del Iceberg de Wienker.....	20
Ilustración 5. Período de desarrollo de una falla.....	21
Ilustración 6. Matriz de criticidad	23
Ilustración 7. Jerarquía de taxonomía.....	24
Ilustración 8. Impacto de las paradas por intervenciones según una estrategia reactiva, preventiva o predictiva.....	26
Ilustración 9. Módulos de SAP	29
Ilustración 10. Analizador de Vibraciones	31
Ilustración 11. Cámara Termográfica.....	32
Ilustración 12. Medidor de Ultrasonido.....	33
Ilustración 13. Power BI.....	36
Ilustración 14. Plataforma power mi	38
Ilustración 15. Criterios de evaluación matriz criticidad, factores.....	40
Ilustración 16. Criterios de evaluación matriz criticidad, evaluación	41
Ilustración 17. Estructura taxonómica.....	43
Ilustración 18. Plano electro – mecánico de llenadora línea pet.	44
Ilustración 19. Modelo taxonómico en forma de flujo	46
Ilustración 20. Factores de evaluación de consecuencia componentes	47
Ilustración 21. Entorno para crear plan de mantenimiento predictivo en SAP.....	51
Ilustración 22. Operaciones para medición – análisis predictivo.....	52
Ilustración 23. Configuración de frecuencias para operaciones predictivas.....	53
Ilustración 24. Primera pantalla de aplicación informática para MBC	55
Ilustración 25. Segunda pantalla de aplicación informática para MBC	56
Ilustración 26. Comparación de frecuencias de mantenimiento en implementación de MBC	57
Ilustración 27. Comparación costos de mantenimiento en implementación de MBC	58

SIGLAS, ACRÓNIMOS Y ABREVIATURAS

MBC - Mantenimiento basado en condición

ERP - Sistema de planificación de recursos empresariales

SAP - Desarrollo de programas de sistemas de análisis

OEE - Eficiencia general de equipo

ROI - Retorno de inversión

ISO - Organización Internacional de Normalización

P&ID - Diagrama de tuberías e instrumentación

MTTR - Tiempo medio de reparación

TAG - Lenguaje de marcado

RESUMEN

Esta monografía tiene como finalidad crear una estructura de confiabilidad de activos, para lograr optimizar costos de mantenimientos y mejorar indicadores de rendimiento productivo. Los pasos de la implementación fueron: desarrollar matriz de criticidad de activos, taxonomía de equipos, consecuencia de componentes, plan de mantenimiento predictivo en SAP, estructura de mantenimiento basado en condición por medio de un diseño de una aplicación informática para condición de activos.

Para implementar las técnicas predictivas a los activos críticos se creó un plan de mantenimiento predictivo con unas frecuencias estipuladas de medición y análisis, y así identificar qué tipo de técnica hay que implementar y los modos de fallos; posteriormente fue necesario crear una ruta de confiabilidad donde se registra todos los datos de mediciones y análisis, para luego desarrollar el software que muestra todos los resultados de las mediciones y modos de fallo diagnosticados.

La clave del éxito de la implementación es buscar ahorros en costos de mantenimiento partiendo de frecuencias de recambio y garantizar la confiabilidad del activo; en el análisis de consecuencias de componentes se relaciona el costo del mantenimiento y costo de la falla y así identificar las oportunidades de optimizar los costos de intervención. La implementación se realizó para la zona de envasado en una de las líneas de producción pet de la empresa Postobón S.A, con la finalidad de replicar la aplicación a nivel nacional e impactar favorablemente en el costo del mantenimiento en todas las plantas.

Palabras clave — **Confiabilidad de activo, activos, taxonomía de equipos, criticidad de máquinas.**

ABSTRACT

The purpose of this monograph is to create an asset reliability structure, in order to optimize maintenance costs and improve productive performance indicators. The implementation steps were: develop asset criticality matrix, equipment taxonomy, consequence of components, predictive maintenance plan in SAP, condition-based maintenance structure through the design of a computer application for asset condition.

To implement predictive techniques to critical assets, a predictive maintenance plan was created with stipulated measurement and analysis frequencies and thus identify what type of technique must be implemented and the failure modes; Subsequently, it was necessary to create a reliability route where all the measurement and analysis data is recorded, in order to later develop the software that shows all the measurement results and diagnosed failure modes.

The key to the success of the implementation is to seek savings in maintenance costs based on replacement frequencies and guarantee the reliability of the asset; in the analysis of the consequences of components, the cost of maintenance and the cost of failure are related and thus identify opportunities to optimize intervention costs. The implementation was carried out for the packaging area in one of the pet production lines of the company Postobón S.A, with the purpose of replicating the application at a national level and favorably impacting the cost of maintenance in all plants.

Keywords — Asset reliability, assets, equipment taxonomy, machine criticality.

I. INTRODUCCIÓN

En la industria donde se utilizan activos físicos como máquinas para la producción, se requiere hacer actividades de mantenimiento rutinarias como:

- Lubricación y limpieza
- Cambio de piezas
- Inspecciones y ajustes

Lo anterior para garantizar la vida útil del activo evitando que se llegue a una falla funcional y se entre en una operación peligrosa del equipo, causando que llegue a un fallo total o catastrófico. El siguiente punto es que, en general, en la industria no se tiene una frecuencia óptima estimada para el cambio de piezas porque depende de un contexto operativo y esas frecuencias de recambio pueden variar comprometiendo la funcionalidad del activo, convirtiéndose en un riesgo para la operación porque se podría llegar a la avería del activo; entonces los ingenieros de mantenimiento, muchas veces para no comprometer la funcionalidad del equipo, programan cambios de piezas en frecuencias anticipadas, convirtiéndose el mantenimiento preventivo en intervenciones costosas teniendo en cuenta que se incurriría en cambio de piezas y servicio innecesarios, y además con una programación ineficiente de la mano de obra Inhouse.

La ingeniería de mantenimiento investiga el funcionamiento de los equipos industriales y el patrón de falla en el tiempo y soporta su teoría en el ciclo de vida, empezando desde una operación segura e indicando que, a través del tiempo, empieza a manifestarse una falla funcional que puede ser percibida con técnicas predictivas, lo que se convertiría en una estrategia de mantenimiento basado en condición (MBC), supervisando a una frecuencias de medición y análisis o de forma online, para detectar el momento exacto donde se manifiesta un modo de falla funcional de condición que pueda afectar la operatividad del equipo.

Sin embargo, cabe notar que la estrategia de mantenimiento basado condición (MBC) solo es justificable para activos críticos que puedan afectar considerablemente la operación, seguridad o medio ambiente; porque la implementación es costosa y debe tener un retorno de inversión que justifique que esa supervisión de activos, garantice la menor cantidad de fallas; lo que significa afectar positivamente los índices de confiabilidad y disponibilidad, así simultáneamente el indicador “Eficiencia general de los equipos – OEE”.

Para la implementación de mantenimiento basado en condición (MBC) se requieren conocimientos amplios en confiabilidad de activos y saber cómo implementar los pasos que lleguen a la selección de equipos críticos y componentes idóneos para supervisión predictiva; partiendo de lo anterior se obtiene el plan de mantenimiento predictivo que arroje órdenes de medición y análisis a técnicos de confiabilidad que tengan las competencias de interpretar la información para dar un diagnóstico y recomendación. Luego realizar las actividades de cambio de piezas partiendo de una fuente confiable, con soporte de datos que justifique la intervención.

II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Las empresas actualmente tienen un costo elevado en mantenimiento de activos y las frecuencias de recambio de repuestos están sujetas a recomendación del fabricante y experiencia del personal de planta, pero hay que tener en cuenta que los contextos operativos de los equipos son variantes, entonces no se tiene acierto al momento de ejecutar el mantenimiento preventivo, trayendo como consecuencias desmonte de piezas en buen estado o comprometiendo la funcionalidad de los equipos.

La práctica de mantenimiento basado en tiempo o “preventivo”, ha demostrado que puede reducir los tiempos de paro no planeados, reducir la cantidad de fallas imprevistas, incrementar la confiabilidad en la operación, pero tiene un gran inconveniente; a saber, su costo es muy elevado. Revisar, ajustar o reparar máquinas cuando “aún no lo requieren” o cuando es “demasiado tarde”, se deriva en gastos excesivos y en muchas ocasiones innecesarios. Por eso decimos que, “si la máquina no está descompuesta, ¡no la repares!” [1].

A. Antecedentes

En la empresa Postobón S.A se han presentado fallas en equipos críticos que impactan la productividad, dejando de entregar producto vendido al cliente final; además, impactando los costos operativos (mano de obra, fletes, mantenimiento incluyendo materiales y servicios) y con repercusión a la disponibilidad de planta.

Para líneas de producción que trabajan las 24 horas de día los 7 días de la semana, y partiendo de equipos críticos que afectan la producción, cuyos componentes o ítem mantenibles puedan ser diagnosticados con anticipación con técnicas predictivas, existe la estrategia mantenimiento basado en condición MBC, que impacta positivamente en confiabilidad, disponibilidad y costo de mantenimiento, que, en principio, fue la oportunidad identificada.

III. JUSTIFICACIÓN

El mantenimiento basado en condición MBC representa una evolución en el mantenimiento porque parte de un análisis previo, identificando equipos críticos y de ahí la evaluación de componentes a los cuales se pueden supervisar y diagnosticar con técnicas predictivas como termografía, ultrasonido, monitoreo de vibración y análisis de aceite. Todo un análisis previo para evitar que una falla potencial se convierta en falla funcional o total; con ayuda de la ingeniería de mantenimiento y teniendo en cuenta el ciclo de operación del activo y su contexto operativo, se da la identificación de intervalo entre la falla potencial y falla funcional (intervalo PF), e identificando la zona de operación segura zona donde intervienen los diagnósticos predictivos, se evita que el activo entre en una zona de mantenimiento costoso, el cual se da cuando la patología de la falla es más severa, representándose con ruidos audibles o calentamientos excesivos.

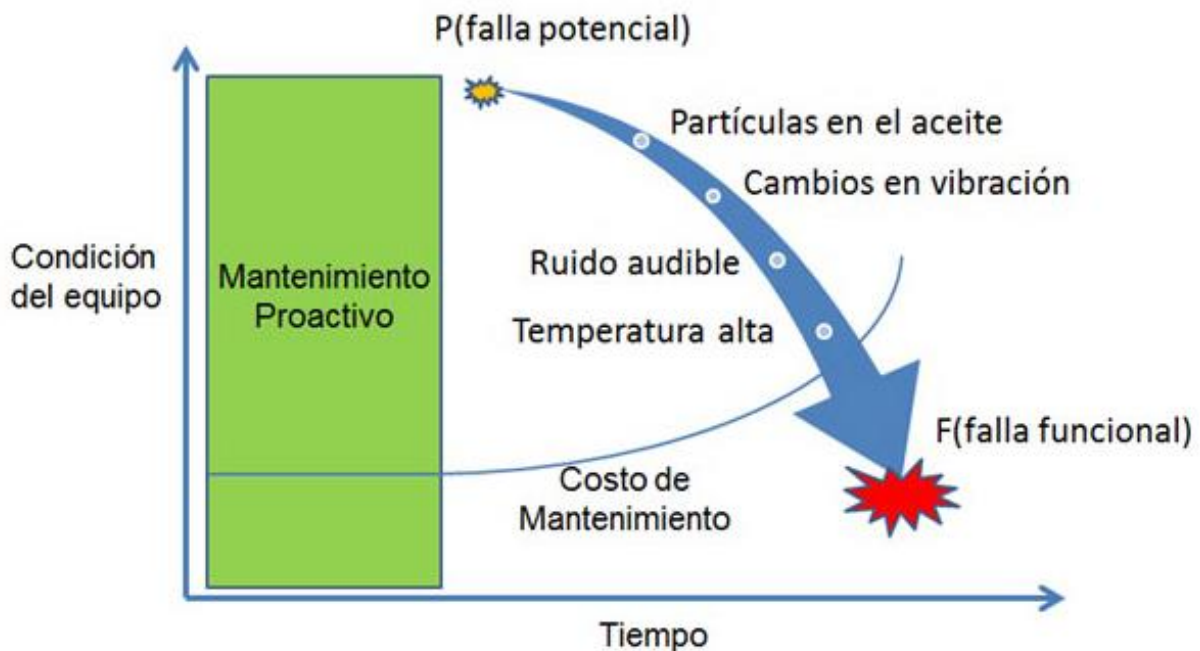


Ilustración 1. Curva P-F

Nota: fuente <https://predictiva21.com/curva-p-f-mantenimiento-proactivo/>

El mantenimiento basado en condición MBC está orientado a la captación de información de diagnósticos predictivos partiendo de mediciones y análisis para la toma de decisiones, estableciendo tendencias y trazabilidades que puedan ayudar a predecir fallas y prolongar la vida útil del activo.

Dentro de la gestión del mantenimiento uno de los potenciales más grandes que se tiene es la optimización de los gastos (materiales y servicios) brindando una correcta confiabilidad de los activos. Actualmente en las plantas de Postobón S.A se recurre a realizar mantenimientos programados basándose en las recomendaciones del fabricante y al momento de desmontar piezas se observan que aún están en buen estado, pero cómo saber la realidad; para esto es necesario implementar un programa de monitoreo basado en la condición, estructurado, donde se puedan analizar resultados y que los activos operen en una condición segura y esos mantenimientos sean realizados en el momento propicio de la vida útil del funcionamiento.

IV. OBJETIVOS

A. Objetivo general

Desarrollar un análisis de mantenimiento basado condición en zona de envasado línea de producción pet basándose en diagnósticos predictivos.

B. Objetivos específicos

- Desarrollar una matriz de criticidad de activos.
- Crear taxonomía de equipos críticos.
- Diseñar un modelo de evaluación de componentes, obteniendo las consecuencias, partiendo de factores de impacto y costos asociados al mantenimiento y la posible falla.
- Diseñar un plan de mantenimiento predictivo, creando hojas de ruta con la descripción de las mediciones y análisis.
- Crear planes de mantenimiento en SAP, asociando las técnicas predictivas por operación y estableciendo una frecuencia de medición y análisis.
- Desarrollar una aplicación informática de condición de activos donde estén todas las mediciones y análisis predictivos registrados.

V. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

Para la implantación de la estrategia de mantenimiento basado en condición MBC se debe partir de la necesidad de adquisición de equipos predictivos costosos o tener presupuesto de mantenimiento para contratar outsourcing que realicen mediciones y análisis predictivos. Para el caso de la implementación en Postobón S.A se evaluaron licitaciones de aliados estratégicos para realizar servicio, partiendo de la identificación previa de los componentes a los cuales se iba a monitorear y que estaban dentro de la planificación predictiva del ERP SAP.

Dentro del marco de la implementación y seguimiento surge una oportunidad; si se adquieren los equipos predictivos para realizar monitoreos se debe contar con personal altamente calificado, como técnicos e ingenieros de confiabilidad para el diagnóstico y el análisis tendencial de la información.

En la empresa Postobón S.A se tiene como ERP planificador de mediciones y análisis a SAP, pero este solo llega hasta la programación y notificación de actividades predictivas; donde surge la necesidad de una plataforma donde se registre la información captada de las mediciones y posterior análisis e identificación de modos de falla. En consecuencia, es necesario adquirir o crear una aplicación informática donde se registre la información a través del tiempo, para identificar trazabilidades de la condición del activo hasta llegar al cambio de partes.

VI. MARCO TEÓRICO

El mantenimiento basado en condiciones se lleva a cabo midiendo periódicamente algunas variables físicas de cada máquina, con el uso de los transductores apropiados. Lo anterior se realiza durante la operación normal de los equipos y bajo sus condiciones de velocidad y carga operativa. De forma analógica, se realiza el estudio de los “signos vitales”, cuya evaluación permite identificar las condiciones “reales” de operación y confiabilidad de la máquina. Con la evaluación de la condición de la maquinaria pretendemos hacer el “mantenimiento correcto en el momento correcto”; ni más ni menos del requerido, ni antes ni después de ser realmente necesario. Ahora deseamos realmente reducir los costos de mantenimiento, pero sin sacrificar la confiabilidad de la operación [1].

A. Cálculo de ahorros generados por mantenimiento predictivo:

Calcular los ahorros por mantenimiento predictivo permite justificar todas las inversiones en tecnología, servicios y personal. Igualmente, sirve de base para calcular el ROI (Return On Investment) del mantenimiento basado en la condición. Hay empresas que en un solo diagnóstico han demostrado amortizar la inversión de mantenimiento predictivo de un año. En plantas de medianas a grandes los ahorros mínimos están alrededor de los 100.000 dólares. En promedio están entre medio millón y un millón de dólares anuales. En casos de plantas muy grandes, hay casos que sobrepasan los 5 millones anuales [2].

Cuando un analista predictivo detecta un fallo potencial en el tiempo P-F hace el informe reportando este, del informe se hace una orden de trabajo, de la orden de trabajo se hace una reparación correctiva y al terminarla el analista comprobará que las señales o síntomas que generaban ese fallo han desaparecido [2].

Pues bien, la historia no termina ahí. Después que hemos comprobado que el fallo potencial ha desaparecido debemos documentar el caso de estudio. Y es para ese caso de estudio que calcularemos los ahorros [2].



Ilustración 2. Flujo mantenimiento predictivo

Nota: fuente <https://power-mi.com/es/content/c%C3%B3mo-calculan-los-ahorros-generados-por-tu-mantenimiento>

Los ahorros es la diferencia entre lo que gastamos en la reparación en el punto de fallo potencial y lo que nos hubiera costado repararlo si hubiera llegado a un fallo funcional. Esa diferencia es lo que le ahorramos a nuestra empresa [2].

$$\text{Ahorros} = \text{CostoF} - \text{CostoP}$$

Si comenzamos a calcular los ahorros en los casos de estudio y si sobre una evidencia y datos comprobables demostramos el dinero ahorrado durante todo un año, los resultados suelen ser sorprendentes [2].

- ¿Cómo se calculan los costos?

