

PLAN DE MANTENIMIENTO BASADO EN CONDICIÓN [CBM] PARA LA
EMPRESA PANAMERICANA FORMAS E IMPRESOS S.A.

WILLIAM GERMÁN MADERO RIVEROS

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER – UIS
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICOMECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO
BUCARAMANGA

2020

PLAN DE MANTENIMIENTO BASADO EN CONDICIÓN [CBM] PARA LA
EMPRESA PANAMERICANA FORMAS E IMPRESOS S.A.

WILLIAM GERMÁN MADERO RIVEROS

Monografía de grado presentada como requisito para optar por el título de
Especialista en Gerencia de Mantenimiento

Director: Fredy Mauricio Quiroga Alarcón
Coordinador del Área de Mantenimiento

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER – UIS
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICOMECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO
BUCARAMANGA

2020

DEDICATORIA

A mi hija Abby por ser la motivación que me inspira.

A mis padres y esposa por siempre apoyar mis proyectos de vida.

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi gratitud a Dios ya que sin su bendición no sería posible este logro.

Mis agradecimientos a la empresa Panamericana Formas e Impresos S.A. por el apoyo brindado para la elaboración de esta monografía.

De igual manera, mis agradecimientos a mis profesores de la especialización en Gerencia de Mantenimiento quienes con la enseñanza de sus conocimientos hicieron que pueda crecer como profesional.

Finalmente, quiero expresar mi agradecimiento a la Srta. Ginnary Hernández, Ing. Fredy Quiroga e Ing. Jhon Pérez por su colaboración, dirección, enseñanza y conocimiento que permitió el desarrollo de este trabajo.

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	17
1. CONTEXTUALIZACIÓN	20
1.1 PANAMERICANA FORMAS E IMPRESOS S.A.	20
1.1.1 Descripción de la empresa	20
2. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	21
2.1 Antecedentes del problema	21
2.2 Formulación del problema	22
3. JUSTIFICACIÓN	23
4. OBJETIVOS	27
4.1 OBJETIVO GENERAL	27
4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	27
5. MARCO TEÓRICO	28
5.1 Contexto Histórico	28
5.2 Mantenimiento Basado en condición	33
5.2.1 ¿Cuál es el objetivo del CBM?	34
5.2.2 Análisis de Modo, Efectos y Fallos [AMEF]	36
5.2.3 Matriz criticidad o Matriz CBM	37

5.2.4	Técnicas de monitoreo	39
6.	DISEÑO METODOLÓGICO	46
7.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	53
7.1	OBJETIVO UNO	53
7.1.1	Diagnóstico del Área de Mantenimiento	53
7.2	OBJETIVO DOS	69
7.2.1	Análisis de criticidad	69
7.2.2	Diagrama de Pareto	71
7.2.3	Clasificación de máquinas críticas	75
7.3	OBJETIVO TRES	77
7.3.1	Identificación de los modos de falla	77
7.3.2	Identificación de equipos	81
7.4	CUARTO OBJETIVO	83
7.4.1	Metodologías de ejecución	83
7.4.2	Organigrama CBM	84
7.4.3	Cultura del cambio	87
7.4.4	Capacitación	88
7.4.5	Procedimiento del plan CBM	90
7.4.6	Selección de técnicas basadas en condición	91
7.4.7	Frecuencia de medición	91
7.4.8	Criterios de alarma	95

7.4.9	Análisis de la información	96
7.4.10	Procedimientos para la aplicación de las técnicas CBM	98
7.4.11	Indicadores propuestos para medir el plan	105
7.4.12	Logros esperados	106
8.	CONCLUSIONES	107
9.	RECOMENDACIONES	109
	BIBLIOGRAFÍA	110
	ANEXOS	121

LISTA DE CUADROS

	pág.
Cuadro 1. Diseño metodológico para la fase uno	47
Cuadro 2. Diseño metodológico para la fase dos	49
Cuadro 3. Diseño metodológico para la fase tres	50
Cuadro 4. Diseño metodológico para la fase cuatro	51
Cuadro 5. Unidades productivas	57
Cuadro 6. Relación de equipos periféricos	59
Cuadro 7. Resultado Diagramas de Pareto	74
Cuadro 8. Máquinas críticas objeto del plan	75
Cuadro 9. Modos de fallas más recurrentes	78
Cuadro 10. Equipos críticos	81
Cuadro 11. Temario de capacitación estrategia CBM	88
Cuadro 12. Técnicas de inspección para equipos	91
Cuadro 13. Matriz de frecuencia CBM	92

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Ubicación geográfica de Panamericana Formas e Impresos S.A.	20
Figura 2. Diferencia entre el mantenimiento preventivo y predictivo	24
Figura 3. Proceso de degradación del equipo	35
Figura 4. Matriz de criticidad o riesgo crítico	38
Figura 5. Inspección de un aerogenerador con un borooscopio	40
Figura 6. Esquema de uso de cámara termográfica para detección de patrones de calor	43
Figura 7. Inspección por medio de equipo de medición de ultrasonido a armario eléctrico de alta tensión	45
Figura 8. Programación mensual Mantenimiento Preventivo	54
Figura 9. Organigrama Área de Mantenimiento	55
Figura 10. Máquina impresora rotativa KBA 215	56
Figura 11. Diagrama de actividades Mantenimiento Preventivo	61
Figura 12. Diagrama de actividades Mantenimiento Correctivo	62
Figura 13. Órdenes correctivas por mes	68
Figura 14. Porcentaje de horas extras año 2019	68
Figura 15. Tiempos improductivos por mantenimiento	69
Figura 16. Diagrama de Pareto Tiempo total de reparación	72

LISTA DE FIGURAS (Continuación)

	pág.
Figura 17. Diagrama de Pareto Costo de mantenimiento	73
Figura 18. Daño de Rodamiento en Bomba de lubricación de la máquina KBA 215 # 3	80
Figura 19. Organigrama bajo la estrategia CBM	85
Figura 20. Diagrama con las actividades de mantenimiento basado en condición	90
Figura 21. Procedimiento para la técnica de inspección visual	99
Figura 22. Procedimiento para el análisis de vibraciones	100
Figura 23. Procedimiento para el monitoreo basado en termografía	102
Figura 24. Procedimiento para el análisis de aceites	103
Figura 25. Procedimiento para el análisis de calidad de energía	104