Los costos de una tarea de mantenimiento se componen de:

- Costos de personal
- Costos de servicios contratados
- Costos de partes o repuestos
- Costos de paro de producción imprevisto

Si se calculan los costos de estos dos escenarios: lo que cuesta actuando a tiempo (P) y lo que nos hubiera costado si hubiese llegado a un fallo funcional (F) por no tener predictivo y se calcula la diferencia, con lo anterior se obtiene el ahorro [2].

Partidas	Costos P		Costos F		Ahorros
	Coste por hora	Trabajo realizado	Situación evitada		
Tiempo de parada de producción :	\$1,000.00	10 horas \$10,000.00	10 horas \$10,000.00	\$0.00	
Trabajo de mantenimiento :	\$500.00	5 horas \$2,500.00	25 horas \$12,500.00	\$10,000.00	
Horas extras de trabajo de mantenimiento :	\$1,000.00	1 hora \$1,000.00	18 horas \$18,000.00	\$17,000.00	
Piezas de repuesto :		\$3,000.00	\$150,000.00	\$147,000.00	
Otros servicios :		\$1,500.00	\$1,000.00	-\$500.00	
TOTALES		\$18,000.00	\$191,500.00	\$173,500.00	

Ahorro 

Ilustración 3. Partidas de costos de reparaciones de mantenimiento

Nota: fuente <https://power-mi.com/es/content/c%C3%B3mo-calculer-los-ahorros-generados-por-tu-mantenimiento>

El gran ahorro está en los costos indirectos tal como lo muestra el modelo Weinker en la imagen. Para calcular estos costos indirectos u ocultos, es necesario interactuar con otro departamento o unidad de nuestra empresa (por ejemplo: producción, calidad, prevención de riesgos, medio ambiente u otros) [2].



Ilustración 4. Modelo del Iceberg de Wienker

Nota: fuente <https://power-mi.com/es/content/c%C3%B3mo-calculan-los-ahorros-generados-por-tu-mantenimiento>

El cálculo de costos en el punto F (cuando se llega a un fallo funcional) se hace con base en el historial, datos y sin asumir una situación catastrófica y con un soporte documental como evidencia [2].

B. Intervalo P-F (Periodo de desarrollo de la falla):

En la figura 1 la curva P-F muestra cómo una falla comienza y prosigue el deterioro hasta un punto en el cual puede ser detectado (el punto de Falla Potencial "P"). A partir de ahí, si no se detecta y no se toman las acciones adecuadas, continúa el deterioro a veces a un ritmo acelerado hasta alcanzar el punto "F", de Falla Funcional. El tiempo que transcurre entre el punto en que aparece una Falla Potencial y el punto en el cual se transforma en una Falla Funcional, se conoce como intervalo P-F. Es de destacar que el punto "E" simboliza la aparición de una falla y que su representación depende de las variables de estado de diagnóstico que la representan, es decir, este punto es multivariable en el tiempo[3].

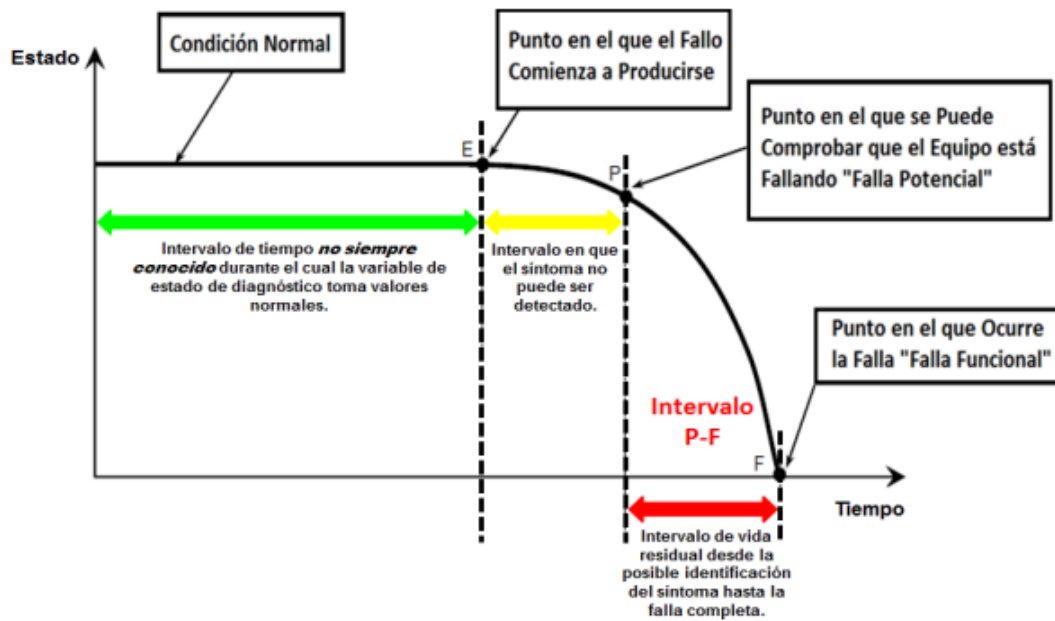


Ilustración 5. Período de desarrollo de una falla

Nota: fuente <http://www.laccei.org/LACCEI2013-Cancun/RefereedPapers/RP271.pdf>

Cuanto antes pueda detectarse el síntoma (punto P), más prolongado será el espacio de tiempo entre este y la falla total del equipo (punto F). Una localización anticipada del punto “P” se produce a partir de la evaluación de las variables de estado de diagnóstico, las cuales se relacionan con las fallas que las mismas representan a partir de la matriz de falla. La detección anticipada del punto “P” depende entre otras cosas, del equipamiento utilizado en la medición de estas variables, de su periodo de muestreo y la detectibilidad de las mismas. Un análisis detallado debe ser realizado para cada equipo y poder direccionar las actividades de diagnóstico y mantenimiento de forma de mejorar la efectividad de estas acciones y sus resultados [3].

C. Matriz de criticidad de equipos:

Para el análisis de criticidad de los equipos se utiliza la metodología del modelo Semi-cuantitativo, esta evaluación tiene como finalidad determinar el riesgo, frecuencia de falla y consecuencias de los eventos de dichas fallas en los equipos de la empresa [4].

La evaluación general de los equipos se realiza a través de la caracterización de los factores que involucran directamente el valor ponderado (frecuencia de falla, impacto operacional, tiempo promedio para reparar, flexibilidad operacional, costos de mantenimiento, impacto en seguridad personal e impacto ambiental). Cada criterio es evaluado a través de puntaje, el cual fue referenciado de la norma SAE 1739 [5] y se asigna con base en la opinión del equipo del área de mantenimiento y el concepto de los operadores de cada máquina, quienes tienen el conocimiento de los sucesos que presentan los equipos [4].

Para el cálculo de la Criticidad se utilizan las siguientes operaciones dadas por las ecuaciones (1 y 2) que son mostradas a continuación:

Criticidad total (CT) = Frecuencia (FF) x Consecuencias (CC) “Ecuación 1”

Dónde las consecuencias son calculadas de la siguiente manera:

Consecuencias (CC) = IO x FO + CM + ISA “Ecuación 2”

Dónde: FF, es la frecuencia; CC, son las consecuencias; IO, es el impacto operacional; FO, es la flexibilidad operacional; CM, es el Costo de mantenimiento y ISAH, Impacto seguridad ambiente e higiene [4].

A cada uno de los equipos a estudiar se les asigna una calificación correspondiente con cada factor, y el valor final de Criticidad se calcula usando las ecuaciones 1 y 2. Se utilizan las columnas de frecuencia y consecuencia para el desarrollo de la Matriz de Criticidad, la cual ayuda a determinar la tendencia de mantenimiento aplicable para cada equipo. En la ilustración 5 se muestra el modelo para la construcción de la Matriz de Criticidad. Esta Matriz de Criticidad señala la dependencia de la Frecuencia (FF) como función de la Consecuencia (CC) y en ella se plasma el grado de Criticidad de los mantenimientos [4].

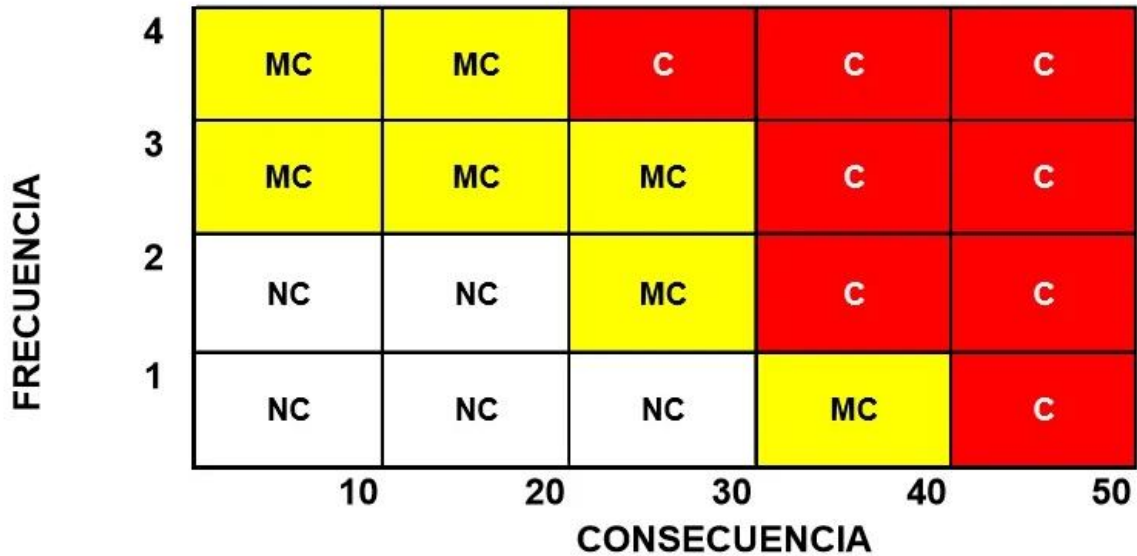


Ilustración 6. Matriz de criticidad

Nota: fuente <http://www.mantenimientomundial.com/notas/Metodos-basicos-de-criticidad-activos.pdf>

Las zonas señaladas por colores designan la aplicación de operaciones con determinadas tendencias; el área en rosa representa un mantenimiento predictivo, el color amarillo denota un mantenimiento preventivo y el color verde simboliza un mantenimiento correctivo. Esta metodología adecuada para el desarrollo de programas de mantenimiento, refleja el desempeño real de los equipos, lo que significa que es posible obtener de resultados positivos de productividad a partir de este modelo [6].

D. Taxonomía de equipos:

La norma ISO 14224 [7] define la taxonomía como la clasificación sistemática de equipos o sistemas en grupos genéricos, basada en sus características comunes (localización, uso, tipo de equipo, etc.), la taxonomía es representada en forma de pirámide como se observa en la fig. 6, y representa la ubicación del equipo o activo dentro de la organización [8].

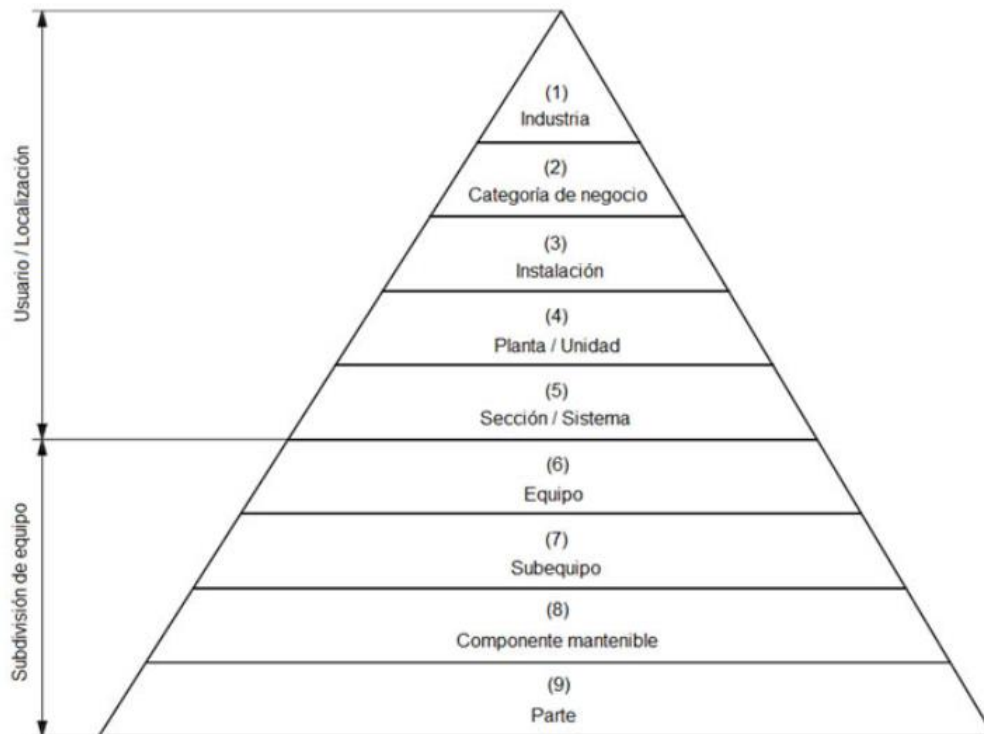


Ilustración 7. Jerarquía de taxonomía

Nota: fuente <https://www.redalyc.org/journal/614/61458265006/html/>

Las ubicaciones técnicas es la estructura jerárquica de varios niveles en donde se localizan los sistemas, unidades funcionales y equipos (ilustración 6) en los que mayormente se ven representados en diagramas de proceso y P&ID. Las ubicaciones técnicas de los equipos son fijas en la taxonomía mientras que los equipos se pueden mover de una ubicación técnica a otra [9].

- **Industria (1):** es el nivel más alto de la pirámide de la jerarquía de las ubicaciones técnicas [9].
- **Categoría de negocio (2):** este nivel representa el tipo de negocio el cual cuenta la compañía como E&P (Exploración & Producción), Tratamiento, Refinación o Petroquímica [9].
- **Instalación / Campo Producción (3):** de acuerdo a la categoría del negocio existen instalaciones donde se concentran o integran varias plantas de producción, tratamiento, derivación o paso [9].

- **Planta / Unidad (4):** área definida de una instalación o campo de producción donde se encuentran sistemas productivos específicos para la entrega de producto a ciertas condiciones, términos de referencia o especificaciones [9].
- **Sección (5):** conjunto de unidades funcionales y activos donde se realizan procesos físicos, químicos o termodinámicos [9].
- **Equipo (6):** corresponde al tipo de equipo por nomenclatura y consecutivo que se encuentra un activo físico identificado en un diagrama P&ID [9].
- **Sub-equipo (7):** corresponde a un subnivel o nivel inferior del sistema donde se integran unidades funcionales de apoyo a la función principal del sistema [9].
- **Componente mantenible (8):** es un conjunto de equipos que se encuentran interrelacionados y conectados para cumplir una función específica de tal forma que la falla en alguno de ellos afectará el funcionamiento parcial o total de la unidad, es el ítem mantenible [9].

E. Plan de mantenimiento predictivo:

El mantenimiento predictivo o basado en la condición evalúa el estado de la maquinaria y recomienda intervenir o no, lo cual produce grandes ahorros. La mayoría de modos de fallo de la maquinaria tienen una evolución lenta. Desde sus etapas incipientes, los fallos en desarrollo emiten mensajes en forma de vibración, ultrasonidos, etc. que son descifrados por los analistas predictivos para determinar el estado de los activos críticos y encontrar el momento óptimo para su reparación [10].

El mantenimiento predictivo es un conjunto de técnicas instrumentadas de medida y análisis de variables para caracterizar los modos de fallo potenciales de los equipos productivos. Su misión principal es optimizar la fiabilidad y disponibilidad de equipos al mínimo costo. Desde el punto de vista técnico, una actividad de mantenimiento será considerada como predictiva siempre que se den ciertos requisitos [10]:

- La medida sea no intrusiva, es decir, que se realice con el equipo en condiciones normales de operación [10].

- El resultado de la medida pueda expresarse en unidades físicas, o también en índices adimensionales correlacionados [10].
- La variable medida ofrezca una buena repetitividad [10].
- La variable predictiva pueda ser analizada y/o parametrizada para que represente algún modo típico de fallo del equipo, es decir, ofrezca alguna capacidad de diagnóstico [10].

Las técnicas predictivas de mayor implantación son:

- Análisis de vibraciones.
- Inspecciones termográficas.
- Análisis de aceites.
- Detección de ultrasonidos.
- Análisis de motores eléctricos.

Cada una de estas técnicas tiene su aplicación en la detección y diagnóstico de un conjunto determinado de fallos. Cuando dos o más técnicas permiten el diagnóstico de un mismo fallo, se comportan como complementarias y aumenta la fiabilidad del diagnóstico [10].

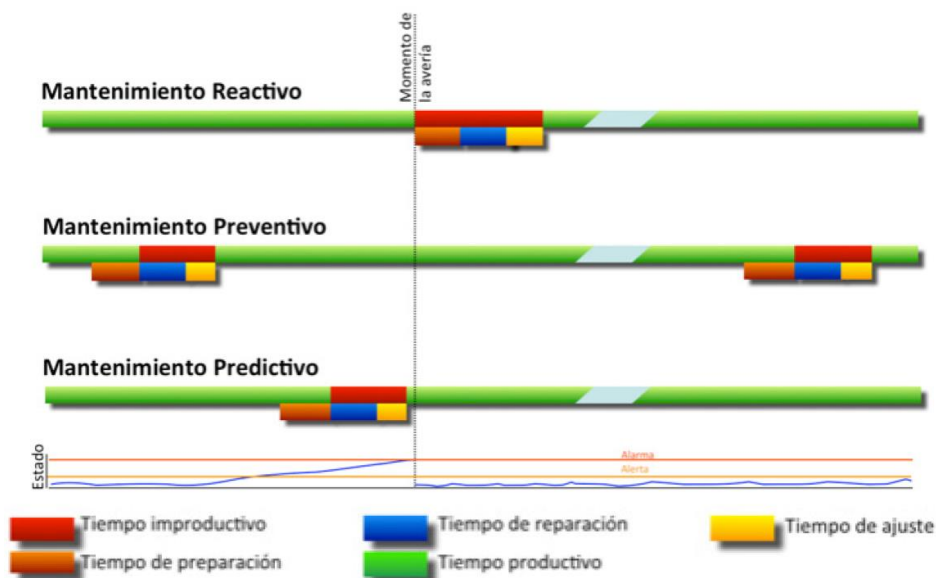


Ilustración 8. Impacto de las paradas por intervenciones según una estrategia reactiva, preventiva o predictiva

Nota: fuente <https://www.reporteroindustrial.com/temas/La-estrategia-predictiva-en-el-mantenimiento-40+127360>

F. Análisis económico de monitoreo basado en condición:

- **Ahorro por paros de producción:** los ahorros más significativos que derivan el mantenimiento predictivo se deben a la disminución significativa de los paros de producción. Los ahorros en los paros productivos pueden ser calculados a través del número de horas de paro multiplicado por el valor ponderado por hora del área [12].