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Tiempos improductivos por mantenimiento	64
Tabla 2. Índice de cumplimiento de órdenes de trabajo mantenimiento correctivo	65
Tabla 3. Índice de costo de mano de obra	66
Tabla 4. Datos Tiempo Total de Reparación (TTR)	72
Tabla 5. Datos Costos de Mantenimiento	73
Tabla 6. Valores de aceptación de los equipos críticos bajo la técnica de análisis de vibraciones	101

LISTA DE ANEXOS

	pág.
Anexo A. Formato Guía de entrevista semiestructurada	121
Anexo B. Características de los equipos críticos	123

Resumen

Título: Plan de Mantenimiento Basado en Condición [CBM] para la empresa Panamericana Formas e Impresos S.A.*

Autor: William Germán Madero Riveros**

Palabras clave: Mantenimiento basado en condición, CBM, mantenimiento predictivo, análisis de vibraciones, alineación y balanceo, termografía, análisis de aceites, productividad.

Descripción:

Panamericana Formas e Impresos S.A. es una empresa especializada en soluciones de comunicación gráfica, la cual cuenta en la actualidad con una de las plantas más modernas de Suramérica, con alrededor de 200 máquinas y equipos periféricos que laboran las 24 horas, los siete días a la semana. El Área de Mantenimiento encargada de dichas máquinas, no cuenta con las herramientas tecnológicas ni de ingeniería suficientes para asegurar la confiabilidad de los equipos, por tal razón, se decidió diseñar un plan de mantenimiento basado en condición el cual complementa la estrategia de mantenimiento preventivo y correctivo que se usa actualmente y logre proporcionar mayor disponibilidad, confiabilidad, vida útil de componentes y reducción de costos integrando herramientas de ingeniería tales como: el análisis de vibraciones, alineación y balanceo, termografía y análisis de aceites, por medio de las cuales se pretende, intervenir un equipo según el diagnóstico de sus condiciones de tal forma que, se puedan prevenir las fallas repentinas, paradas no programadas de las máquinas y desperdicios de materia prima con

* Trabajo de grado

** Facultad de Ingenierías Físicomecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica. Director: Fredy Mauricio Quiroga Alarcón.

el fin de hacer más efectiva la gestión de mantenimiento y contribuir a otros aspectos importantes para la compañía como la productividad, satisfacción al cliente, optimización de recursos y mejora de la calidad.

Summary

Title: Condition-Based Maintenance Plan [CBM] for the company Panamericana Formas e Impresos S.A.*

Author: William Germán Madero Riveros**

Keywords: Condition-based maintenance, CBM, predictive maintenance, vibration analysis, alignment and balancing, thermography, oil analysis, productivity.

Description:

Panamericana Formas e Impresos S.A. is a company specialized in graphic communication solutions, which currently has one of the most modern plants in South America, with around 200 machines and peripheral equipment that work 24 hours a day, seven days a week. The Maintenance Area in charge of these machines does not have sufficient technological or engineering tools to ensure the reliability of the equipment, for this reason, it was decided to design a maintenance plan based on condition which complements the preventive maintenance strategy and corrective currently used and achieve greater availability, reliability, component life and cost reduction by integrating engineering tools such as: vibration analysis, alignment and balancing, thermography and oil analysis, by means of which it is intended , intervene a team according to the diagnosis of its conditions in such a way that sudden failures, unscheduled stops of the machines and waste of raw material can be prevented in order to make maintenance management more effective and

* Degree work

** Facultad de Ingenierías Físicomecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica. Director: Fredy Mauricio Quiroga Alarcón.

contribute to other important aspects for the company such as productivity, customer satisfaction, optimization on of resources and quality improvement.

INTRODUCCIÓN

Desde la Primera Revolución Industrial, el mantenimiento ha avanzado condicionado por los cambios en las formas de producción y consumo globales, lo cual incide en nuevas configuraciones de gestión dentro de las organizaciones. Su importancia, radica en la misión que tiene de conservar equipos, maquinaria e infraestructura, en condiciones de operación normales, a fin de garantizar su disponibilidad para que el proceso productivo logre cumplir con la cantidad y calidad demandada.¹

Se empieza a transitar de un mantenimiento meramente correctivo, en el cual se actúa cuando una máquina o equipo falla, hacia uno preventivo, para evitar que las fallas ocurran. Estas dos estrategias han sido las más empleadas en la industria alrededor del mundo. Específicamente, en el sector gráfico (encargado del diseño y la elaboración de piezas de comunicación) el mantenimiento preventivo ha concentrado la mayoría de la gestión que hoy se realiza, al generar cambios en las piezas estropeadas, e interviniendo los equipos con determinada frecuencia.²

Aunque, las empresas aún enfocan sus esfuerzos en gestionar un mantenimiento preventivo, el correctivo no puede desaparecer, dado que siempre habrá un porcentaje de incertidumbre respecto al daño inesperado de los equipos.³ No obstante, la estrategia de mantenimiento no se debe basar exclusivamente en el correctivo el cual genera grandes desventajas a la gestión

¹ SENA (1991). Manual de mantenimiento. División sector industria y de la construcción. Divulgación tecnológica de Bogotá. pp. 9 – 18.

² BLANCO, Víctor. Más allá de la curva P-F. [En línea] (Recuperado en 15 julio 2020). Disponible en: <https://predictiva21.com/curva-p-f-mantenimiento-proactivo/>

³ OVALLE CASTIBLANCO, Alex Mauricio y OSPINA LÓPEZ, Diana Yomali. Caracterización del mantenimiento industrial en algunas empresas de Manizales y municipios aledaños. En: Revista Educación en Ingeniería. [base de datos en línea]. 2010, No. 9. pp. 150-157 (Recuperado en 21 julio 2020). Disponible en: https://www.acofi.edu.co/revista/Revista9/2009_II_35.pdf

empresarial como altos costos y escasa confiabilidad y, si bien, el preventivo ayuda a coordinar de manera anticipada las actividades que deben hacerse a fin de evitar fallas, también resulta insuficiente para satisfacer las necesidades de servicio y disponibilidad continua que requiere el proceso productivo para cumplir con las metas y objetivos de gerencia.

Por otro lado, el Mantenimiento Basado en Condición o "Condition Based Maintenance" en inglés [CBM], permite avanzar en las estrategias implementadas hasta ahora. Este, postula que es más eficaz (en términos de disponibilidad, fiabilidad, costos, vida útil del activo, seguridad e impacto ambiental) intervenir un equipo o instalación con base en el diagnóstico previo de sus condiciones, debido a que, una vez determinada su "salud" se procede sólo si "hay síntomas de una degradación en un elemento que requiere una acción: limpiar, apretar, engrasar, reacondicionar, sustituir"⁴, haciendo de esta forma más efectiva la gestión del mantenimiento en una compañía.

En el caso particular de Panamericana Formas e Impresos S.A., la empresa ha basado su estrategia de mantenimiento en la corrección y prevención, sin embargo, estas no permiten alcanzar las expectativas de confianza para las máquinas y sus equipos durante el proceso productivo, por lo cual, se diseñó un plan de mantenimiento basado en condición [CBM] que permita mejorar la gestión del Área encargada a fin de incidir directa y positivamente en otras áreas críticas de la empresa como: Producción, Marketing y Servicio al Cliente, al generar menores órdenes correctivas, evitar fallas inesperadas, y la programación sorpresiva de actividades de mantenimiento que retrasen el cumplimiento de las metas planteadas.

⁴ GARCÍA GARRIDO, Santiago. Especial mantenimiento basado en condición. En: IRIM Revista digital sobre mantenimiento editada para socios IRIM [base de datos en línea]. 2018. N° 10. pp 3,6 (Recuperado en 28 julio 2020). Disponible en: http://renovetec.com/irim/revista/REVISTA_IRIM_NUMERO10_%20MTO%20BASADO%20EN%20CONDICION.pdf

El presente plan, busca desde el enfoque de la Gerencia del Mantenimiento, brindar una secuencia lógica de las actividades que se sugieren realizar en la empresa Panamericana Formas e Impresos S.A., “utilizando técnicas de monitoreo de condición y evaluación de elementos de las máquinas como ultrasonidos, termografía, análisis de vibraciones, análisis de aceites y ensayos no destructivos”⁵ para avanzar hacia una estrategia de mantenimiento más integral.

Para ello, el diseño del plan se efectuó en cuatro fases o etapas, la primera correspondió al diagnóstico de las condiciones de gestión del Área de Mantenimiento, la segunda, la identificación de los equipos críticos a los cuales se dirigió la formulación, la tercera, estableciendo los modos de falla más recurrentes y, por último, la entrega de un plan de mantenimiento basado en condición y adecuado a la situación de la empresa, definiendo los recursos necesarios para la futura implementación.

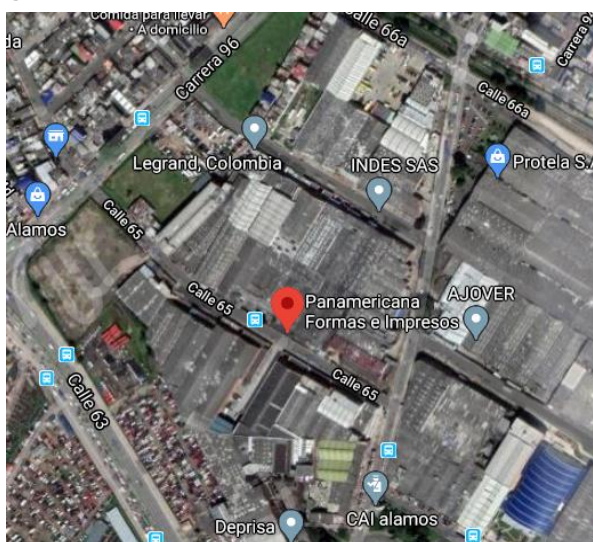
⁵ BLANCO, Víctor. Más allá de la curva P-F. [En línea] (Recuperado en 15 julio 2020). Disponible en: <https://predictiva21.com/curva-p-f-mantenimiento-proactivo/>

1. CONTEXTUALIZACIÓN

1.1 PANAMERICANA FORMAS E IMPRESOS S.A.

1.1.1 Descripción de la empresa. Panamericana Formas e Impresos S.A., es una empresa colombiana especializada en soluciones de comunicación gráfica⁶, con 33 años de trayectoria en el mercado, ubicada en el barrio Álamos de la ciudad de Bogotá, Colombia (Figura 1).

Figura 1. Ubicación geográfica de Panamericana Formas e Impresos S.A.



Fuente: GOOGLE. Panamericana Formas e Impresos. En: Google Maps. 2020. [En línea]. Recuperado en 2020-08-04. Disponible en: <https://9di.es/y5mo22fa>

Sus principales servicios son la elaboración de revistas, libros, folletos, publicidad, sobres y resmas, es proveedora de empaques y etiquetas para empresas del sector alimenticio, sanitario y farmacéutico.

⁶ PANAMERICANA FORMAS E IMPRESOS S.A. Quiénes Somos. [En línea] (Recuperado en 21 enero 2020). Disponible en: <https://www.panamericanafei.com.co/>

2. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

Panamericana Formas e Impresos S.A., fundada en 1987, consolidada como una de las primeras empresas de artes gráficas del país con una de las plantas más modernas de Suramérica, cuenta con diferentes divisiones de negocios como lo son: rotativas, impresos, plegadizas, flexografía, encuadernación, sobres, formas continuas y digital, por lo cual, dispone de 200 máquinas aproximadamente, más equipos periféricos que trabajan las 24 horas los siete días de la semana, estos garantizan las metas de producción de la compañía. Debido a esta exigencia la empresa tiene un Área de Mantenimiento con personas calificadas en los temas eléctricos y mecánicos, especializadas en artes gráficas y dispuestas a cumplir los planes de mantenimiento establecidos.

2.1 ANTECEDENTES DEL PROBLEMA

Para asegurar la disponibilidad de los equipos, desde su comienzo (hace 33 años), la coordinación de mantenimiento ha basado su estrategia en el mantenimiento preventivo y correctivo, el primero, se centra en un cambio periódico de elementos de desgaste con base a manuales y catálogos suministrados por los mismos fabricantes de la maquinaria, con la gran desventaja de que en muchos casos no se hace el máximo aprovechamiento de los componentes que se reemplazan y adicional, la mayoría de los equipos que componen las máquinas como son: bombas, compresores, ventiladores, extractores, motores eléctricos y sopladores no tienen un patrón de desgaste identificado y sus fallas pueden ser de forma aleatoria debido a las condiciones dinámicas de la operación. Por otro lado, el mantenimiento correctivo o reactivo, se realiza cuando ocurre un daño en la máquina, lo cual ocasiona costosas y repentinas paradas a la producción.