Costo del paro= Horas de paro X \$ Ponderado por hora

- Ahorro en costos de mantenimiento: los ahorros en mantenimiento se derivan de la reducción en las horas/hombre para realizar las reparaciones + el ahorro por la disminución de partes de reemplazos innecesarios y se calculan de la siguiente manera [12]:

\$ Ahorro en Horas= (Horas Hombre invertidos en Mantenimiento mayor– Horas hombre por mantenimiento menor) X\$ ponderado Hora/Hombre

- **Costos del Monitoreo de Condición:** los costos de los sistemas de monitoreo de condición dependen del tipo de sistema que se elija y que puede ser fijo o puede ser portátil. Por supuesto los sistemas fijos requieren una mayor inversión si el número de máquinas es grande. Por el contrario, los sistemas portátiles son más económicos, pero requieren de un especialista que este midiendo cada máquina periódicamente [12].

G. Módulos de SAP

SAP es el nombre de una empresa fundada en Alemania en el año 1972, con el objetivo de producir un programa de computadora (SOFTWARE) capaz de integrar todos los requerimientos de procesamiento y almacenamiento de información de cualquier empresa. También bautizado con el nombre “SAP R/3”. Garantiza el concepto del dato único, al manejar bajo una sola plataforma toda la información de manera modular, completamente interconectados: finanzas, costos,

materiales, recursos humanos y mantenimiento, donde cada uno está orientado de acuerdo a sus áreas específicas y requerimientos para manejo de información [13].

Es un sistema integrado de gestión que permite controlar todos los procesos que se llevan a cabo en una empresa, a través de los módulos.

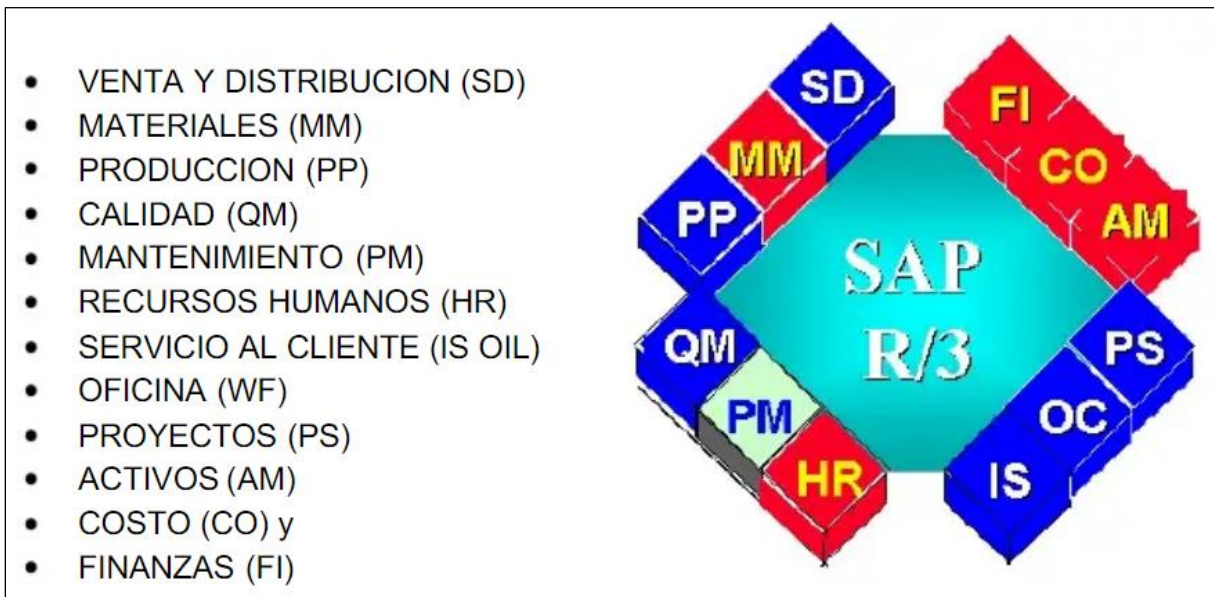


Ilustración 9. Módulos de SAP

Nota: fuente https://www.academia.edu/9511635/Manual_SAP_Modulo_PM_Mantenimiento_de_Plantas_GLC

- **Módulo PM SAP:** El Sistema Mantenimiento de Planta (PM) es una aplicación integrada con los otros módulos de SAP R/3 (logística, contabilidad de costos, recursos humanos, gerencia de activos) que cubre todas las actividades de mantenimiento, dando soporte a la planificación y ejecución de la gestión, con énfasis en la disponibilidad de equipos, costos y aseguramiento del personal, garantizando de esta manera el estado de arte de la base de datos y la optimización de los procesos del negocio. El módulo de gestión de mantenimiento (PM) en la funcionalidad de SAP, permite llevar un control de la gestión de mantenimiento correctivo y preventivo de los equipos, así como las distintas áreas que están sujetos a mantenimiento dentro la organización, algunas funciones [14].

-
- Controlar la gestión, monitoreo e historial de los Objetos Técnicos (ubicaciones técnicas y equipos) [14].
 - Gestionar los mantenimientos correctivos de maquinarias y equipos [14].
 - Establecer un control de costos de mantenimiento en los objetos técnicos [14].
 - Controlar la gestión de calibración de equipos de medición o inspección [14].
 - Controlar los niveles de inventarios en repuestos y suministros [14].
 - Planificar y programar el mantenimiento preventivo y predictivo de los activos [14].

H. Técnicas predictivas:

El mantenimiento predictivo consta de una serie de ensayos de carácter no destructivo orientados a realizar un seguimiento del funcionamiento de los equipos para detectar signos de advertencia que indiquen que alguna de sus partes no está trabajando de la manera correcta. A través de este tipo de mantenimiento, una vez detectadas las averías, se puede, de manera oportuna, programar las correspondientes reparaciones sin que se afecte el proceso de producción y prolongando con esto la vida útil de las máquinas. Los ensayos que más utilizan en las industrias son los siguientes [15]:

- **Análisis de Vibraciones:** Esta técnica de mantenimiento predictivo se basa en el estudio del funcionamiento de las máquinas rotativas a través del comportamiento de sus vibraciones. Todas las máquinas presentan ciertos niveles de vibración, aunque se encuentren operando correctamente, sin embargo, cuando se presenta alguna anomalía, estos niveles normales de vibración se ven alterados indicando la necesidad de una revisión del equipo [15].

Para que este método tenga validez es indispensable conocer ciertos datos de la máquina como lo son: su velocidad de giro, el tipo de cojinetes, de correas, el número de alabes, palas, etc. También es muy importante determinar los puntos de las máquinas en donde se tomarán las mediciones y el equipo analizador más adecuado para la realización del estudio.

- Problemas en bombas
 - Anormalidades en engranes
 - Problemas eléctricos asociados con motores
 - Problemas de bandas
-
- **Termografía:** la Termografía es una técnica que estudia el comportamiento de la temperatura de las máquinas con el fin de determinar si se encuentran funcionando de manera correcta [15].

La energía que las máquinas emiten desde su superficie viaja en forma de ondas electromagnéticas a la velocidad de la luz; esta energía es directamente proporcional a su temperatura, lo cual implica que, a mayor calor, mayor cantidad de energía emitida. Debido a que estas ondas poseen una longitud superior a la que puede captar el ojo humano, es necesario utilizar un instrumento que transforme esta energía en un espectro visible, para poder observar y analizar la distribución de esta energía[15].

En la ilustración 10 se muestra el instrumento utilizado para generar una imagen de radiación infrarroja a partir de la temperatura superficial de las máquinas, el cual se llama Cámara Termográfica [15].



Ilustración 11. Cámara Termográfica

Gracias a las imágenes térmicas, que proporcionan las cámaras termográficas, se pueden analizar los cambios de temperatura. Un incremento de esta variable, por lo general, representa un problema de tipo electromecánico en algún componente de la máquina. Las áreas en que se utilizan las Cámaras Termográficas son las siguientes [15]:

- Instalaciones Eléctricas
 - Equipamientos Mecánicos
 - Estructuras Refractarias
-
- **Análisis por Ultrasonido:** El análisis por ultrasonido está basado en el estudio de las ondas de sonido de alta frecuencia producidas por las máquinas cuando presentan algún tipo de problema. El oído humano puede percibir el sonido cuando su frecuencia se encuentra entre 20 Hz y 20 kHz, por tal razón el sonido que se produce cuando alguno de los componentes de una máquina se encuentra afectado, no puede ser captado por el hombre porque su frecuencia es superior a los 20 kHz. Las ondas de ultrasonido tienen la capacidad de atenuarse muy rápido debido a su corta longitud, esto facilita la detección de la fuente que las produce a pesar de que el ambiente sea muy ruidoso. Los instrumentos encargados de convertir las ondas de ultrasonido en ondas audibles se llaman medidores de ultrasonido o detectores ultrasónicos. Por medio de estos instrumentos las señales ultrasónicas transformadas se pueden escuchar por medio de audífonos o se pueden observar en una pantalla como se muestra en la ilustración 11 [15].



Ilustración 12. Medidor de Ultrasonido

El análisis de ultrasonido permite:

- Detectar fricción en máquinas rotativas
 - Detectar fallas y/o fugas en válvulas
 - Detectar fugas en fluidos
 - Detectar pérdidas vacío
 - Detectar arco eléctrico
 - Verificar la integridad de juntas de recintos estancos.
- **Análisis de Aceite:** El análisis de aceites determina el estado de operación de las máquinas, a partir del estudio de las propiedades físicas y químicas de su aceite lubricante [15].

El aceite es muy importante en las máquinas porque sirve la protege del desgaste, controla su temperatura y elimina sus impurezas. Cuando el aceite presenta altos grados de contaminación y/o degradación, no cumple con estas funciones y la máquina comienza a fallar[15].

La técnica de análisis de aceites permite cuantificar el grado de contaminación y/o degradación del aceite por medio de una serie de pruebas que se llevan a cabo en laboratorios especializados sobre una muestra tomada de la máquina cuando está operando o cuando acaba de detenerse [15].

El grado de contaminación del aceite está relacionado con la presencia de partículas de desgaste y de sustancias extrañas, por tal razón es un buen indicador del estado en que se encuentra la máquina. El grado de degradación del aceite sirve para determinar su estado mismo porque representa la pérdida en la capacidad de lubricar producida por una alteración de sus propiedades y la de sus aditivos [15].

La contaminación en una muestra de aceite está determinada por medio de la cuantificación de [15]:

- Partículas metálicas de desgaste
- Combustible
- Agua
- Materias carbonosas
- Insolubles

La degradación en una muestra de aceite está determinada por medio de la cuantificación las siguientes propiedades [15]:

- Viscosidad
- Detergencia
- Basicidad
- Constante Dieléctrica.

La información proveniente de las pruebas físicas y químicas del aceite permite decidir sobre el plan de lubricación y mantenimiento de la máquina [15].

I. Office 365 microsoft – power bi:

Power BI, el conjunto de herramientas de análisis empresarial de vanguardia de Microsoft, que permite a los profesionales de datos extraer, transformar y visualizar datos de forma rápida e interactiva. Diseñado y pensando en la facilidad de su uso, Power BI permite a los usuarios con poca o ninguna experiencia el desarrollo y creación de informes y paneles con solo unos pocos clics, sin necesidad de conocimientos de programación [16].



Ilustración 13. Power BI

Nota: fuente <https://www.itbacking.com/power-bi/>

Hay dos experiencias principales para crear informes y paneles de Power BI: Power BI Desktop y Power BI Service. A continuación, le indicamos cómo empezar [16]:

- **Power BI Desktop:** Es una herramienta gratuita de desarrollo de informes y paneles que se puede descargar directamente de Microsoft. Power BI Desktop llega completamente cargado con muchas visualizaciones interactivas, que incluyen tablas, matrices, tarjetas, KPI, gráficos de barras, gráficos de columnas, gráficos circulares, gráficos de líneas, gráficos de anillos, gráficos de embudo, gráficos de dispersión, gráficos de áreas y visualizaciones de gráficos en cascada. También le permite realizar análisis de datos geográficos utilizando mapas con tecnología de Bing y elementos visuales de scripts R utilizando un editor de scripts R integrado. Incluso puede agregar segmentaciones y filtros interactivos para dividir y cortar sus datos, importar otras visualizaciones del mercado y crear sus propias visualizaciones personalizadas [16].

Uno de los puntos de venta más sólidos de Power BI es su capacidad para extraer datos de varias fuentes. Power BI llega precargado con muchos conectores especializados que importan datos de archivos y carpetas, bases de datos, servicios web y otras fuentes no tradicionales. Algunos de estos conectores incluyen conectores para plataformas de datos

líderes como SAP, IBM, Oracle, Sybase, Hadoop y Teradata. Algunos de los conectores especializados incluyen Salesforce, Google Analytics, Marketo, Facebook, Zendesk y muchos más.

- **Power BI Service:** Es un servicio en la nube basado en la web que le permite crear, compartir y administrar informes y paneles. Al igual que Power BI Desktop, cualquiera puede registrarse de forma gratuita para obtener su propio servicio Power BI de Microsoft. El servicio Power BI ofrece una experiencia de usuario similar a la de Power BI Desktop para desarrollar informes y paneles desde una interfaz basada en web. Los usuarios pueden cambiar entre el modo de edición y el modo de lectura para modificar informes o interactuar con los datos. Los usuarios también pueden compartir informes con sus colegas generando enlaces a los que cualquiera puede acceder desde la web [16].

- **Características de Power BI:**
 - **Comparte información:** Fomenta la colaboración entre todos los usuarios de todos los roles. Crea informes y comparte la información con otros usuarios de Power BI Pro en toda la organización. Conecta directamente a sus datos locales o en la nube, datos en tiempo real y datos streaming [17].

 - **Completa información con la familia Microsoft:** se integra con las soluciones de Microsoft, como Office 365, SharePoint, Excel y Teams [17].

 - **Visualizar y crear datos con app de movilidad:** se accede a Power BI desde cualquier dispositivo con la aplicación nativa Power BI Mobile para anotar los informes fácilmente [17].

J. Aplicativo informático para gestión del mantenimiento predictivo:

Power-MI es una plataforma que permite transformar el mantenimiento predictivo basado en rutas a la Industria 4.0. La realización y envío de informes de mantenimiento predictivo siempre ha sido un reto tanto para empresas de servicio como para departamentos de mantenimiento. Por un lado, la elaboración de informes es una tarea que conlleva mucho tiempo, algunas veces no contabilizado y, por otro lado, el personal de mantenimiento debe convertir esos informes en órdenes de trabajo de mantenimiento [18].

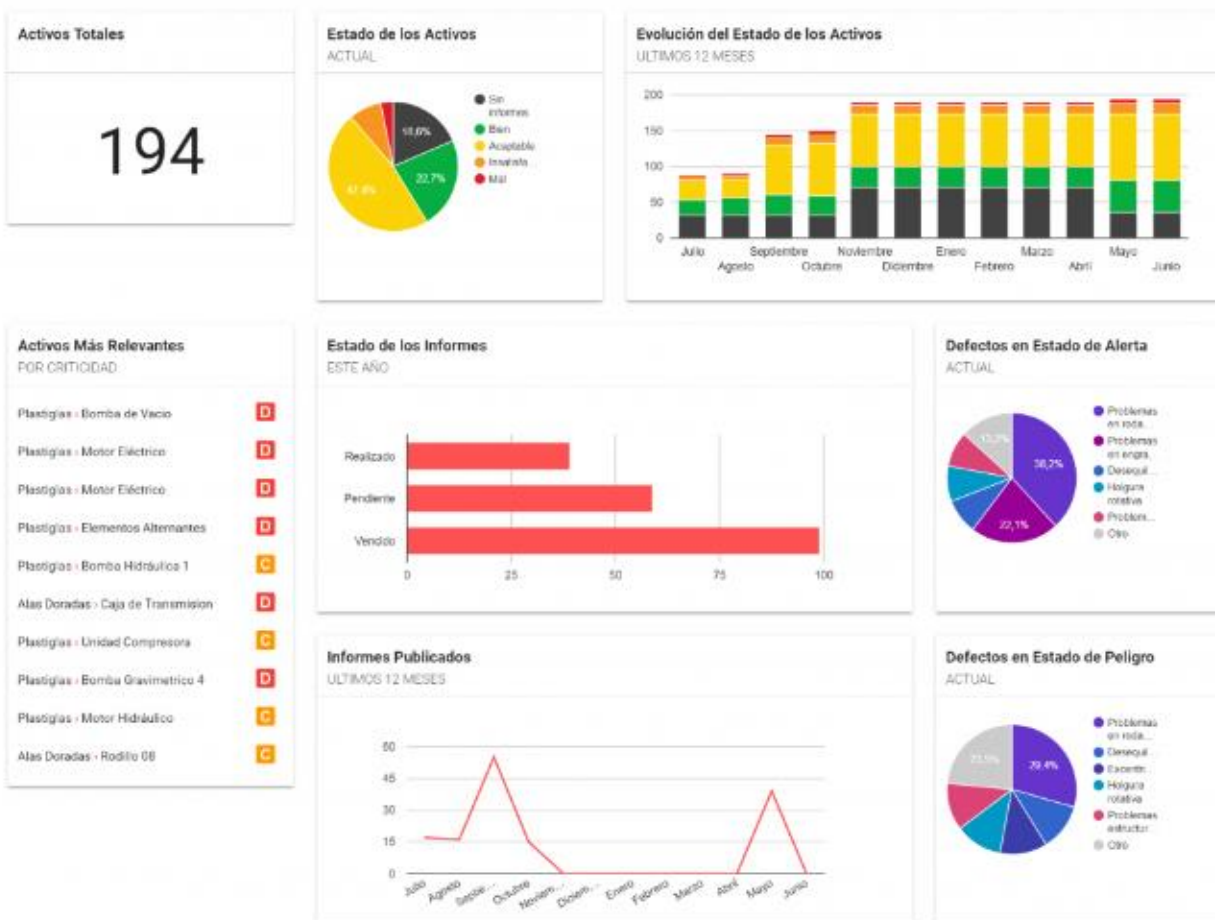


Ilustración 14. Plataforma power mi

Nota: fuente <https://mantenimiento-mi.es/2018/power-mi-la-gestion-optimizada-del-mantenimiento-predictivo#:~:text=Power%2DMI%20es%20una%20plataforma,como%20para%20departamentos%20de%20mantenimiento.>

VII. METODOLOGÍA

El mantenimiento de activos físicos ha evolucionado hasta considerar que no todos los equipos son prioritarios para la operación y que cada uno de ellos tiene unas características específicas y un contexto operativo único, de ahí la necesidad de evaluar la criticidad de cada equipo partiendo del costo de mantenimiento y el impacto en la productividad y así colocar el foco del seguimiento MBC para evitar que llegue hasta la falla.

A. *Matriz criticidad de activos:*

Para la construcción del programa de confiabilidad de la línea pet de Postobón S.A y la implementación de una estructura de mantenimiento basado en condición, se toma como base la matriz de criticidad estándar de la gerencia de mantenimiento Postobón S.A, para la línea productiva envasado pet, identificando los equipos críticos; esta considera los siguientes factores:

- **Factor de producción (Fp):** designación de calificación por parada de máquina, parada de línea o parada de planta.
- **Factor de costos operativos (Fc):** relaciona los costos operativos anuales.
- **Factor de tiempos de parada (Ftmpr):** Tiene como base el tiempo medio para la reparación.
- **Factor de calidad, medio ambiente y seguridad (Fmassq):** parte de la calificación de la falla que tanto afecta la calidad del producto, seguridad y medio ambiente.

Partiendo de los factores ya estandarizados es necesario conocer los rangos de evaluación para cada uno; la gerencia de mantenimiento estableció unos criterios de evaluación para todos los activos de la compañía. El factor de costo operativo (Fc) y tiempo de parada (Ftmpr) son obtenidos desde el sistema de planificación de recursos empresariales “ERP” que utiliza la compañía denominado SAP; para el factor de producción (Fp) y factor de calidad, medio ambiente y seguridad (Fmassq) son obtenidos de evaluación grupal según criterios de especialistas, ver ilustración 15.

FACTOR DE PRODUCCION (Fp)

- BAJO → PARADA DE MAQUINA (Fp=1)
- MEDIO → PARADA DE LINEA (Fp=5)
- ALTO → PARADA DE PLANTA (Fp=7)

FACTOR DE COSTOS OPERATIVOS (Fc)

- BAJO → COSTO OPERATIVO MEDIO ANUAL < USD5000 (Fc=1)
- MEDIO → COSTO OPERATIVO MEDIO ANUAL >= USD5000 Y <=USD15000 (Fc=2)
- ALTO → COSTO OPERATIVO MEDIO ANUAL > USD15000 (Fc=3)

NOTA: EL COSTO OPERATIVO SE OBTIENE DEL HISTORIAL DE CONSUMO DE REPUESTOS Y EL HISTORIAL DE ORDENES DE TRABAJO. ESTÁ COMPUESTO POR EL CONSUMO ANUAL DE MATERIALES Y LAS HORAS HOMBRE DE MANTENIMIENTO CORRECTIVO - PREVENTIVO. EN CASO DE NO TENER DATOS SE ESTIMA CON BASE AL VALOR DEL EQUIPO Y DE SUS REPUESTOS.

FACTOR DE TIEMPOS DE PARADA (Ftmpr)

- BAJO → TIEMPO MEDIO PARA LA REPARACION < 1h (Fc=0,5)
- MEDIO → TIEMPO MEDIO PARA LA REPARACION >= 1h Y <= 2h (Fc=1)
- ALTO → TIEMPO MEDIO PARA LA REPARACION > 2h (Fc=1,5)

NOTA: EL TIEMPO MEDIO PARA LA REPARACION SE OBTIENE DEL HISTORIAL DE FALLAS. SI NO SE POSEE INFORMACION SE ESTIMA CON BASE A COMPLEJIDAD TECNICA QUE POSEA EL EQUIPO.

FACTOR DE CALIDAD, MEDIO AMBIENTE Y SEGURIDAD (Fmassq)

- BAJO → LA FALLA NO GENERA NINGUN RIESGO DE CALIDAD, SEGURIDAD O MEDIO AMBIENTE (Fmass=1)
- MEDIO → LA FALLA GENERA DEFECTOS DE CALIDAD EN EL PRODUCTO, RIESGO PARA LAS PERSONAS CERCANAS AL EQUIPO Y/O UN RIESGO DE ACCIDENTE MEDIOAMBIENTAL LEVE (Fmass=4)
- ALTO → LA FALLA PROVOCA UN RIESGO DE CONTAMINACION EN EL PRODUCTO, UN RIESGO DE SEGURIDAD INMINENTE PARA LA PLANTA, UN RIESGO DE ACCIDENTE MEDIOAMBIENTAL GRAVE Y/O ESTA LIGADO A REQUERIMIENTOS LEGALES (Fmass=7)

Ilustración 15. Criterios de evaluación matriz criticidad, factores

Nota: fuente, desarrollo de la gerencia de mantenimiento Postobón S.A, documentación para la gestión del mto.

El Análisis de Criticidad (AC) es una metodología “semi-cuantitativa” para dimensionar el riesgo que permite establecer jerarquías o prioridades de instalaciones, sistemas, equipos y dispositivos (ISED’S), de acuerdo a una figura de mérito llamada “Criticidad”; que es proporcional al “Riesgo”: La Criticidad se calcula mediante la siguiente ecuación [19]:

CRITICIDAD = Frecuencia de Falla x Impacto

La cual es proporcional a la siguiente ecuación:

RIESGO = Probabilidad Falla x Consecuencia

La Frecuencia de Falla es proporcional a la probabilidad de falla y el Impacto es proporcional a la Consecuencia de una falla; en consecuencia; CRITICIDAD es Proporcional al RIESGO [19].

PUNTOS			Fp	Fc	Ftmpr	Fmassq	Ce = (Fp + Fc) x Ftmpr + Fmassq	CRITICIDAD
ALTA	16	22	1	1	0,5	1	2,0	BAJA
MEDIA	9	15	7	3	1,5	7	22,0	ALTA
BAJA	2	8						

FACTOR DE COSTOS OPERATIVOS (Fc)

COP 3.270	TRM 17/06/19
USD 5.000	COP 16.350.000
USD 15.000	COP 49.050.000

FACTOR DE TIEMPOS DE PARADA (Ftmpr)

	PUNTOS		VALOR
ALTA	2	+	1,5
MEDIA	1	2	1
BAJA	0	1	0,5

Ilustración 16. Criterios de evaluación matriz criticidad, evaluación

Nota: fuente, desarrollo de la gerencia de mantenimiento Postobón S.A, documentación para la gestión del mtto.

No.	NÚMERO DE EQUIPO SAP	UBICACIÓN TÉCNICA	DENOMINACIÓN DEL OBJETO TÉCNICO (EQUIPO)	VALOR DEL MANTENIMIENTO ANUAL	MTTR	CRITICIDAD DE EQUIPOS					CATEGORÍA DE CRITICIDAD
						Fp	Fc	Ftmpr	Fmassq	Ce	
1	519550	0079-LÍNEA 3	LLENADORA K1327590B0	\$ 120.508.379	0,51	5	3	0,5	7	11	MEDIA
2	829002	0079-LÍNEA 3	PROCESADOR DE BEBIDAS	\$ 28.982.431	0,44	5	2	0,5	7	10,5	MEDIA
3	900312	0079-LÍNEA 3	ETIQUETADORA ENVOLVENTE DE ENVASES	\$ 19.726.747	0,47	5	2	0,5	7	10,5	MEDIA
4	539597	0079-LÍNEA 3	INSPECTOR DE NIVEL Y TAPA	\$ -	0,47	5	1	0,5	7	10	MEDIA
5	829684	0079-LÍNEA 3	TRANSPORTADOR DE TAPONES	\$ 917.341	0,00	5	1	0,5	7	10	MEDIA
6	900313	0079-LÍNEA 3	ETIQUETADORA CON MANGUITOS FULL BODY	\$ 4.011.538	0,00	5	1	0,5	7	10	MEDIA
7	829681	0079-LÍNEA 3	TRANSPORTADOR BOTELLAS-MESA ACUMULACIÓN	\$ 35.658.894	0,29	5	2	0,5	4	7,5	BAJA
8	82964503	0079-LÍNEA 3	CODIFICADOR	\$ 37.309.561	0,43	5	2	0,5	4	7,5	BAJA
9	749640	0079-LÍNEA 3	SIS DE ALIMENTAC ININTERRUMPIDA UPS	\$ 15.364.073	0,00	5	1	0,5	4	7	BAJA
10	749643	0079-LÍNEA 3	DISTRIBUIDOR DE ENERGÍA ELÉCTRICA	\$ -	0,00	5	1	0,5	4	7	BAJA
11	749644	0079-LÍNEA 3	DISTRIBUIDOR DE ENERGÍA ELÉCTRICA	\$ -	0,00	5	1	0,5	4	7	BAJA
12	829682	0079-LÍNEA 3	TRANSPORTADOR DE EMBALAJES	\$ 2.679.499	0,24	5	1	0,5	4	7	BAJA
13	829683	0079-LÍNEA 3	TRANSPORTADOR DE PALETS	\$ 2.671.867	0,20	5	1	0,5	4	7	BAJA
14	82964502	0079-LÍNEA 3	CODIFICADOR	\$ 10.762.008	0,50	5	1	0,5	4	7	BAJA
15	739539	0079-LÍNEA 3	TUNEL DE VAPOR	\$ 3.695.721	1,70	1	1	1	4	6	BAJA
16	579071	0079-LÍNEA 3	PALETIZADORA	\$ 189.486.938	0,60	5	3	0,5	1	5	BAJA
17	710322	0079-LÍNEA 3	EMBALADORA DE NO RETORNABLES	\$ 87.184.866	0,33	5	3	0,5	1	5	BAJA
18	51955001	0079-LÍNEA 3	UNIDAD DOSIFICACIÓN DE NITRÓGENO LÍQUIDO	\$ 6.141.556	0,00	1	1	0,5	4	5	BAJA
19	749641	0079-LÍNEA 3	SISTEMA DE REGISTRO DATOS OPERACIONALES	\$ 1.029.670	0,00	5	1	0,5	1	4	BAJA
20	749642	0079-LÍNEA 3	DISTRIBUIDOR RED DE DATOS	\$ -	0,00	5	1	0,5	1	4	BAJA
21	820301	0079-LÍNEA 3	SALA LIMPIA LLENADO	\$ -	0,00	1	1	0,5	2	3	BAJA
22	579072	0079-LÍNEA 3	MAQUINA ENVOLVEDORA EN FILM PLÁSTICO	\$ 14.478.759	0,58	1	1	0,5	1	2	BAJA
23	820151	0079-LÍNEA 3	SECADOR DE ENVASES	\$ 453.000	0,18	1	1	0,5	1	2	BAJA

Tabla 2. Matriz de criticidad de activos de Postobón S.A

Nota: fuente, desarrollo de la gerencia de mantenimiento Postobon S.A, documentación para la gestión del mantenimiento.

En la ilustración 16 muestra los criterios de evaluación y cuáles son los rangos donde se identifica la criticidad de los activos físicos, definidos como estándar por la gerencia de mantenimiento Postobón S.A, partiendo de ahí, se tiene como estándar una tabla donde se ingresan todos los activos de la línea pet que es el foco del análisis, ver tabla 2, en esta se puede encontrar el valor anual del mantenimiento, el MTTR, los factores de evaluación y el resultado de criticidad por equipo, que es la evaluación final que se requiere para definir los activos a los cuales se focalizó el trabajo de monografía y hacen parte de la zona de envasado, se denominan:

- LLENADORA
- PROCESADOR DE BEBIDAS

B. Taxonomía de equipos:

Teniendo identificados los equipos críticos de la línea de producción pet (llenadora, procesador de bebidas), lo siguiente es crear la taxonomía basada en la norma ISO14224 [7], la cual comprende:

- Equipo
- Sistema
- Subsistema
- Componente
- Partes

Por simplicidad del trabajo y teniendo en cuenta que solo se realiza análisis para una ubicación técnica línea pet de la empresa Postobón S.A, se desarrolla la taxonomía desde equipo, los cuales fueron identificados previamente en la matriz de criticidad; por ello la taxonomía queda desarrollada bajo el criterio de la ilustración 17.

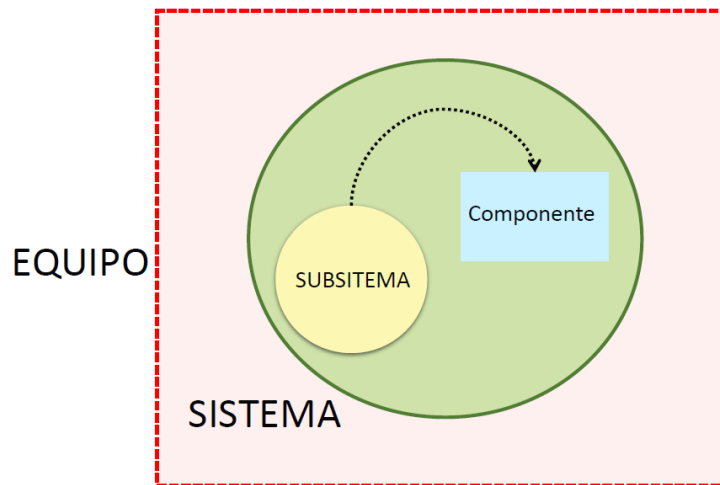


Ilustración 17. Estructura taxonómica

Descripción	Definición	Ejemplo
Equipo	Activo que cumple una función.	Llenadora
Sistema	Grupo constructivo realiza una función del equipo.	Taponadora
Subsistema	Necesario para que el grupo constructivo funcione.	Mesa
Componente	Ítem mantenible, al cual se realiza análisis estrategia de mantenimiento.	Servomotor principal

Tabla 3. Descripción de la jerarquización de la taxonomía

En la tabla 3, muestra la descripción de cada uno de los ítems de la taxonomía asociando su definición y un ejemplo explicativo; relacionando a la estructura jerárquica que comprende el desarrollo taxonómico. El ideal para una empresa es tener todos los activos con una estructura jerárquica taxonómica desarrollada, esto es indispensable al momento de realizar análisis de fallas, presupuestos y creación de planes de mantenimiento preventivos relacionados con lista de partes, esto hace más fácil la gestión de repuestos y optimización de gastos.

En la creación y estructuración de la taxonomía de la línea pet Postobón S.A previamente se desarrolla un análisis de criticidad de equipos, de ahí, se obtienen los activos para analizar que son la llenadora y procesador de bebidas, pertenecientes a la zona de envasado de bebida.

Para iniciar con el desarrollo es necesario analizar y entender los planos eléctricos – mecánicos (ver ilustración 18), además tener en cuenta los conocimientos y la experiencia del equipo técnico, expertos en operación y mantenimiento.

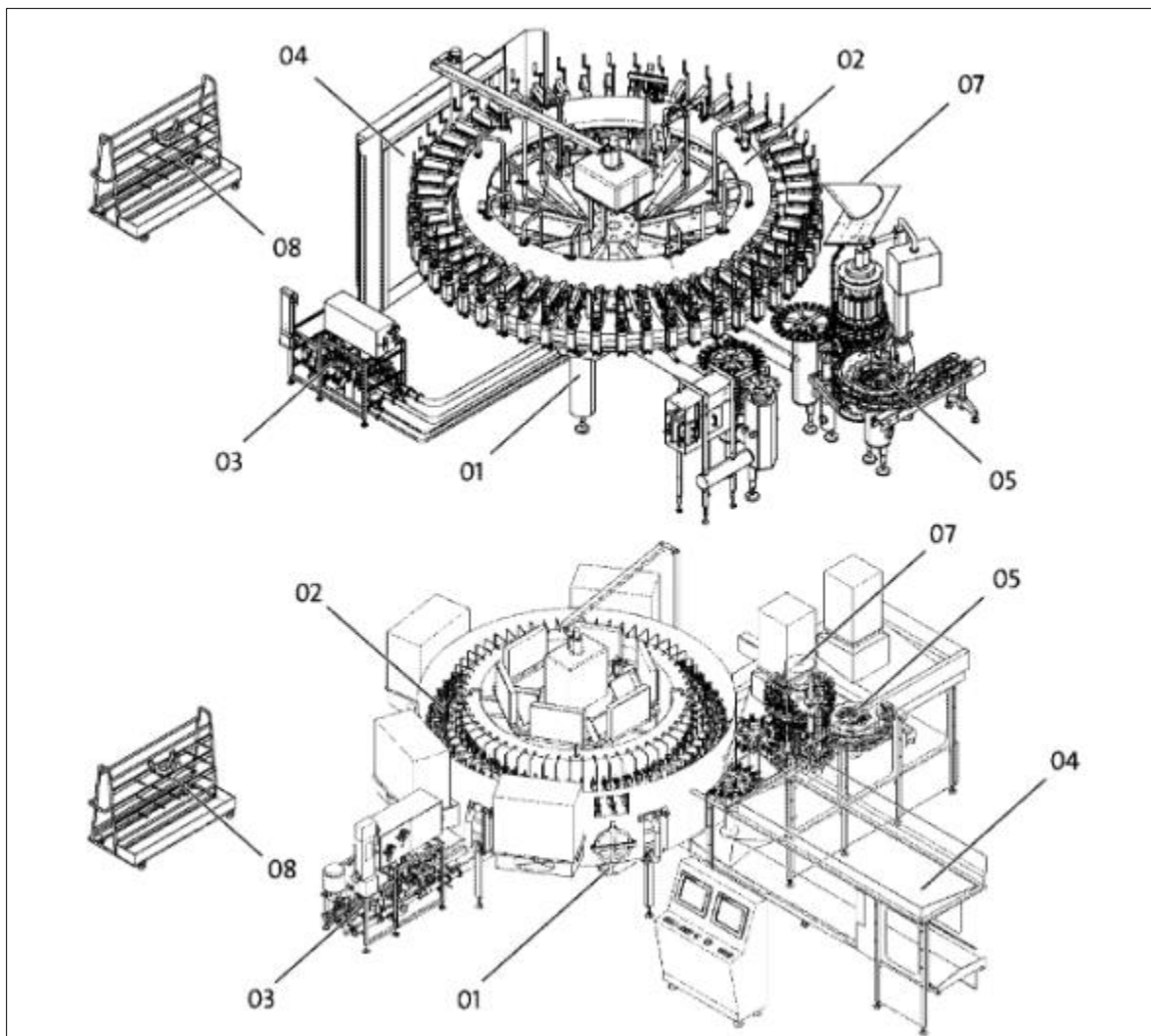


Ilustración 18. Plano electro – mecánico de llenadora línea pet.