Lo anterior, ha causado que actualmente la estrategia de mantenimiento no resulte efectiva ya que se ha evidenciado el incremento de las paradas no programadas, el aumento de órdenes correctivas, mayores costos de mantenimiento, tiempos de reparaciones más extensos, problemas de inventarios y repuestos, deficiente planeación de las actividades de mantenimiento y la afectación directa a la producción de la empresa. Todo esto ha contribuido para que el Área de Mantenimiento no proyecte la confiabilidad y disponibilidad de las máquinas respecto a las metas propuestas por la gerencia general de la compañía.

Teniendo en cuenta lo descrito, es clara la necesidad de establecer una estrategia complementaria al mantenimiento preventivo y correctivo la cual permita realizar un seguimiento bajo operación de la condición de los equipos más críticos con el fin de lograr una mayor disponibilidad de estos y el máximo aprovechamiento de los recursos de mantenimiento para cumplir a tiempo los objetivos de producción propuestos por la directiva. La estrategia diseñada, se presenta en un plan fundamentado en el CBM, con el cual se busca evitar que no se dañen las máquinas en medio de la producción, en cambio, con base en análisis periódicos de cómo están funcionando, se logre saber o “predecir” cuándo requerirán mantenimiento y programar este en un momento que no genere traumatismos a la operación normal de la empresa, además de intervenir los equipos en el momento preciso.

2.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Con relación a lo expuesto, surgió la siguiente pregunta de investigación: ¿Cuál es el plan de Mantenimiento Basado en Condición [CBM] más adecuado para la empresa Panamericana Formas e Impresos S.A.?

3. JUSTIFICACIÓN

Dadas las estrategias de mantenimiento (preventivo y correctivo) implementadas en la empresa Panamericana Formas e Impresos S.A., las cuales no han demostrado su eficiencia para evitar situaciones de incumplimiento que se generan por la indisponibilidad de las máquinas, es preciso contemplar una alternativa de mantenimiento diferente.

Por lo anterior, se comprueba que la empresa se encuentra en una etapa de la gestión de mantenimiento denominada “sistemática”, en la cual destaca el mantenimiento de tipo preventivo⁷. No obstante, esta estrategia impide aprovechar al máximo la capacidad total de los equipos, generando reemplazos anticipados que ocasionan la pérdida de entre un 10% y hasta un 30% de su operación e incurriendo en costos innecesarios.⁸ En cambio, el mantenimiento industrial debe avanzar hacia estrategias más integrales que permitan optimizar al máximo los recursos destinados dentro de una compañía. El Mantenimiento Basado en Condición [CBM] permite trascender de una etapa sistemática a una “predictiva”.⁹

En esta nueva etapa, el CBM va un paso más allá, al hacer más eficiente la gestión del mantenimiento, debido a que, la intervención sobre los equipos se fundamenta en los resultados que brindan técnicas de medición para

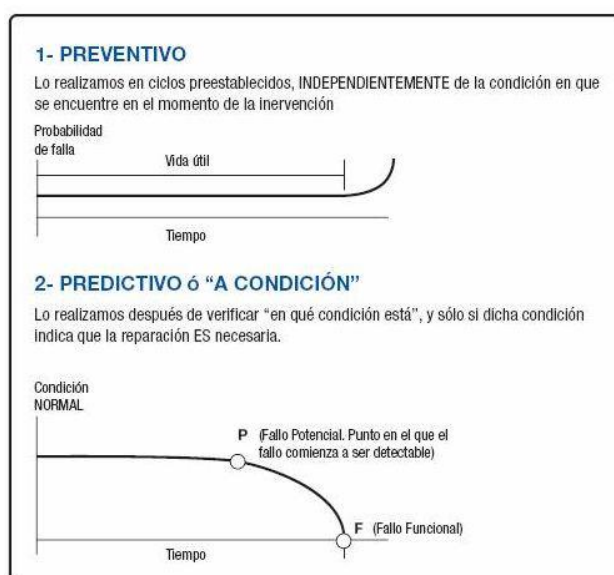
⁷ GARCÍA GARRIDO, Santiago. Especial mantenimiento basado en condición. En: IRIM Revista digital sobre mantenimiento editada para socios IRIM [base de datos en línea]. 2018. N° 10. Pp 3,6 (Recuperado en 28 julio 2020). Disponible en: http://renovetec.com/irim/revista/REVISTA_IRIM_NUMERO10_%20MTO%20BASADO%20EN%20CONDICION.pdf

⁸ Reliabilityweb.com. ¿Por qué Mantenimiento Predictivo antes que Preventivo? [En línea] (Recuperado en 31 julio de 2020). Disponible en: [https://reliabilityweb.com/sp/articles/entry/por-que-mantenimiento-predictivo-antes-que-preventivo/#:~:text=POR%20QU%C3%89%20ENTONCES%20PREDICTIVO%20ANTES,vida%20%C3%BAtil%20y%20b\)%20la%20conocemos](https://reliabilityweb.com/sp/articles/entry/por-que-mantenimiento-predictivo-antes-que-preventivo/#:~:text=POR%20QU%C3%89%20ENTONCES%20PREDICTIVO%20ANTES,vida%20%C3%BAtil%20y%20b)%20la%20conocemos)

⁹ GARCÍA GARRIDO, Santiago. Especial mantenimiento basado en condición. En: IRIM Revista digital sobre mantenimiento editada para socios IRIM [base de datos en línea]. 2018. N° 10. Pp 3,6 (Recuperado en 28 julio 2020). Disponible en: http://renovetec.com/irim/revista/REVISTA_IRIM_NUMERO10_%20MTO%20BASADO%20EN%20CONDICION.pdf

establecer el estado de los mismos.¹⁰ Con lo anterior, es posible detectar las fallas potenciales que puede llegar a tener un equipo con base en el análisis de parámetros de funcionamiento, esto significa que, se realiza una reparación sólo si es necesaria, lo cual permite programar con anticipación los recursos que se requerirán para efectuar el ajuste o cambio correspondiente, aprovechando al máximo la vida útil del equipo. Lo anterior se visualiza en la siguiente ilustración:

Figura 2. Diferencia entre el mantenimiento preventivo y predictivo



Fuente: Reliabilityweb.com. ¿Por qué Mantenimiento Predictivo antes que Preventivo? [En línea] (Recuperado en 31 julio de 2020). Disponible en: [https://reliabilityweb.com/sp/articles/entry/por-que-mantenimiento-predictivo-antes-que-preventivo/#:~:text=POR%20QU%C3%89%20ENTONCES%20PREDICTIVO%20ANTES,vida%20%C3%BAtil%20y%20b\)%20la%20conocemos](https://reliabilityweb.com/sp/articles/entry/por-que-mantenimiento-predictivo-antes-que-preventivo/#:~:text=POR%20QU%C3%89%20ENTONCES%20PREDICTIVO%20ANTES,vida%20%C3%BAtil%20y%20b)%20la%20conocemos)

En el mantenimiento predictivo, se parte de la premisa que, antes de que un equipo falle, este manifestará "síntomas" o dará "señales de alerta" para indicar que su falla funcional se acerca. Por lo cual, aplicando técnicas de medición

¹⁰ GARCÍA GARRIDO, Santiago. Mantenimiento basado en condición y el diagnóstico [video]. 2018. Disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=HOOQQK4zkZM&feature=youtu.be> Revisar referencia bibliográfica.

tanto sensoriales como tecnológicas, es posible diagnosticar el estado real de un elemento y con base en ello actuar en el momento indicado, a fin de evitar que ocurra una falla potencial. Además, experiencias en la aplicación del mantenimiento basado en condición demuestran que las mediciones de fallas potenciales, por lo general, son más económicas que aplicar las actividades demandadas por el mantenimiento preventivo y correctivo.¹¹

Con base en lo descrito, este plan de Mantenimiento Basado en Condición [CBM] para la empresa Panamericana Formas e Impresos S.A., incidirá favorablemente en los resultados de gestión que presente el Área de Mantenimiento, y a su vez, el Área de Producción, debido a la reducción de los costos asociados por la reparación de equipos, y la disminución de tiempos improductivos, respectivamente. Al mismo tiempo, lo anterior permitirá obtener mejores indicadores en cumplimiento y satisfacción al cliente, aportando de esta forma, al aseguramiento de la calidad empresarial.

En seguida, se mencionan los beneficios directos, los cuales se espera genere la implementación de este plan:

- Detectar e identificar los defectos sin necesidad de detener las máquinas.
- Establecer los tiempos de inicio para los diferentes modos de falla, además de los valores máximos admisibles antes de llegar a la falla catastrófica¹².
- Observar el desarrollo del defecto hasta que se convierta en peligroso.

¹¹ Reliabilityweb.com. ¿Por qué Mantenimiento Predictivo antes que Preventivo? [En línea] (Recuperado en 31 julio de 2020). Disponible en: [https://reliabilityweb.com/sp/articles/entry/por-que-mantenimiento-predictivo-antes-que-preventivo/#:~:text=POR%20QU%C3%89%20ENTONCES%20PREDICTIVO%20ANTES,vida%20%C3%BAtil%20y%20b\)%20la%20conocemos](https://reliabilityweb.com/sp/articles/entry/por-que-mantenimiento-predictivo-antes-que-preventivo/#:~:text=POR%20QU%C3%89%20ENTONCES%20PREDICTIVO%20ANTES,vida%20%C3%BAtil%20y%20b)%20la%20conocemos)

¹² PEDRAZA MARTÍNEZ, Iván Darío y SABOGAL VANEGAS, Julián Andrés. Definición de la estrategia de Mantenimiento Basado en Condición (CBM) soportada en técnicas de mantenimiento predictivo, para los equipos críticos de la operación de Campo Velásquez ubicado en el municipio de Puerto Boyacá. Monografía Especialistas en Gerencia de Mantenimiento. Facultad de Ingenierías Físico Mecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica. Universidad Industrial de Santander, 2017. p. 28.

- Programar la obtención del repuesto necesario, el recurso humano, la parada para la corrección en tiempo no productivo o en una parada rutinaria.
- Reducir el tiempo de reparación y los costos e incrementar la producción por disminución de número de paradas.
- Ahorro en el presupuesto designado al Área de Mantenimiento.
- Reducción de las máquinas y piezas en reserva, del período de mantenimiento y del personal propio y contratado.
- Disminución de las roturas y paradas inesperadas, y como consecuencia, el aumento de confiabilidad y productividad de la producción.
- Cumplimiento de los objetivos de producción, debido a que la maquinaria no tendría paradas inesperadas en el momento de tener mayor flujo de trabajo.
- Máximo aprovechamiento de la vida útil de los equipos.
- Disminución de compra de repuestos y stocks innecesarios.

El plan fue diseñado con base en principios metodológicos de carácter cualitativo y cuantitativo, los cuales permitieron identificar la situación de la gestión del mantenimiento en la empresa, y a partir de herramientas como el diagrama de Pareto establecer aquellos equipos críticos y sus modos de falla respectivos para determinar las mejores técnicas de medición con base en el CBM, lo anterior, buscando asegurar la confiabilidad y disponibilidad continua de las máquinas, además de brindar elementos teóricos y prácticos que promuevan la mejora en las capacidades y aptitudes de los encargados.

Este es un comienzo en la búsqueda del mejoramiento sustancial de los procesos asociados al Área de Mantenimiento, los cuales tienen como principal propósito agregar valor a la operación a través de estrategias novedosas, prácticas y viables. Se espera, este plan funcione como una guía para aquellos Gerentes de Mantenimiento que deseen impulsar la gestión del área hacia una etapa “predictiva” para favorecer la gestión empresarial en la escala distrital, nacional e internacional.

4. OBJETIVOS

4.1 OBJETIVO GENERAL

- Diseñar un plan de mantenimiento basado en condición [CBM] para la empresa Panamericana Formas e Impresos S.A.

4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar las condiciones técnicas, humanas y operacionales del Área del Mantenimiento.
- Determinar la criticidad de los equipos identificados, a fin de orientar el plan de mantenimiento basado en condición.
- Establecer los modos de falla para cada equipo crítico.
- Definir las actividades necesarias para asegurar el mantenimiento basado en condición.