Nota: fuente, información de activos Postobón S.A

Para realizar la taxonomía un ingeniero experto en mantenimiento debe navegar todo el plano electro - mecánico hasta identificar cual es la estructuración del equipo identificando sistemas y subsistemas hasta llegar a identificar los componentes o ítems mantenibles, los cuales en su mayoría son los que tienen asociado partes y que es el foco de intervención de la estrategia de mantenimiento al cual se le debe aplicar. Para el caso de la línea pet Postobón S.A, en la tabla 4 muestra una parte de la taxonomía desarrollada, quedando estructurada a finalidad, la cual fue sometida en análisis con el equipo técnico experto (partes interesadas para la productividad), además se actualizó con criterio técnico ingenieril.

N° TAXONOMÍA	JERARQUÍA	EQUIPO	SISTEMA	SUBSISTEMA	COMPONENTE	SUBCOMPONENTE	DESCRIPCIÓN TAXONOMÍA
1	EQUIPO	EQP					LLENADORA
1.1	SISTEMA		SIS				ESTRELLAS DE TRANSFERENCIA
1.1.1	SUBSISTEMA			SUB			SERVOACCIONAMIENTOS
1.1.1.1	COMPONENTE				COM		Servomotores
1.1.2	SUBSISTEMA			SUB			COLUMNAS DE ESTRELLAS
1.1.2.1	COMPONENTE				COM		Porta pinzas
1.1.2.2	COMPONENTE				COM		Abridores de leva
1.1.3	SUBSISTEMA			SUB			DISPOSITIVOS DE MANDO
1.1.3.1	COMPONENTE				COM		Válvulas magnéticas
1.1.3.2	COMPONENTE				COM		Cilindros
1.2	SISTEMA		SIS				REFRIGERACIÓN DE FONDO
1.2.1	SUBSISTEMA			SUB			SERVOACCIONAMIENTOS
1.2.1.1	COMPONENTE				COM		Servomotores
1.2.1.1 / 1	SUBCOMPONENTE					SUBC	Servomotor eje 4 FU3.2015 +ELM1 -M101
1.2.2	SUBSISTEMA			SUB			SISTEMA DE REFRIGERACIÓN DE FONDO
1.2.2.1	COMPONENTE				COM		Intercambiador de calor
1.2.3	SUBSISTEMA			SUB			SISTEMA HIDRÁULICO
1.2.2.1	COMPONENTE				COM		Tuberías
1.2.2.2	COMPONENTE				COM		Motobombas
1.2.2.3	COMPONENTE				COM		Filtro

Tabla 4. Desarrollo de la taxonomía para los equipos críticos de la matriz

En la tabla 4 se tiene un modelo de taxonomía en forma de lista, que es una forma de mostrar y además es práctico al momento de relacionar los ítems mantenibles con las partes asociadas o dar una evaluación de ser requerido. En la ilustración 19 muestra otro modelo de desarrollo jerárquico taxonómico en forma de flujo, que es más amigable visualmente y sirve para tener un panorama global de la construcción de la máquina.

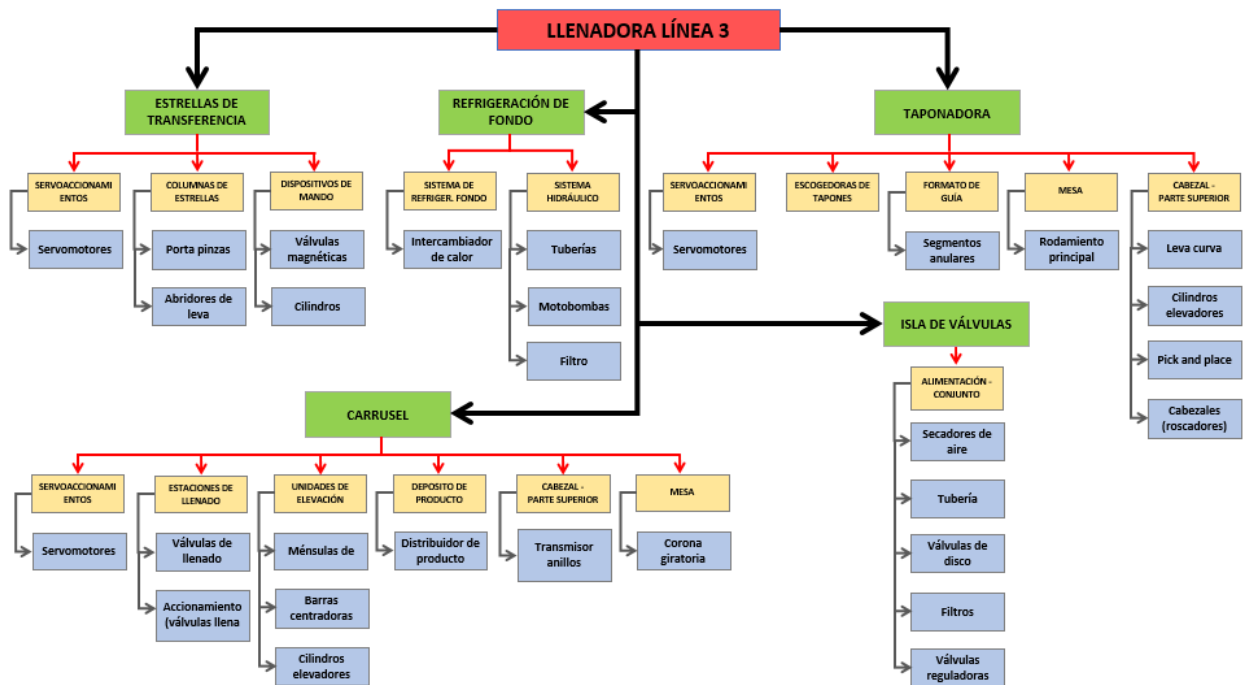


Ilustración 19. Modelo taxonómico en forma de flujo

C. *Análisis consecuencias de componentes:*

Teniendo identificados todo los componentes o ítems mantenibles, a los cuales se focalizan en estrategias de mantenimiento, para el caso de los equipos de la línea de producción pet de Postobón S.A, se diseñó una forma de evaluación de consecuencias para identificar los componentes a los cuales se puede analizar con la estrategia de mantenimiento basado en condición MBC y por ende aplicar técnicas predicativas, los factores de evaluación se muestran en la ilustración 20, cuyo desarrollo no es tomado de ninguna fuente bibliográfica.

<p>_CONSECUENCIA = IO + CF + CM + IMBC</p>	
<p>* IMPACTO OPERACIONAL (Io) -BAJO: Parada de máquina (IO=1) -MEDIO: Parada de línea (IO=5) -ALTO: Parada de planta (IO=7)</p>	<p>RANGOS DE CONSECUENCIA (CSC)</p> <p>- BAJA: 4 a 12 - MEDIA: 13 a 19 - ALTA: 20 a 28</p>
<p>* COSTO FALLA "TARIFA DE LÍNEA" (Cf) -BAJO: Costos <= \$ 50.000.000 (CF=1) -MEDIO: Costos > \$ 50.000.000 & <= \$ 100.000.000 (CF=5) -ALTO: Costos > \$ 100.000.000 (CF=7)</p>	
<p>* COSTO MANTENIMIENTO "MATERIALES + SERVICIO" (Cm) -BAJO: <= \$ 5.000.000 (CM=1) -MEDIO: Costos > \$ 5.000.000 & <= \$ 10.000.000 (CM=5) -ALTO: Costos > \$ 10.000.000 (CM=7)</p>	
<p>* IMPACTO MBC (Imbc) -BAJO: Componente / Subcomponente NO se puede aplicar técnicas predictivas (CM=1) -ALTO: Componente / Subcomponente SI se puede aplicar técnicas predictivas (CM=7)</p>	

Ilustración 20. Factores de evaluación de consecuencia componentes

En el caso del análisis para el impacto operacional e impacto MBC es una evaluación experimental del equipo de confiabilidad de planta con los expertos en operación - mantenimiento de la zona de envasado teniendo en cuenta los factores ya establecidos. Para obtener el costo de la falla “tarifa de línea” es necesario conocer el promedio de costos asociados a una falla en línea pet, donde se tienen en cuenta los fletes, depreciación, mano de obra y otras variables de productividad; esta información es suministrada por el departamento de contabilidad Postobón S.A. Para obtener el costo de mantenimiento materiales fue necesario hacer un levantamiento de información de partes de recambio periódicas des-gastables de todos los componentes obtenidos en la taxonomía de los equipos críticos; en la fuente web kronos shop [20]; fabricante de equipos para envasado de bebida. También se cotizó en horas el servicio outsourcing para intervención en caso de una falla (ver tabla 5).

ÍTEM	UBICACIÓN TÉCNICA	EQUIPO	ÍTEM TAXONOMÍA	SISTEMA	SUBSISTEMA	COMPONENTE / SUBCOMPONENTE	CODIGOS SAP REPUESTOS MTTO	PZA	COSTOS REPUESTOS DE MTTO (\$)	COSTOS TOTAL REPUESTOS DE MTTO (\$)	COSTOS TOTAL (OUTSOURCING) (\$)
1	0079-LINEA 3	LLENADORA K132759DBO	1.2.1.1 / 1	REFRIGERACIÓN DE FONDO	SERVOACCIONAMIENTO	SERVOMOTORES / SERVOMOTOR EJE 4 FUJ.2015 +ELM1 -M101	1437066	1	\$ 21.483	\$ 788.496	\$ 4.300.000
							1437071	1	\$ 7.000		
							1437067	1	\$ 18.213		
							1437216	1	\$ 10.000		
							1437217	1	\$ 94.695		
							1437042	1	\$ 3.000		
							1437068	1	\$ 10.638		
							1348610	1	\$ 16.085		
							1348611	1	\$ 16.103		
							1335473	1	\$ 573.000		
							1348612	1	\$ 18.279		
2	0079-LINEA 3	LLENADORA K132759DBO	1.3.1.1 / 1	CARRUSEL	SERVOACCIONAMIENTO	SERVOMOTORES / SERVOMOTOR EJE 6 FUJ.2025 +FKA1 -M101	1437072	1	\$ 150.225	\$ 2.416.494	\$ 13.247.500
							1423520	1	\$ 30.120		
							1437073	1	\$ 224.800		
							1437075	1	\$ 8.666		
							1437094	1	\$ 69.000		
							1437095	1	\$ 58.300		
							1437096	1	\$ 13.583		
							1480440	1	\$ 7.500		
							1480441	1	\$ 1.749.000		
							1480442	1	\$ 47.000		
							1437095	1	\$ 58.300		
3	0079-LINEA 3	LLENADORA K132759DBO	1.3.6.1	CARRUSEL	MESA	CORONA GIRATORIA	0-901-70-423-5	1	\$ 42.706.608	\$ 49.465.939	\$ 21.000.000
							1365382	1	\$ 5.904.582		
							1454126	1	\$ 104.225		
							0-029-90-250-2	1	\$ 79.664		
							1560498	2	\$ 2.990		
							0-902-78-357-4	5	\$ 329.895		
							0-901-81-990-8	2	\$ 320.832		
							1437126	2	\$ 11.780		
							1167171	1	\$ 5.347		

Tabla 5. Costo de mantenimiento, servicio y materiales

Partiendo de los factores ya establecidos se diseñó la tabla 6, para el análisis de la consecuencia de cada componente y obtener un nivel de evaluación; la caracterización de la falla y las horas de intervención es obtenida con base en la experiencia del equipo de confiabilidad y los expertos en operación – mantenimiento.

UBICACIÓN TÉCNICA	EQUIPO	ÍTEM TAXONOMÍA	SISTEMA	SUBSISTEMA	COMPONENTE / SUBCOMPONENTE	COSTO MTTO (MATERIALES)	COSTO MTTO (SERVICIO)	COSTO TOTAL MTTO	HORAS INTERVENCIÓN SOLUCIÓN DE FALLA (HRS)	COSTO FALLA (TARIFA DE LÍNEA)	COSTO TOTAL FALLA (TARIFA DE LÍNEA)	CONSECUENCIA DE COMPONENTES					CATEGORÍA DE CONSECUENCIA
												Io	Cf	Cm	Imbc	CSC	
0079-LINEA 3	LLENADORA	1.1.2.2	ESTRELLAS DE TRANSFERENCIA	COLUMNAS DE ESTRELLAS	Abridores de leva	\$ 450.000	\$ 0	\$ 450.000	2	\$ 3.125.000	\$ 6.250.000	5	1	1	1	8	BAJA
0079-LINEA 3	LLENADORA	1.1.3.3	ESTRELLAS DE TRANSFERENCIA	DISPOSITIVOS DE MANDO	Válvulas magnéticas	\$ 324.000	\$ 0	\$ 324.000	2	\$ 3.125.000	\$ 6.250.000	1	1	1	1	4	BAJA
0079-LINEA 3	LLENADORA	1.1.3.2	ESTRELLAS DE TRANSFERENCIA	DISPOSITIVOS DE MANDO	Cilindros	\$ 600.000	\$ 0	\$ 600.000	2	\$ 3.125.000	\$ 6.250.000	5	1	1	1	8	BAJA
0079-LINEA 3	LLENADORA	1.2.1.1 / 1	REFRIGERACIÓN DE FONDO	SERVOACCIONAMIENTOS	Servomotores / Servomotor eje 4, FUJ.2015 +ELM1 -M101	\$ 788.496	\$ 4.300.000	\$ 5.088.496	360	\$ 3.125.000	\$ 1.125.000.000	5	7	5	7	24	ALTA
0079-LINEA 3	LLENADORA	1.2.1.1	REFRIGERACIÓN DE FONDO	SISTEMA DE REFRIGERACIÓN DE FONDO	Intercambiador de calor	\$ 4.800.000	\$ 0	\$ 4.800.000	2	\$ 3.125.000	\$ 6.250.000	5	1	1	1	8	BAJA
0079-LINEA 3	LLENADORA	1.2.2.1	REFRIGERACIÓN DE FONDO	SISTEMA HIDRÁULICO	Tuberías	\$ 1.500.000	\$ 0	\$ 1.500.000	2	\$ 3.125.000	\$ 6.250.000	1	1	1	1	4	BAJA
0079-LINEA 3	LLENADORA	1.2.2.2	REFRIGERACIÓN DE FONDO	SISTEMA HIDRÁULICO	Motobombas	\$ 3.000.000	\$ 0	\$ 3.000.000	6	\$ 3.125.000	\$ 18.750.000	1	1	1	7	10	BAJA
0079-LINEA 3	LLENADORA	1.2.2.3	REFRIGERACIÓN DE FONDO	SISTEMA HIDRÁULICO	Filtro	\$ 820.000	\$ 0	\$ 820.000	1	\$ 3.125.000	\$ 3.125.000	1	1	1	1	4	BAJA
0079-LINEA 3	LLENADORA	1.3.1.1 / 1	CARRUSEL	SERVOACCIONAMIENTOS	Servomotores / Servomotor eje 6, FUJ.2025 +FKA1 -M101	\$ 2.416.494	\$ 13.247.500	\$ 15.663.994	120	\$ 3.125.000	\$ 375.000.000	5	7	7	7	26	ALTA
0079-LINEA 3	LLENADORA	1.3.2.1	CARRUSEL	ESTACIONES DE LLENADO	Válvulas de llenado	\$ 4.200.000	\$ 0	\$ 4.200.000	2	\$ 3.125.000	\$ 6.250.000	5	1	1	1	8	BAJA
0079-LINEA 3	LLENADORA	1.3.2.2	CARRUSEL	ESTACIONES DE LLENADO	Accionamientos (válvulas rápido-lento)	\$ 6.800.000	\$ 0	\$ 6.800.000	2	\$ 3.125.000	\$ 6.250.000	5	1	5	1	12	BAJA

Tabla 6. Análisis consecuencia de componentes

Después de evaluar todos los componentes de los activos llenadora y procesador de bebidas zona de envasado y partiendo del análisis para identificar que ítems mantenibles se pueden aplicar estrategia de mantenimiento basado en condición MBC y se lograría monitorear predictivamente, se obtiene la tabla 7.