5. MARCO TEÓRICO

5.1 CONTEXTO HISTÓRICO

Para comprender por qué la herramienta más óptima para el mantenimiento de los activos, es el mantenimiento basado en condición hay que remitirse a los orígenes, pasando por su historia y evolución, incluso a como se define en el principal diccionario que tiene el español como idioma (Diccionario de la lengua española). Se define la palabra mantenimiento como el “conjunto de operaciones y cuidados necesarios para que instalaciones, edificios, industrias, (...), puedan seguir funcionando adecuadamente”¹³. De este punto partimos, pues las industrias son las que han desarrollado desde siempre la forma en que se deben realizar las operaciones de aseguramiento de herramientas y equipos para extender su vida útil.

De la historia del mantenimiento se puede decir que, de acuerdo con Linares¹⁴ está dividida en cinco fases, la primera, abarcó los años 1733 a 1938, se conoce como una gestión de mantenimiento con enfoque correctivo, la segunda entre 1939 y 1966, de carácter preventivo, luego, en la tercera durante los años 1967 a 1989 es de preferencia predictivo, entre los años 1990 y 2002 que se podría llamar TPM-RCM por sus siglas en inglés (Total Productive Maintenance - Reliability Centered Maintenance), lo que en español significa: Mantenimiento Productivo Total y Mantenimiento Centrado en Confiabilidad y, la última, como Ingeniería de Mantenimiento, pero como en muchos casos, estas fases se traslapan entre sí y son retomados conceptos en nuevas generaciones para hacer más variadas y completas las metodologías.

¹³ REAL ACADEMIA ESPAÑOLA [RAE]. Mantenimiento. [Sitio web]. Madrid: RAE. [Consultado: 25 julio 2020]. Disponible en: <https://dle.rae.es/mantenimiento?m=form2>.

¹⁴ LINARES DEPESTRE, Luis Orlando. Del Mantenimiento Correctivo al Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad. En: Centro Azúcar. [base de datos en línea]. 2012, vol. 39 (3). p. 12 (Recuperado en 25 julio 2020). Disponible en: <http://centrozucar.uclv.edu.cu/media/articulos/PDF/2012/3/2.pdf>

Por ende, como lo aborda Tavares¹⁵, al analizar la historia, en sus distintas generaciones, se evidencia que esta práctica ha acompañado a la industria, desde la Primera Revolución Industrial, a finales del siglo XIX, donde se practicaba exclusivamente con un enfoque de reparación de la máquina averiada, sin ningún planeamiento y siendo los mismos operarios los que realizaban dicha actividad, dedicando sus esfuerzos a solucionar las fallas de esta que, en su gran mayoría, se llevaba a su punto de falla inminente, sin tener en cuenta las recomendaciones del fabricante o de buenas prácticas que se comprendiesen en aquel tiempo.

Dando continuidad a lo expuesto por Tavares¹⁶, hacia los inicios de la Primera Guerra Mundial las industrias empezaron a mecanizarse y al finalizar la Segunda, expone Volkswagen de Brasil¹⁷, con el nacimiento de la cadena de producción implementada por primera vez por Henry Ford en su compañía, cuando evidenció que los costos aumentaban por tener maquinarias fuera de servicio o con averías y esto detenía la producción forzosamente, se impulsó a establecer los primeros departamentos de mantenimiento enfocados no solo en la reparación de las maquinarias, sino también en la búsqueda de daños, además de detenciones de inspección; esto empezó a regir en los periodos recomendados por el fabricante, lo cual llevo a que la industria fuera bastante dependiente de este enfoque basado en el tiempo, dándole un mayor grado de confiabilidad del buen funcionamiento de las máquinas.

A continuación, y basado netamente en la necesidad de intentar prever fallas críticas, según indica Linares¹⁸, surge la idea de buscar métodos de prevención, lo cual desencadenó en el concepto de Mantenimiento Preventivo, definido como el conjunto de actividades planificadas de forma periódica

¹⁵ TAVARES, Lourival Augusto. ¿Por qué el Mantenimiento es un Centro de Ingresos? En: Administración Moderna de Mantenimiento: La evolución organizacional del mantenimiento [en línea]. Edición en español. Brasil: Novo Polo Publicações, 2002. p. 1. [Consultado: 25 de julio de 2020]. Disponible en: <https://soportec.files.wordpress.com/2010/06/administracion-moderna-de-mantenimiento.pdf>

¹⁶ *Ibíd.*, p. 1-2.

¹⁷ VOLKSWAGEN DE BRASIL. Mantenimiento Preventivo en Volkswagen de Brasil S / A. División de Mantenimiento de Planta I. São Bernardo do Campo, São Paulo, 1974. Citado por: *Ibíd.*, p. 1.

¹⁸ LINARES, Op. Cit., p. 8.

basadas en el conocimiento técnico de la máquina que, busca dar una mayor confiabilidad, disponibilidad y por consiguiente un aumento de la productividad. En la época de pos guerra, hacia los años 50, de acuerdo con Kardec y Nascif¹⁹, la aceleración del consumo de bienes que se vio como un resurgimiento de la economía, repercutió en la necesidad de un aumento en la productividad de las plantas de producción, lo que significo más máquinas especializadas por operación y menos personal operativo; esto conllevó, según Linares²⁰, a que se buscaran nuevas estrategias desde otro enfoque y, por ende, se debía encontrar la manera de no dejar de atender las necesidades del mercado y, a su vez permitiese que empresas de un mismo sector fueran reconocidas por temas de confiabilidad y durabilidad de sus productos, pues en ese entonces se intuía que estos eran dos aspectos que serían fundamentales para la diferenciación y recordación como marca.

De acuerdo con Linares²¹, gracias a los aportes del Dr. William Edwards Deming dentro de la gestión de calidad total y posteriores metodologías y herramientas de gestión como el Justo a Tiempo, nace la filosofía de Total Productive Maintenance [TPM], que significa en español, Mantenimiento Productivo Total, en el seno de la compañía Nippon Denso, filial del grupo Toyota, en Japón, pues se arraigó más el enfoque preventivo, que venía desde los años 50, donde se impulsaba una acción de mejora al momento de automatizar la planta, ya que se tenía la percepción de que los operarios debían realizar los bienes con sus herramientas y el grupo de mantenimiento se dedicaba de forma independiente al mantenimiento de estas, por lo cual, durante los años de 1960, la administración decidió capacitar a la cuadrilla operativa de planta, en mantenimiento de rutina de los equipos, haciendo que este se ejecutara más rápido por el conocimiento sobre experiencia que tenían los colaboradores.