UBICACIÓN TÉCNICA	EQUIPO	ÍTEM TAXONOMÍA	SISTEMA	SUBSISTEMA	COMPONENTE / SUBCOMPONENTE	COSTO MTTO (MATERIALES)	COSTO MTTO (SERVICIO)	COSTO TOTAL MTTO	HORAS INTERVENCIÓN SOLUCIÓN DE FALLA (HRS)	COSTO FALLA (TARIFA DE LÍNEA)	COSTO TOTAL FALLA (TARIFA DE LÍNEA)	CONSECUENCIA DE COMPONENTES					CATEGORIA DE CONSECUENCIA
												Io	Cf	Cm	Imbc	CSC	
0079-LINEA 3	LLENADORA	1.2.1.1/1	REFRIGERACIÓN DE FONDO	SERVOACCIONAMIENTOS	Servomotores / Servomotor eje 4, FUS.2015+ELM1-M101	\$ 788.496	\$ 4.300.000	\$ 5.088.496	360	\$ 3.125.000	\$ 1.125.000.000	5	7	5	7	24	ALTA
0079-LINEA 3	LLENADORA	1.3.1.1/1	CARRUSEL	SERVOACCIONAMIENTOS	Servomotores / Servomotor eje 6, FUS.2025+FXA1-M101	\$ 2.416.434	\$ 13.247.500	\$ 15.663.934	120	\$ 3.125.000	\$ 375.000.000	5	7	7	7	26	ALTA
0079-LINEA 3	LLENADORA	1.3.6.1	CARRUSEL	MESA	Corona giratoria	\$ 49.465.339	\$ 21.000.000	\$ 70.465.339	2400	\$ 3.125.000	\$ 7.500.000.000	5	7	7	7	26	ALTA
0079-LINEA 3	LLENADORA	1.4.5.1	TAPONADORA	MESA	Rodamiento principal	\$ 26.167.132	\$ 13.247.500	\$ 39.414.632	504	\$ 3.125.000	\$ 1.575.000.000	5	7	7	7	26	ALTA
0079-LINEA 3	PROCESADOR DE BEBIDAS	2.1.1.3/1	SISTEMA DE MEZCLA	EQUIPO BASE	Bombas / Motobomba, MIB.2801 +EN1-M401	\$ 2.091.297	\$ 3.157.000	\$ 5.248.297	34	\$ 3.125.000	\$ 106.250.000	5	7	5	7	24	ALTA
0079-LINEA 3	PROCESADOR DE BEBIDAS	2.1.1.3/2	SISTEMA DE MEZCLA	EQUIPO BASE	Bombas / Motobomba, MIB.4001 +K81-M401	\$ 394.434	\$ 405.000	\$ 799.434	34	\$ 3.125.000	\$ 106.250.000	5	7	1	7	20	ALTA
0079-LINEA 3	PROCESADOR DE BEBIDAS	2.1.1.3/3	SISTEMA DE MEZCLA	EQUIPO BASE	Bombas / Motobomba, MIB.4001 +K81-M201	\$ 1.706.782	\$ 405.000	\$ 2.111.782	34	\$ 3.125.000	\$ 106.250.000	5	7	1	7	20	ALTA
0079-LINEA 3	PROCESADOR DE BEBIDAS	2.1.1.3/4	SISTEMA DE MEZCLA	EQUIPO BASE	Bombas / Motobomba, MIB.7901 +D01-M701	\$ 394.434	\$ 405.000	\$ 799.434	34	\$ 3.125.000	\$ 106.250.000	5	7	1	7	20	ALTA
0079-LINEA 3	PROCESADOR DE BEBIDAS	2.1.1.3/5	SISTEMA DE MEZCLA	EQUIPO BASE	Bombas / Motobomba, MIB.4001 +EN1-M401	\$ 1.706.782	\$ 405.000	\$ 2.111.782	34	\$ 3.125.000	\$ 106.250.000	5	7	1	7	20	ALTA
0079-LINEA 3	PROCESADOR DE BEBIDAS	2.1.1.3/6	SISTEMA DE MEZCLA	EQUIPO BASE	Bombas / Motobomba, MIB.2601 +EN1-M401	\$ 1.706.782	\$ 405.000	\$ 2.111.782	34	\$ 3.125.000	\$ 106.250.000	5	7	1	7	20	ALTA
0079-LINEA 3	PROCESADOR DE BEBIDAS	2.1.1.3/7	SISTEMA DE MEZCLA	EQUIPO BASE	Bombas / Motobomba, MIB.4201 +K81-M701	\$ 1.404.924	\$ 405.000	\$ 1.809.924	34	\$ 3.125.000	\$ 106.250.000	5	7	1	7	20	ALTA
0079-LINEA 3	PROCESADOR DE BEBIDAS	2.1.1.3/8	SISTEMA DE MEZCLA	EQUIPO BASE	Bombas / Motobomba, MIB.7001 +D01-M101	\$ 1.106.051	\$ 405.000	\$ 1.511.051	34	\$ 3.125.000	\$ 106.250.000	5	7	1	7	20	ALTA

Tabla 7. Componentes para análisis MBC

D. Hoja de ruta de técnicas predictivas:

Para realizar la hoja de ruta, parte de los activos obtenidos en la evaluación de componentes, cada uno de ellos pueden ser monitoreados con técnicas predictivas, pero no se sabe cuáles; para ello, se hace un desarrollo donde se evalúa con base en experiencia del equipo de confiabilidad y expertos en operación – mantenimiento cada componente que técnica de monitoreo predictivo puede aplicar, eso depende del contexto operacional.

En la tabla 8 se muestra la hoja de ruta con todas las técnicas predictivas a implementar para cada uno de los componentes, relacionado la frecuencia de medición – análisis predictivos y el responsable de dicha actividad de monitoreo, que puede ser outsourcing o inhouse lo cual depende de las competencias de los técnicos del equipo de confiabilidad.

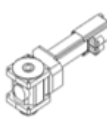



PLAN DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO																		
Punto	Ubicación Técnica	Denominación (Equipo)	Equipo / # Plan mtto	Ítem taxonomía	Sistema	Subsistema	Componente / subcomponente	Consecuencia componente	Frecuencia mtto preventivo (HRS)	Costo de mantenimiento (materiales)	Costo de mantenimiento (servicios)	Técnica predictiva						Imagen
												Análisis de vibración	Frecuencia med (AV) Responsable	Termografía	Frecuencia med (TG) Responsable	Análisis de aceite	Frecuencia med (AA) Responsable	
1	0079-LINEA 3	LLENADORA K132759DB0	519550 / 45439	1.2.1.1/1	REFRIGERACIÓN DE FONDO	SERVOACCIONAMIENTO	SERVOMOTORES / SERVOMOTOR EJE 4 FU3.2015 •ELM1-M101	ALTA	6000	\$ 788.496	\$ 4.300.000	X	CUATRIMESTR WILMER	X	CUATRIMESTR WILMER	X	CUATRIMESTR WILMER	
2	0079-LINEA 3	LLENADORA K132759DB0	519550 / 45439	1.3.1.1/1	CARRUSEL	SERVOACCIONAMIENTO	SERVOMOTORES / SERVOMOTOR EJE 6 FU3.2025 •FKA1-M101	ALTA	6000	\$ 2.416.494	\$ 13.247.500	X	CUATRIMESTR A-MAQ	X	CUATRIMESTR WILMER			
3	0079-LINEA 3	LLENADORA K132759DB0	519550 / 45439	1.3.6.1	CARRUSEL	MESA	CORONA GIRATORIA	ALTA	48000	\$ 49.465.939	\$ 21.000.000	X	CUATRIMESTR A-MAQ			X	CUATRIMESTR TRIBOS ING	
4	0079-LINEA 3	LLENADORA K132759DB0	519550 / 45439	1.4.5.1	TAPONADO RA	MESA	RODAMIENTO PRINCIPAL	ALTA	48000	\$ 26.167.132	\$ 13.247.500	X	CUATRIMESTR A-MAQ					

Tabla 8. Hoja de ruta de técnicas predictivas

E. Plan de mantenimiento predictivo SAP:

En Postobón S.A se tiene como ERP de gestión empresarial y planificación del mantenimiento el software SAP, donde se crean todos los planes de mantenimiento preventivos, partiendo de la hoja de ruta tabla 8; se crea el plan de mantenimiento predictivo con la frecuencia de medición - análisis ya establecida y así en la planificación SAP arroje órdenes para la medición análisis del monitoreo predictivo.

En la ilustración 21 muestra el entorno de creación del plan de mantenimiento predictivo en SAP, se configura que tipo de orden debe arrojar en el lanzamiento general de planes, para el caso de técnicas predictivas la clase de orden es PM07, esto nos ayuda para identificar las operaciones predictivas y la relación con el costo de intervención de mantenimiento, además para realizar trazabilidad en el tiempo a la condición del activo y así tomar acciones de modificación de

frecuencias mediciones predictivas, manteniendo el margen de operación segura en la falla potencial, pero evitando que se llegue a la falla funcional.

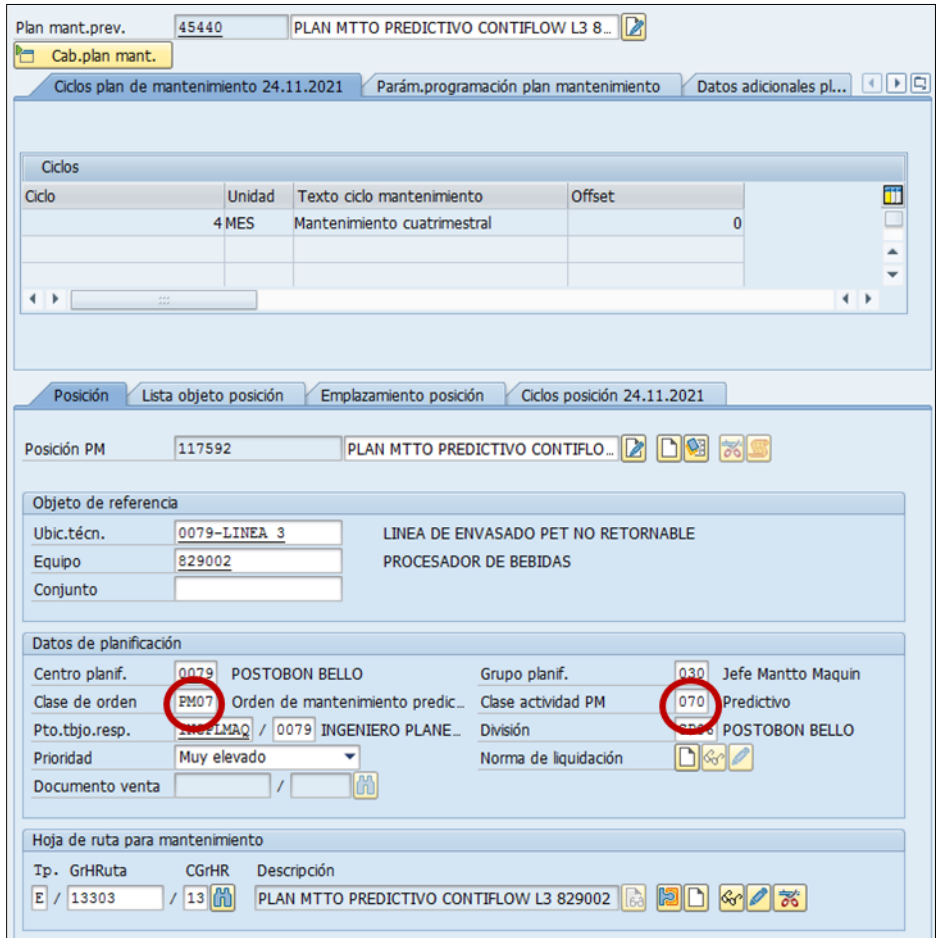


Ilustración 21. Entorno para crear plan de mantenimiento predictivo en SAP

En la ilustración 22 se muestra todas las operaciones de medición y análisis con técnicas predictivas obtenidas de la hoja de ruta previamente realizada, teniendo en cuenta que cada operación se refiere a una técnica predictiva de un componente, en la descripción de operación está toda la información que el técnico necesita para la ejecución del trabajo. Es muy importante que el técnico inhouse conozca los TAG de los equipos para el momento que sea asignada la orden de trabajo sepa distribuir el tiempo para ejecutar la medición de toda la ruta de confiabilidad planificada, también aplica para los servicios outsourcing ya que el técnico de confiabilidad acompaña para realizar las mediciones. Teniendo ya establecido el aliado estratégico que realiza el

servicio es importante que se base en la información suministrada del plan de mantenimiento predictivo y todos los informes suministrados estén con los TAG ya designados en el plan.

Resumen general operación											
Op.	SOp	PstoTbjo	Ce.	Ctrl	Descripción operación	T. Trabajo	Un.	Nº	Dur.	Un.	C %
0010	INGPLMAQ	0079	PM01		MED VIBRA SIS MEZ MI3.2801+EN1-M801 (5)	✓ 1,0	HRA	1	1,0	HRA	2 100
0020	INGPLMAQ	0079	PM01		MED TERMO SIS MEZ MI3.2801+EN1-M801 (5)	✓ 1,0	HRA	1	1,0	HRA	2 100
0030	INGPLMAQ	0079	PM01		MED VIBRA SIS MEZ MI3.4001 +KB1-M401 (6)	✓ 1,0	HRA	1	1,0	HRA	2 100
0040	INGPLMAQ	0079	PM01		MED TERMO SIS MEZ MI3.4001 +KB1-M401 (6)	✓ 1,0	HRA	1	1,0	HRA	2 100
0050	INGPLMAQ	0079	PM01		MED VIBRA SIS MEZ MI3.4001 +KB1-M201 (7)	✓ 1,0	HRA	1	1,0	HRA	2 100
0060	INGPLMAQ	0079	PM01		MED TERMO SIS MEZ MI3.4001 +KB1-M201 (7)	✓ 1,0	HRA	1	1,0	HRA	2 100
0070	INGPLMAQ	0079	PM01		MED VIBRA SIS MEZ MI3.7301 +DO1-M701 (8)	✓ 1,0	HRA	1	1,0	HRA	2 100
0080	INGPLMAQ	0079	PM01		MED TERMO SIS MEZ MI3.7301 +DO1-M701 (8)	✓ 1,0	HRA	1	1,0	HRA	2 100
0090	INGPLMAQ	0079	PM01		MED VIBRA SIS MEZ MI3.2401 +EN1-M701 (9)	✓ 1,0	HRA	1	1,0	HRA	2 100
0100	INGPLMAQ	0079	PM01		MED TERMO SIS MEZ MI3.2401 +EN1-M701 (9)	✓ 1,0	HRA	1	1,0	HRA	2 100
0110	INGPLMAQ	0079	PM01		MED VIBRA SIS MEZ MI3.2601+EN1-M401 (10)	✓ 1,0	HRA	1	1,0	HRA	2 100
0120	INGPLMAQ	0079	PM01		MED TERMO SIS MEZ MI3.2601+EN1-M401 (10)	✓ 1,0	HRA	1	1,0	HRA	2 100
0130	INGPLMAQ	0079	PM01		MED VIBRA SIS MEZ MI3.4201+KB1-M701 (11)	✓ 1,0	HRA	1	1,0	HRA	2 100
0140	INGPLMAQ	0079	PM01		MED TERMO SIS MEZ MI3.4201+KB1-M701 (11)	✓ 1,0	HRA	1	1,0	HRA	2 100
0150	INGPLMAQ	0079	PM01		MED VIBRA SIS MEZ MI3.7001+DO1-M101 (12)	✓ 1,0	HRA	1	1,0	HRA	2 100
0160	INGPLMAQ	0079	PM01		MED TERMO SIS MEZ MI3.7001+DO1-M101 (12)	✓ 1,0	HRA	1	1,0	HRA	2 100

Form.párrafo *Párrafo alineado a izquierda Form.caract.

MED VIBRA SIS MEZ MI3.2801+EN1-M801 (5)

*MTTO PREDICTIVO
 *SERVICIO: OUTSOURCING
 *RESPONSABLE: A-MAQ
 *SISTEMA: SISTEMA DE MEZCLA
 *COMPONENTE: BOMBAS/MOTOBOMBA MI3.2801 +EN1 -M801
 *CRITICIDAD: ALTO
 *FRECUENCIA MTTO PREVENTIVO: 12000 HRS
 *TRABAJOS:
 - Configurar dispositivo de medición
 - Verificar que el equipo se encuentre en funcionamiento para poder realizar las mediciones
 - Tomar medidas en diferentes puntos del componente (Horizontal, vertical y axial)
 - Comprobar si hay fallas con datos obtenidos
 - Notificar fallas encontradas en análisis"

Ilustración 22. Operaciones para medición – análisis predictivo

En la ilustración 23 muestra la configuración de las frecuencias de medición – análisis predictivos en el plan de mantenimiento SAP y está sujeta a cambios de acuerdo al criterio del equipo de confiabilidad, con base en los diagnósticos previos y el análisis ingenieril, sin comprometer el margen de operación segura después de tener identificada la falla potencial.

Equipo 829002 PROCESADOR DE BEBIDAS
 GrHRuta 13303 PLAN MTTTO PREDICTIVO CONTIFLOW L3 829002 ContGrpoHR 13

Resumen oper.paquetes mant.prev.