¹⁹ KARDEC PINTO, Alan y NASCIF XAVIER, Julio Aquino. Mantenimiento, Función Estratégica. Brasil: Qualitymark. 2001. Citado por: *Ibíd.*, p. 8.

²⁰ LINARES. *Op. Cit.*, p. 3.

²¹ *Ibíd.*, p. 10.

Entonces se comprende que, el TPM “incorpora nuevos conceptos a la aplicación práctica del mantenimiento comparados con las generaciones anteriores, pues se incorpora a las actividades de mantenimiento a todos los operarios de producción y la participación activa de todos los empleados, además de agregar en su seno las prácticas del Mantenimiento Preventivo, Correctivo, Predictivo, las Mejoras y la Prevención del Mantenimiento”²²; a su vez el JIPM (Japan Institute of Plan Maintenance (*)), toma prestado de la filosofía 5S y la fusiona, dándole un objetivo claro, como se sustrae del escrito de Amendola²³, el cual es la eliminación de las pérdidas en producción debidas al mal estado de los equipos, o mantener los equipos en disposición para producir a su capacidad máxima productos de la calidad esperada, sin paradas no programadas. Esto supone que no deben existir averías, tiempos muertos, defectos asociados a un mal estado de los equipos, además de no tener pérdidas de rendimiento o de capacidad productiva debidas a estos equipos.

Al ser un enfoque que nace de las metodologías de mejora continua, por su naturaleza surge una, que la remplace, con los constantes cambios en las industrias, se hace evidente que el mantenimiento de activos tenga un enfoque predictivo y de búsqueda de posibles fallas, a lo cual, según la Society of Automotive Engineers [SAE] en 1978 gracias a la industria comercial de la aviación de los Estados Unidos, buscando confiabilidad y seguridad en sus viajes, se define por los empleados de la United Airlines: Stanley Nowelan y Howard Heap, el mantenimiento centrado en confiabilidad o en sus siglas en inglés, RCM (Reliability Centred Maintenance)²⁴, lo cual, se puede definir como

²² *Ibíd.*, p. 10.

(*) JIPM: Instituto japonés de mantenimiento de plantas. Posee el registro del termino TPM.

²³ AMENDOLA, Luis. Modelos mixtos en la gestión del mantenimiento. En: *Mantenimiento*. [Base de datos en línea]. 2002, (160), pp. 26-31 (Recuperado en 26 julio 2020). Disponible en: <https://docs.google.com/viewerng/viewer?url=https://www.virtualpro.co/download/modelos-mixtos-en-la-gestion-del-mantenimiento.pdf>

²⁴ SOCIETY OF AUTOMOTIVE ENGINEERS, SAE. Evaluation criteria for reliability-centered maintenance (RCM) processes. JA1011. 2 ed., Warrendale: SAE International, 2009. Citado por: CAMPOS LOPEZ, Omar *et al.* Metodología de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) considerando taxonomía de equipos, bases de datos y criticidad de efectos. En: *Científica*. [Base de datos en línea]. 2019, vol. 23, nro. 1, p. 52 (Recuperado en 25 julio 2020). ISSN 2594-2921. Disponible en: http://www.cientifica.esimez.ipn.mx/manuscritos/V/23N1_051_059.pdf

una metodología que demanda un procedimiento estructurado para determinar que es necesario involucrar a la alta gerencia y que esta discrimine una política de mantenimiento por cada activo físico de la planta industrial, que dependa exclusivamente de cómo esta ejecuta sus operaciones; donde, expone Díaz *et al*²⁵ un objetivo sea el de garantizar la seguridad y minimizar el riesgo al entorno y las vidas humanas, el impacto negativo al medio ambiente, a la afectación de la producción, que sea auditable, susceptible al cambio, así como la disminución de los costos de operación y mantenimiento al minimizar la ocurrencia del fallo, o que, al presentarse, se puedan encontrar estrategias que lo reparen y mitiguen de forma casi inmediata.

A razón de esto, Sifonte²⁶ describe que, en 1999 el JIPM, publica la norma SAE JA1011, un documento de doce páginas, donde se explican los requerimientos para la aplicación de la metodología RCM. Esta también proporciona los criterios y determina los siguientes siete pasos:

- Delimitar el contexto operativo, las funciones y los estándares de desempeño deseados asociados al activo (contexto operacional y funciones).
- Determinar cómo un activo puede fallar en el cumplimiento de sus funciones (fallas funcionales).
- Definir las causas de cada falla funcional (modos de falla).
- Describir qué sucede cuando ocurre cada falla (efectos de falla).
- Clasificar los efectos de las fallas (consecuencias de la falla).
- Determinar qué se debe realizar para predecir o prevenir cada falla (tareas e intervalos de tareas).
- Decidir si otras estrategias de gestión de fallas pueden ser más efectivas (cambios de una sola vez)²⁷.

Por lo cual, se concluye que el objetivo es aumentar la fiabilidad del activo, disminuyendo el tiempo de paradas, aumentando su disponibilidad y teniendo como consecuencia la disminución del costo de mantenimiento.

²⁵ DIAZ CONCEPCIÓN, Armando, et al. Implementación del Mantenimiento Centrado en la confiabilidad en empresas de transmisión eléctrica. En: Ingeniería Mecánica. [Base de datos en línea]. 2016, vol. 19, nro. 3, p. 138 (Recuperado en 25 julio 2020). ISSN 1815-5944. Disponible en: <http://scielo.sld.cu/pdf/im/v19n3/im03316.pdf>

²⁶ SIFONTE, Jesús. Norma SAE JA1011 – Criterios de Evaluación para Procesos de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM). [En línea] (Recuperado en 01 agosto 2020) Disponible en: <http://www.pdmtechusa.com/criterios-evaluacion-rcm/>.