Op.	Su...	Descripción operación	1D	7D	14	1M	2M	3M	4M	6M	1A	2A	3A	4A	5A	6A	8A	DA
0010		MED VIBRA SIS MEZ MI3.2801+EN1-M801 (5)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
0020		MED TERMO SIS MEZ MI3.2801+EN1-M801 (5)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
0030		MED VIBRA SIS MEZ MI3.4001 +KB1-M401 (6)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
0040		MED TERMO SIS MEZ MI3.4001 +KB1-M401 (6)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
0050		MED VIBRA SIS MEZ MI3.4001 +KB1-M201 (7)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
0060		MED TERMO SIS MEZ MI3.4001 +KB1-M201 (7)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
0070		MED VIBRA SIS MEZ MI3.7301 +DO1-M701 (8)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
0080		MED TERMO SIS MEZ MI3.7301 +DO1-M701 (8)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
0090		MED VIBRA SIS MEZ MI3.2401 +EN1-M701 (9)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
0100		MED TERMO SIS MEZ MI3.2401 +EN1-M701 (9)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
0110		MED VIBRA SIS MEZ MI3.2601+EN1-M401 (10)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
0120		MED TERMO SIS MEZ MI3.2601+EN1-M401 (10)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
0130		MED VIBRA SIS MEZ MI3.4201+KB1-M701 (11)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
0140		MED TERMO SIS MEZ MI3.4201+KB1-M701 (11)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
0150		MED VIBRA SIS MEZ MI3.7001+DO1-M101 (12)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
0160		MED TERMO SIS MEZ MI3.7001+DO1-M101 (12)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Ilustración 23. Configuración de frecuencias para operaciones predictivas

F. Mediciones y análisis predictivos:

La finalidad del plan de mantenimiento predictivo en SAP es arrojar órdenes planificadas PM07 en una frecuencia de tiempo establecida y así realizar mediciones y análisis predictivos; para luego partiendo de un conocimiento técnico especializado, poder emitir un resultado de:

- Diagnóstico, modos de fallos detectables
- Recomendaciones

En las tablas 9, 10, 11 muestra las primeras mediciones realizadas partiendo de una planificación de SAP, donde se puede evidenciar los resultados de las mediciones de todas las técnicas predictivas implementadas, para luego partiendo de un análisis por técnicos de confiabilidad (outsourcing e inhouse), emitieron un diagnóstico y recomendación.

Teniendo identificado que la condición del activo es el soporte para la intervención de cambio de piezas, solo se realiza intervención de “mantenimiento preventivo” cuando el diagnóstico se lo recomiende, a eso se le llama: mantenimiento basado en condición MBC.

COMPONENTE	1 HOR-ISO (mm/s)	1 HOR-NAF (g)	1 VER-ISO (mm/s)	1 VER-NAF (g)	2 HOR-ISO (mm/s)	2 HOR-NAF (g)	2 VER-ISO (mm/s)	2 VER-NAF (g)	2 AXI-ISO (mm/s)	2 AXI-NAF (g)	3 HR/DG-ISO (mm/s)	3 HR/DG-NAF (g)	3 AXI-ISO (mm/s)	3 AXI-NAF (g)	ESTADO1	ESTADO2	DIAGNOSTICO	RECOMENDACIONES
RODAMIENTO PRINCIPAL	NA	NA	0,976	0,042	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	B	ACEPTABLE	La máquina presenta niveles aceptables de vibración, bajo norma ISO 10816.	Mantener en seguimiento las condiciones actuales de la máquina.
MOTOBOMBA MI3.2801 +EN1 -M801	2,110	0,432	2,480	0,212	1,780	0,244	1,860	0,368	1,716	1,620	2,530	2,390	2,170	1,840	D	MAL	Se observa en espectros de alta frecuencia en el punto 3 DIAG (BOMBA), patrones de	REVISIÓN: Se recomienda: Verificar condiciones de flujo y AJUSTAR Y SEGUIMIENTO: Se recomienda:
MOTOBOMBA MI3.2801 +EN1 -M801	1,840	0,417	1,150	0,257	0,950	0,345	0,710	0,543	3,490	0,285	2,890	0,710	3,320	1,560	C	INSATISFACTORIO	Se observa en espectros de baja frecuencia del punto 2 AXI (MOTOR LADO BOMBA),	SEGUIMIENTO: Se recomienda mantener en seguimiento las condiciones actuales de la máquina.
MOTOBOMBA MI3.4001 +KB1 -M401	2,240	0,073	1,600	0,289	1,660	0,352	1,820	0,286	1,680	0,520	2,580	0,491	1,730	0,689	B	ACEPTABLE	La máquina no presenta condiciones relevantes que conlleven a fallas a	SEGUIMIENTO: Se recomienda mantener en seguimiento las condiciones actuales de la máquina.
MOTOBOMBA MI3.4001 +KB1 -M401	4,530	0,197	2,090	0,265	2,850	0,330	1,860	0,260	2,740	0,240	3,620	0,367	2,450	0,317	C	INSATISFACTORIO	Se observa en espectros de baja frecuencia del punto 1 HOR (MOTOR LADO LIBRE),	AJUSTAR Y VERIFICAR: Se recomienda: AJUSTAR los anclajes de la máquina.
MOTOBOMBA MI3.4001 +KB1 -M201	1,690	0,086	1,630	0,046	1,500	0,657	1,780	0,585	1,460	0,329	1,080	0,087	1,870	0,448	B	ACEPTABLE	La máquina no presenta condiciones relevantes que conlleven a fallas a	SEGUIMIENTO: Se recomienda mantener en seguimiento las condiciones actuales de la máquina.
MOTOBOMBA MI3.4001 +KB1 -M201	3,350	0,248	1,610	0,279	2,530	0,531	1,900	0,497	2,470	0,179	3,600	0,411	2,230	0,377	B	ACEPTABLE	La máquina presenta niveles aceptables de vibración, bajo norma ISO 10816.	Mantener en seguimiento las condiciones actuales de la máquina.
MOTOBOMBA MI3.7301 +DO1 -M701	1,850	0,091	1,810	0,045	2,000	0,056	2,270	0,043	1,200	0,074	3,080	0,087	0,987	0,101	B	ACEPTABLE	La máquina no presenta condiciones relevantes que conlleven a fallas a	SEGUIMIENTO: Se recomienda mantener en seguimiento las condiciones actuales de la máquina.
MOTOBOMBA MI3.7301 +DO1 -M701	1,090	0,063	1,710	0,069	1,050	0,120	1,230	0,139	1,430	0,055	1,210	0,151	1,500	0,184	B	ACEPTABLE	La máquina presenta niveles aceptables de vibración, bajo norma ISO 10816.	Mantener en seguimiento las condiciones actuales de la máquina.
MOTOBOMBA MI3.2401 +EN1 -M701	9,910	0,101	4,490	0,143	6,100	0,483	4,590	0,846	5,470	1,260	13,40	0,989	9,270	1,400	D	MAL	Se observa en espectros de alta frecuencia en el punto 2 AXI (MOTOR LADO BOMBA),	REPARACIÓN: Se recomienda programar cambio de rodamientos
MOTOBOMBA MI3.2401 +EN1 -M701	7,910	0,399	3,450	0,270	6,080	0,521	2,600	0,313	7,690	0,342	15,90	2,000	7,970	0,612	D	MAL	Se observa en espectros de baja frecuencia de toda la máquina, excitación de la	REVISIÓN, AJUSTE Y SEGUIMIENTO: Se recomienda: Realizar rutinas
MOTOBOMBA MI3.2601 +EN1 -M401	8,100	0,507	11,00	0,276	9,430	0,827	2,490	1,050	12,80	2,150	24,30	3,440	9,240	2,540	D	MAL	Se observa en espectros de alta frecuencia en el punto 3 AXIAL (BOMBA), patrones de	REVISIÓN: Se recomienda: Revisar el estado y ajuste del rotor
MOTOBOMBA MI3.2601 +EN1 -M401	19,30	0,622	4,990	0,441	5,830	0,917	2,910	1,320	6,850	0,497	12,90	1,330	9,330	1,430	D	MAL	Se observa en espectros de baja frecuencia de toda la máquina, excitación de la	REVISIÓN, AJUSTE Y SEGUIMIENTO: Se recomienda: Realizar rutinas

Tabla 9. Mediciones y análisis predictivos vibraciones

COMPONENTE	MEDICIÓN VISCOSIDAD	MEDICIÓN OXIDACIÓN TAN	MEDICIÓN CONTENIDO DE ADITIVOS ANTIFRICCIÓN	MEDICIÓN CONTAMINACIÓN POR LIQUIDOS Y PARTÍCULAS SÓLIDAS	MEDICIÓN CONTAMINACIÓN CON PARTÍCULAS METÁLICAS	MEDICIÓN METALES DE DESGASTE	DIAGNOSTICO	RECOMENDACIONES
CORONA GIRATORIA	EF: EN FALLA, TOMAR ACCIÓN	OC: OPERACIÓN CONFIABLE	OC: OPERACIÓN CONFIABLE	OC: OPERACIÓN CONFIABLE	EF: EN FALLA, TOMAR ACCIÓN	OC: OPERACIÓN CONFIABLE	OC: OPERACIÓN CONFIABLE	El aceite puede continuar en servicio, pero se debe filtrar de manera inmediata hasta dejarlo en el código
<p>- OC: Operación Confiable: Aceite bien, limpio, desgaste normal (Verde)</p> <p>- OF: Operación en Falla: Aceite afectado, desgaste anormal (Amarillo)</p> <p>- EF: En Falla: Tomar acción, cambiar, filtrar, verificar mecanismo (Rojo)</p>								

Tabla 10. Mediciones y análisis predictivos tribología

COMPONENTE	MEDICIÓN PUNTO 1 (°C)	MEDICIÓN PUNTO 2 (°C)	DIAGNOSTICO
SERVOMOTOR EJE 4 FU3.2015 +ELM1 -M101	44	42	ACEPTABLE, no se encontró fallo
SERVOMOTOR EJE 6 FU3.2025 +FKA1 -M101	47	47	ACEPTABLE, no se encontró fallo
MOTOBOMBA MI3.2801 +EN1 -M801	48	46	ACEPTABLE, no se encontró fallo
MOTOBOMBA MI3.4001 +KB1 -M401	52	50	ACEPTABLE, no se encontró fallo
MOTOBOMBA MI3.4001 +KB1 -M201	49	50	ACEPTABLE, no se encontró fallo
MOTOBOMBA MI3.7301 +DO1 -M701	38,6	38,6	ACEPTABLE, no se encontró fallo
MOTOBOMBA MI3.2401 +EN1 -M701	46	49	ACEPTABLE, no se encontró fallo
MOTOBOMBA MI3.2601 +EN1 -M401	45,5	45,4	ACEPTABLE, no se encontró fallo
MOTOBOMBA MI3.4201 +KB1 -M701	41,8	40,1	ACEPTABLE, no se encontró fallo
MOTOBOMBA MI3.7001 +DO1 -M101	38,4	37,1	ACEPTABLE, no se encontró fallo

Tabla 11. Mediciones y análisis predictivos termografía

VIII. RESULTADOS

A. Aplicación informática, condición de activos:

La finalidad de la implementación de una estrategia de mantenimiento basado en condición MBC es tomar acciones de intervención, cambio de partes, cuando realmente es requerido, para ello es necesario tener registro de las mediciones y análisis predictivos, para tener trazabilidades de condiciones en los componentes y las frecuencias de intervención. Partiendo de ello, se desarrolla una aplicación informática donde se registran todas las mediciones y análisis predictivos planificados desde SAP, donde en la primera pantalla (ver ilustración 24) se tiene de forma opcional la selección del centro. Para el caso del trabajo realizado está implementado en el centro de Postobón S.A Bello, partiendo de la identificación de consecuencias de componentes, se tienen los críticos asociados a los costos de operación, además, los tipos de técnicas de diagnósticos predictivos.

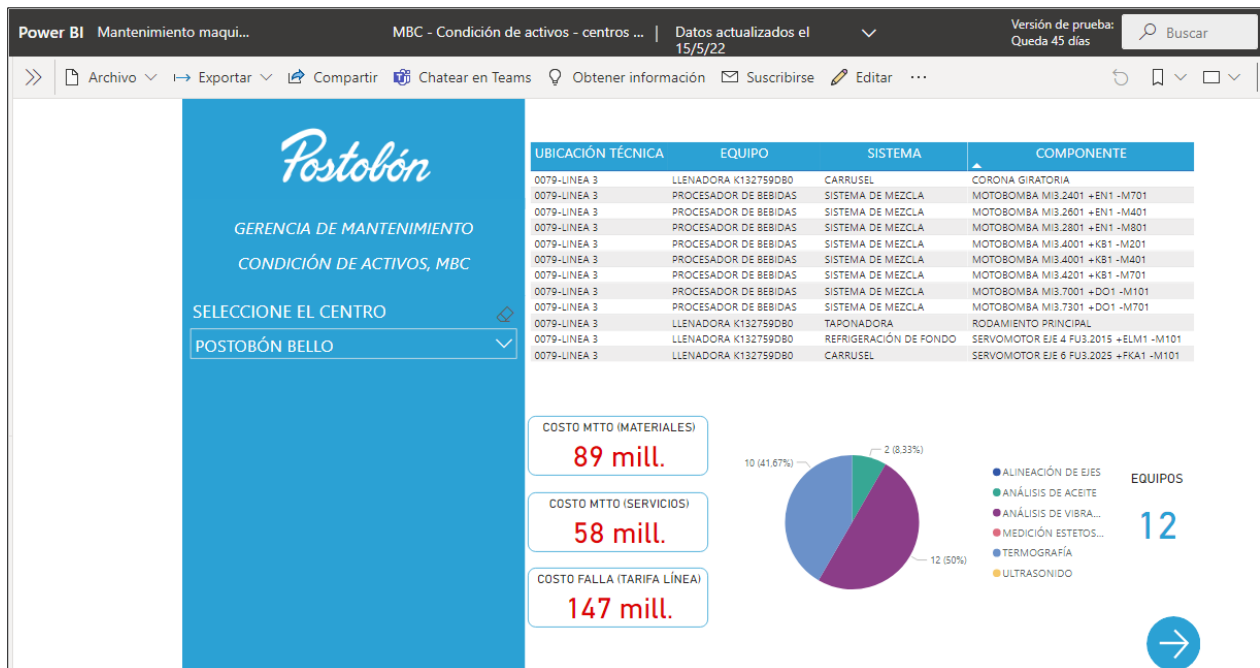


Ilustración 24. Primera pantalla de aplicación informática para MBC

En la segunda pantalla de la aplicación informática, condición de activos (ver ilustración 25), se tiene el registro histórico de las mediciones de vibración, termografía y análisis de aceite por componentes; en la parte izquierda están todos los componentes críticos y las fechas de medición, seleccionando el componente se muestra la condición final del activo indicando la severidad y el estado final, partiendo de las mediciones mostradas en la pantalla y el analista que da el diagnóstico - recomendación asociado a los modos de falla encontrados. En la misma pantalla se puede encontrar toda la trazabilidad de las mediciones realizadas de todas las técnicas de diagnóstico predictivo para identificación de condición del activo.

The screenshot shows the 'MBC - Condición de activos' application interface. The top navigation bar includes 'Power BI', 'Mantenimiento maqui...', 'MBC - Condición de activos - centros ...', and 'Datos actualizados el 15/5/22'. The main content area is divided into several sections:

- Left Sidebar:** Contains the 'Postobón' logo, 'GERENCIA DE MANTENIMIENTO', 'SALUD DE ACTIVOS, MBC', and a list of components under 'SELECCIONE EL COMPONENTE CRÍTICO'. The selected component is 'MOTOBOMBA MI3.2401 +EN1 -M701'.
- Main Content Area:**
 - ANALISTA DE VIBRACIONES:** HENRY MOREU
 - SEVERIDAD:** D
 - ESTADO DEL ACTIVO:** MAL
 - Table of Vibration Measurements:**

FECHA MEDICIÓN VIBRACIONES	ORDEN SAP MEDICIÓN VIBRACIONES	1 HOR- ISO (mm/s)	1 HOR- NAF (g)	1 VER- ISO (mm/s)	1 VER- NAF (g)	2 HOR- ISO (mm/s)	2 HOR- NAF (g)	2 VER- ISO (mm/s)	2 VER- NAF (g)	2 AXI- ISO (mm/s)	2 AXI- NAF (g)	3 HR- ISO (mm/s)	3 HR- NAF (g)	3 VE- ISO (mm/s)
14/10/2021	NA	7.91	0.399	3.45	0.27	6.08	0.521	2.6	0.313	7.59	0.342	15.9	2	NA
14/02/2022	NA	9.91	0.101	4.49	0.143	6.1	0.483	4.59	0.846	5.47	1.26	13.4	0.989	NA
 - DIAGNOSTICO ANÁLISIS VIBRACIONES:** Se observa en espectros de alta frecuencia en el punto 2 AXI (MOTOR LADO BOMBA) patrones de levantamiento de piso aleatorio asociado a condiciones de contacto metal-metal, indicando desgaste en rodamientos.
 - RECOMENDACIONES ANÁLISIS VIBRACIONES:** REPARACIÓN: Se recomienda programar cambio de rodamientos en el motor. Realizar estas actividades durante los próximos 15 días de operación de la máquina.
 - Modos de Fallo:**

MODO DE FALLO 1	MODO DE FALLO 2	MODO DE FALLO 3	MODO DE FALLO 4	MODO DE FALLO 5
Desgaste de rodamiento	Holgura rotativa	Holgura no rotativa	Problemas en álabes	
 - Table of Oil Analysis:**

FECHA MEDICIÓN ACEITE	ORDEN SAP MEDICIÓN ACEITE	ANALISTA	DIAGNOSTICO	MEDICIÓN VISCOSIDAD	FECHA MEDICIÓN TERMOGRAFÍA	ORDEN SAP MEDICIÓN TERMOGRAFÍA	ANALISTA
14/02/2022	NA						WILMER ALZATE

Ilustración 25. Segunda pantalla de aplicación informática para MBC

B. Análisis económico real de monitoreo basado en condición:

El objetivo fundamental de la implementación de monitoreo basado en la condición es tener un mantenimiento efectivo, a un costo óptimo, generando ahorros, en comparación con el mantenimiento preventivo por frecuencia rutinaria, para garantizar la confiabilidad de los activos, haciendo que los equipos analizados no lleguen a la falla potencial. En la tabla 12 se muestra un

ejemplo de relación de frecuencias de intervención cambio de partes, utilizando las diferentes estrategias de mantenimiento, hasta llegar a la implementación de MBC, que es una intervención en el tiempo óptimo. En la ilustración 26 se muestra en la línea de horas de operación la intervención de mantenimiento preventivo, basándose en la recomendación del fabricante, experiencia in-house e implementación de mantenimiento basado en condición.

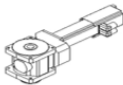
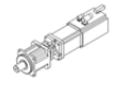



ÍTEM	UBICACIÓN TÉCNICA	DENOMINACIÓN (EQUIPO)	EQUIPO	ÍTEM TAXONOMÍA	SISTEMA	SUBSISTEMA	COMPONENTE	PLAN DE MTTO	SERVICIO	G/H/Nota	OP	TRABAIOS	FRECUENCIA FABRICANTE (HORAS)	FRECUENCIA EXPERIENCIA (HORAS)	FRECUENCIA MBC (HORAS)	FOTO
1	0079-LINEA 3	LLENADORA K132759D80	519550	1.2.1.1 / 1	REFRIGERACIÓN DE FONDO	SERVOACCIONAMIENTO	SERVOMOTORES / SERVOMOTOR EJE 4 FU3.2015 +ELM1 -M101	ELÉCTRICO	INHOUSE	13207 /20	0070	Desarme del equipo, desmonte de reductor, freno, rotor. Reemplazar rodamientos, freno y anillos, calibrar el encoder.	6.000	12.000	18.000	
2	0079-LINEA 3	LLENADORA K132759D80	519550	1.3.1.1 / 1	CARRUSEL	SERVOACCIONAMIENTO	SERVOMOTORES / SERVOMOTOR EJE 6 FU3.2025 +FKA1 -M101	ELÉCTRICO	INHOUSE	13207 /20	0070	Desarme del equipo, desmonte de reductor, freno, rotor. Reemplazar rodamientos, freno y anillos, calibrar el encoder.	6.000	12.000	18.000	
3	0079-LINEA 3	LLENADORA K132759D80	519550	1.3.6.1	CARRUSEL	MESA	CORONA GIRATORIA	MECÁNICO	OUTSOURCING	13207 /16	0190	Desarme del equipo, desmonte de piezas ha cambiar. Reemplazar rodamientos, verificar funcionamiento del sistema.	48.000	54.000	60.000	
4	0079-LINEA 3	LLENADORA K132759D80	519550	1.4.4.1	TAPONADORA	MESA	RODAMIENTO PRINCIPAL	MECÁNICO	OUTSOURCING	13207 /16	0200	Desarme del equipo, desmonte de piezas ha cambiar. Reemplazar rodamientos, verificar funcionamiento del sistema.	48.000	54.000	60.000	
5	0079-LINEA 3	PROCESADOR DE BEBIDAS	829002	2.1.1.3 / 1	SISTEMA DE MEZCLA	EQUIPO BASE	BOMBAS / MOTOBOMBA MI3.2801 +EN1 -M801	ELÉCTRICO	INHOUSE	13303 /9	0030	Desacoplar motor de la bomba, retirar caperuza, ventilador y tapa trasera. Desmontar rotor, reemplazar rodamientos y reemplazar piezas de desgaste; realizar limpieza general. Armar motor, realizar pruebas de funcionamiento.	12.000	18.000	24.000	

Tabla 12. Optimización costos de mantenimiento implementando MBC

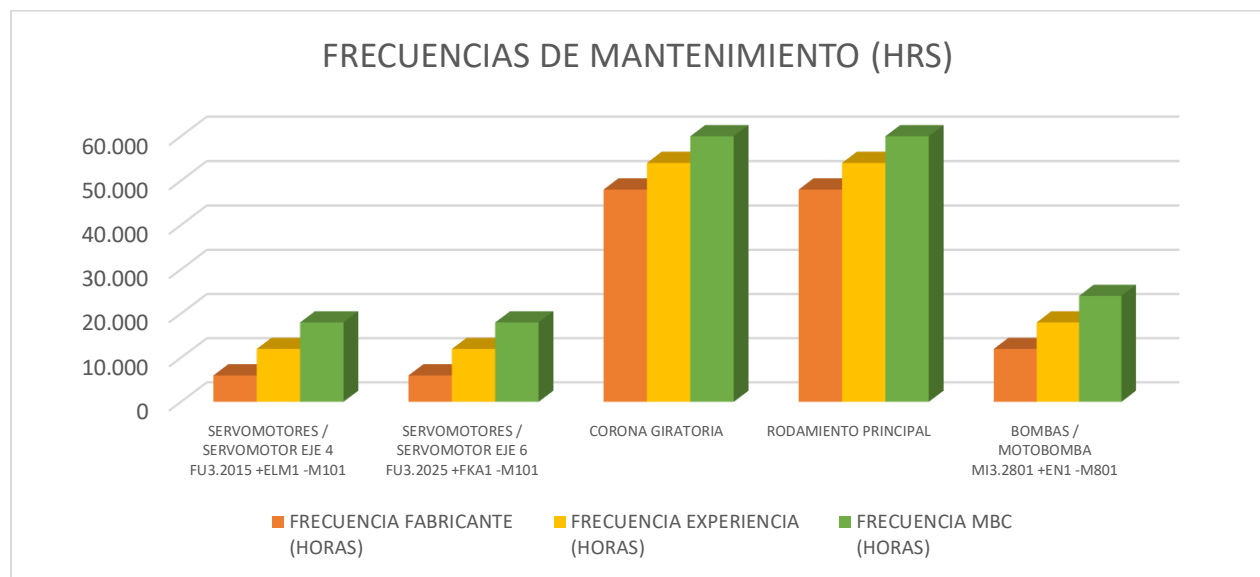


Ilustración 26. Comparación de frecuencias de mantenimiento en implementación de MBC

En la tabla 13 se muestra la relación costos intervención de mantenimiento, basándose en las diferentes frecuencias de intervención, partiendo de la recomendación del fabricante, experiencia in-house e implementación de MBC, donde explícitamente la ilustración 27 muestra la inversión en el tiempo, menos significativa, con el desarrollo de monitoreo a condición.

ÍTEM	UBICACIÓN TÉCNICA	DENOMINACIÓN (EQUIPO)	EQUIPO	ÍTEM TAXONOMÍA	SISTEMA	SUBSISTEMA	COMPONENTE	FRECUENCIA FABRICANTE (HORAS)	FRECUENCIA EXPERIENCIA (HORAS)	FRECUENCIA MBC (HORAS)	COSTOS REPUESTOS DE MANTENIMIENTO (\$)	SERVICIO	COSTO SERVICIO DE MANTENIMIENTO (\$)	COSTO TOTAL DE MANTENIMIENTO (\$)	COSTO TOTAL DE MANTENIMIENTO (\$) A 10 AÑOS FRECUENCIA FABRICANTE	COSTO TOTAL DE MANTENIMIENTO (\$) A 10 AÑOS FRECUENCIA EXPERIENCIA	COSTO TOTAL DE MANTENIMIENTO (\$) A 10 AÑOS FRECUENCIA MBC
1	0079-LINEA3	LLENADORA K132759D80	519550	1.2.1.1/1	REFRIGERACIÓN DE FONDO	SERVOACCIONAMIENTO	SERVOMOTORES / SERVOMOTOR EJE 4 FU3.2015 +ELM1 -M101	6.000	12.000	18.000	788.496 COP	OUTSOURCING	4.300.000 COP	5.088.496 COP	50.884.960 COP	25.442.480 COP	16.961.653 COP
2	0079-LINEA3	LLENADORA K132759D80	519550	1.3.1.1/1	CARRUSEL	SERVOACCIONAMIENTO	SERVOMOTORES / SERVOMOTOR EJE 6 FU3.2025 +FKA1 -M101	6.000	12.000	18.000	2.416.494 COP	OUTSOURCING	13.247.500 COP	15.663.994 COP	156.639.940 COP	78.319.970 COP	52.213.313 COP
3	0079-LINEA3	LLENADORA K132759D80	519550	1.3.6.1	CARRUSEL	MESA	CORONA GIRATORIA	48.000	54.000	60.000	49.465.939 COP	OUTSOURCING	21.000.000 COP	70.465.939 COP	88.082.424 COP	78.295.488 COP	70.465.939 COP
4	0079-LINEA3	LLENADORA K132759D80	519550	1.4.4.1	TAPONADORA	MESA	RODAMIENTO PRINCIPAL	48.000	54.000	60.000	26.167.132 COP	OUTSOURCING	13.247.500 COP	39.414.632 COP	49.268.290 COP	43.794.036 COP	39.414.632 COP
5	0079-LINEA3	PROCESADOR DE BEBIDAS	829002	2.1.1.3/1	SISTEMA DE MEZCLA	EQUIPO BASE	BOMBAS / MOTOBOMBA MI3.2801 +EN1 -M801	12.000	18.000	24.000	2.091.297 COP	OUTSOURCING	3.157.000 COP	5.248.297 COP	26.241.485 COP	17.494.323 COP	13.120.743 COP
														371.117.099 COP	243.346.297 COP	192.176.280 COP	

Tabla 13. Relación de ahorros con implementación MBC

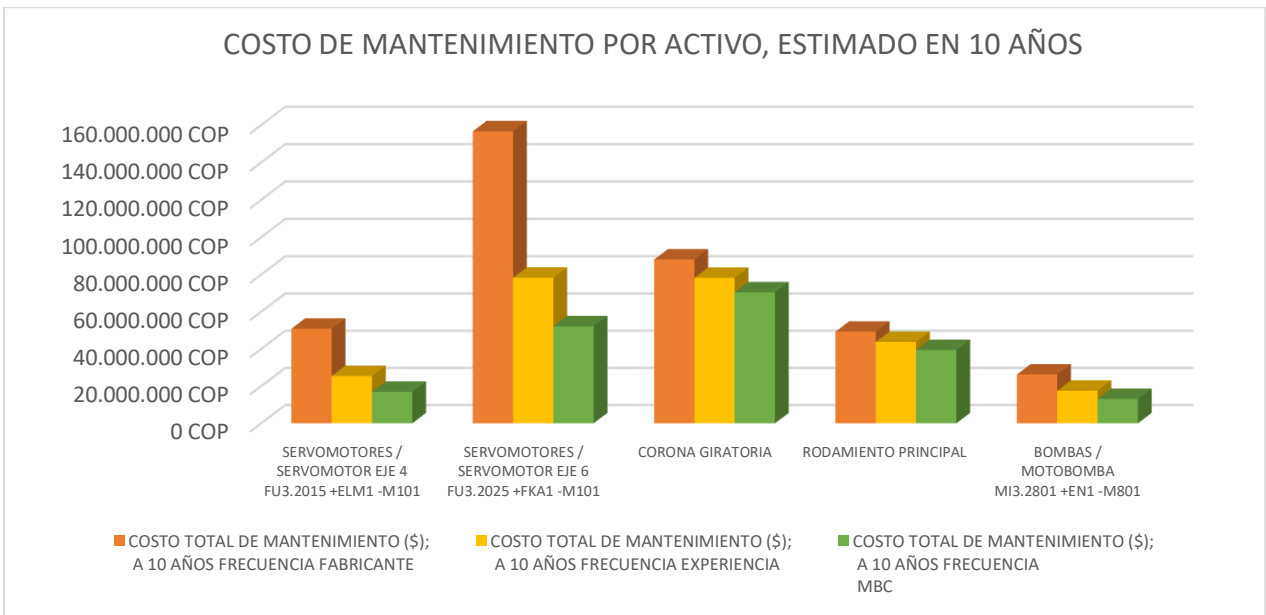


Ilustración 27. Comparación costos de mantenimiento en implementación de MBC

IX. CONCLUSIONES

El mundo del mantenimiento de activos físicos evoluciona constantemente para optimizar los niveles de utilización de la productividad garantizando la confiabilidad en la operación; una de las estrategias de mantenimiento que hace foco en evitar fallas funcionales en equipos industriales es el mantenimiento basado en condición MBC, metodología usada en este trabajo, donde se desarrolló una estructura de confiabilidad de activos hasta llegar a gestionar mediciones y análisis predictivos, con el fin de obtener un diagnóstico de modo de fallas y tomar decisiones de intervención, cambio de partes, para evitar que se materialice la falla funcional o la falla total catastrófica.

La ingeniería de confiabilidad tiene como objetivo hacer adquisición de datos predictivos, relacionar los modos de falla y hacer una trazabilidad de la información para toma de decisiones, como optimización de frecuencias de monitoreo o intervención de activos, con ello se busca tener controlada la condición de los activos, manteniéndolos en una operación segura, evitando que se presenten condiciones peligrosas que representarían un mantenimiento costoso y un riesgo para la productividad.

La finalidad del trabajo de monografía consta en crear una estructura de confiabilidad de activos críticos para la operación de Postobón S.A y tenerlos monitoreados con técnicas predictivas, evitando que se llegue a la falla que podría representar un impacto negativo en seguridad, productividad, costos y medio ambiente. Cada vez que un equipo entre en el programa de mantenimiento basado en la condición MBC se debe garantizar que nunca debe fallar funcionalmente con patologías derivadas de condición predecible, con esto se genera un soporte para la implementación de la estrategia.

X. RECOMENDACIONES

Se debe tener en cuenta que la implementación de mantenimiento basado en condición, utilizando técnicas predictivas, es una inversión costosa que representa adquisición de herramientas y personal calificado, no se puede implementar en equipos con baja criticidad para la operación y cuando se identifican los componentes para analizar se debe tener en cuenta la relación costo beneficio y todos los factores asociados de impacto negativos en:

- Productividad: conociendo que se generaría incumplimiento al cliente final.
- Calidad: generando insatisfacciones del cliente final con el producto recibido inconforme.
- Costos: asociados a las inversiones de mano de obra, servicios industriales y mantenimiento, cuando se presenta una falla.
- Seguridad: riesgo potencial de accidente en los colaboradores,
- Medio ambiente: riesgo de daños o contaminaciones.

REFERENCIAS

- [1] R. Santamaría, “Tendencias del Mantenimiento Predictivo,” 2002. Accessed: Dec. 06, 2021. [Online]. Available: <https://www.tam.com.mx/images/descargas/articulos/tam07.pdf>
- [2] C. E. Torres, “Cómo calcular los ahorros generados por tu mantenimiento Fuente: <https://power-mi.com/es/content/c%C3%B3mo-calculer-los-ahorros-generados-por-tu-mantenimiento>,” 2020. [Online]. Available: <https://power-mi.com/es/content/c%C3%B3mo-calculer-los-ahorros-generados-por-tu-mantenimiento>
- [3] R. Pérez, D. Pérez, and S. Fernández, “Evaluación por riesgo del peso de las fallas en transformadores de potencia,” 2013. Accessed: Dec. 06, 2021. [Online]. Available: <http://www.laccei.org/LACCEI2013-Cancun/RefereedPapers/RP271.pdf>
- [4] J. Blanco and O. Duque, “Ingeniería de mantenimiento basada en confiabilidad a los equipos altamente críticos,” 2018, Accessed: Dec. 06, 2021. [Online]. Available: <https://www.fesc.edu.co/Revistas/OJS/index.php/mundofesc/article/view/251>
- [5] C. Parra Márquez and A. Crespo Márquez, “Técnicas de Ingeniería de Mantenimiento y Fiabilidad aplicadas en el proceso de Gestión de Activos Nota técnica 5: Métodos de Análisis de Criticidad y Jerarquización de Activos Septiembre 2012,” 2012. [Online]. Available: www.ingeman.net
- [6] M. Yam, R. Pali, and J. Zavala, “Aplicabilidad de la criticidad en el mantenimiento de equipos,” *Project, Design and Management*, vol. 1, no. 1, pp. 33–48, 2019, doi: 10.35992/mlspdm.v1i1.168.
- [7] M. Troffé, “Análisis ISO 14224,” 2017. Accessed: Dec. 06, 2021. [Online]. Available: <https://reliabilityweb.com/sp/articles/entry/analisis-iso-14224-oreda>
- [8] O. Campos, G. Tolentino, M. Toledo, and R. Tolentino, “Metodología de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM),” 2019. [Online]. Available: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=61458265006>
- [9] O. Pantano, “Jerarquización de Sistemas, Unidades y Equipos en La Gestión de Mantenimiento,” 2018.
- [10] F. Ballesteros, “La estrategia predictiva en el mantenimiento industrial,” 2014.

- [11] O. Herrera, “Diseño de plan de mantenimiento predictivo en los equipos rotativos y eléctricos de las plantas de dow química y americas styrenics en Cartagena.,” 2011.
- [12] “7 Aspectos Importantes para el Monitoreo de Condición – Erbessd®.” <https://www.erbessd-instruments.com/es/articulos/monitoreo-de-condicion/> (accessed May 07, 2022).
- [13] A. Cristancho, “Gestión de mantenimiento preventivo en el módulo de mantenimiento pm de sap r/3, para el equipo móvil de la cantera nobsa en la planta de cementos Holcim,” 2019.
- [14] A. García and T. Piñango, “Manual SAP Modulo PM Mantenimiento de Plantas GLC | Tonny Piñango - Academia.edu,” 2011. https://www.academia.edu/9511635/Manual_SAP_Modulo_PM_Mantenimiento_de_Plantas_GLC (accessed May 07, 2022).
- [15] W. Olarte, M. Botero, and B. Cañon, “Técnicas de mantenimiento predictivo utilizadas en la industria,” *Scientia et Technica Año XVI*, vol. 45, 2010.
- [16] AgileThought, “Análisis de datos simplificado: introducción a Power BI,” 2021. [Online]. Available: <https://agilethought.com/blogs/getting-started-with-power-bi/>
- [17] “Power BI - Microsoft Business Intelligence-.” <https://www.itbacking.com/power-bi/> (accessed May 07, 2022).
- [18] “Power-MI, la gestión optimizada del mantenimiento predictivo | Mantenimiento & Mentoring Industrial.” <https://mantenimiento-mi.es/2018/power-mi-la-gestion-optimizada-del-mantenimiento-predictivo> (accessed May 07, 2022).
- [19] “Análisis de Criticidad Integral de Activos.” <https://predictiva21.com/analisis-criticidad-integral-activos/> (accessed May 07, 2022).
- [20] “Krones.shop South America | Spare Parts and Digital Services.” <https://shop.krones.com/shop/s1/es/> (accessed May 14, 2022).