²⁷ SAE. Op. cit. Citado por: *Ibíd.*

Como conclusión, en el contexto de la cultura del mantenimiento que se ha venido fomentando a nivel global y esta sinergia entre la combinación de tareas correctivas y preventivas, las compañías han encontrado obstáculos que se intentan mitigar a lo largo de su funcionamiento, como lo son el aumento no contemplado de horas hombre, pues aumentan el número de tareas y de funciones, además del soporte dado por algunos fabricantes que, por lo general es de carácter conservador y al creciente aumento de la fiabilidad de las herramientas, los fallos repetitivos por falta de un análisis y lo fundamental, el desconocimiento de la vida útil de la maquinaria, etc., problemas que ha afrontado desde los inicios la industria, que solo encuentran su culminación o su restricción en una metodología que tiene como objetivo la excelencia en el mantenimiento basado en el componente preventivo, la cual analizaremos a continuación.

5.2 MANTENIMIENTO BASADO EN CONDICIÓN

Su inicio se remonta en la década del 2000, por sus siglas en inglés, se conoce como CBM “Condition-Based Maintenance”; es un tipo de mantenimiento predictivo que, de acuerdo con Butcher²⁸, se define como una estrategia que en tiempo real o que evalúa casi en tiempo real el estado de equipos críticos y se obtiene por medio de sensores, pruebas en sitio, y mediciones externas con equipos especializados; esta supervisión del rendimiento es programable y ajustable a las necesidades de cada compañía, pero se debe explicar

²⁸ BUTCHER, S. W. Assessment of Condition-Based Maintenance in the Department of Defense. [En línea]. Logistics Management Institute, USA, McLean, VA. 2000. p. 6. Disponible en: http://www.acq.osd.mil/log/logistics_materiel_readiness/organizations/mppr/assets/senior_steering/condition/LMI%20CBM%20Report.pdf. Citado por: BENGTTSSON, Marcus. Sistemas de mantenimiento basados en condiciones - una investigación de componentes técnicos y aspectos organizativos. Condition based maintenance systems: an investigation of technical constituents and organizational aspects. [En línea]. Västerås (Suecia): Mälardalen University. Department of Innovation, Design, and Product Development, 2004. p. 17. (Recuperado en 20 agosto 2020). ISSN number: 1651-9256. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/228974772_Condition_Based_Maintenance_Systems-An_investigation_of_technical_constituents_and_organizational_aspects

primordialmente cuáles serán objeto de estas métricas, pues esto requiere en buena medida de una fuerte inversión en equipos y herramientas que las permitan²⁹. El CBM no puede proporcionar la eliminación de problemas y defectos, ni detener el deterioro de los componentes. El deterioro físico es una consecuencia común del funcionamiento del equipo.

5.2.1 ¿Cuál es el objetivo del CBM? Parafraseando a Brunner y Dowdell³⁰ el objetivo del CBM es implementar un programa proactivo donde se realiza el mantenimiento para maximizar la disponibilidad operativa, los sistemas y equipos de trabajo, los cuales se enfoquen en insertar tecnologías que mejoren las capacidades y procesos de mantenimiento, al igual, que integren los elementos de apoyo que para maximizar la operación. Esto se logra mediante predicciones más precisas de fallas integradas con reparaciones más oportunas y efectivas, el CBM resulta en ahorros dramáticos, de tiempo y dinero, mejorando la disponibilidad y rendimiento de las industrias. Por lo tanto, se debe implementar este sistema de monitoreo de forma individual a cada componente, en lugar de dar parámetros generales, además de tener en cuenta las horas de funcionamiento, ciclos o tiempo calendario.

Continuando lo expuesto por Brunner y Dowdell³¹, para monitorear la capacidad, se debe conocer el estado del equipo en tiempo real, lo cual brinda la oportunidad de observar y comprender el estado actual y luego proyectar la vida útil restante. Este enfoque da como resultado la capacidad de extender la vida útil de cada equipo en función, de las tensiones individuales según su entorno de operación por cada una de las partes o pieza de equipo.

²⁹ BENGTTSSON. Op. Cit., p. 17-18.

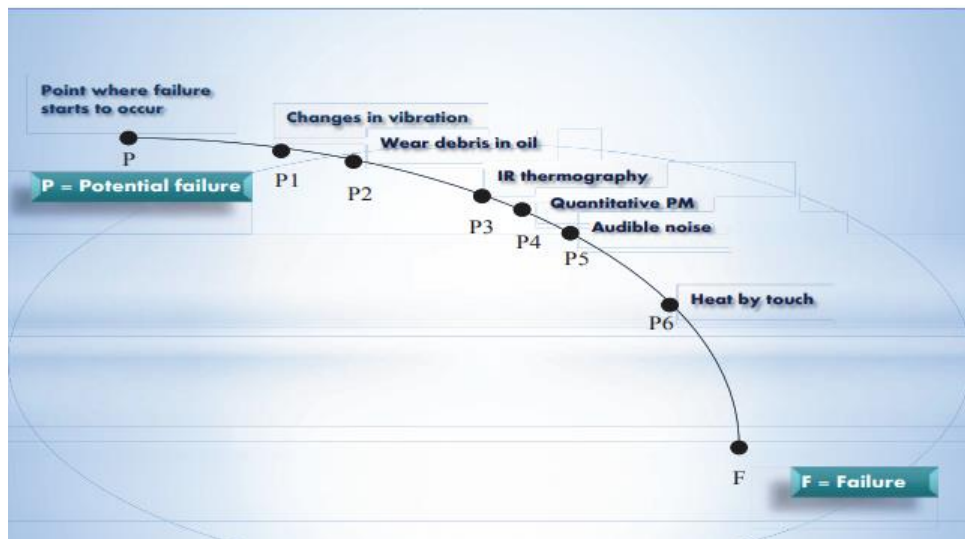
³⁰ BRUNNER, Stephen y DOWDELL, Charles. CBM: una herramienta para aumentar la confiabilidad y disminuir el LCC. CBM: A Tool For Increasing Reliability & Decreasing LCC. En: Annual Reliability and Maintainability Symposium (RAMS) (2019: Orlando, FL, USA). [En línea]. IEEE: 2019. p. 1 (Recuperado en 20 agosto 2020). Disponible en: <https://bibliotecavirtual.uis.edu.co:2272/stamp/stamp.jsp?tp=&number=8768988&tag=1>. pp. 1-4, doi: 10.1109/RAMS.2019.8768988.

³¹ *Ibíd.*, p. 1.

Entonces, es necesario encontrar una técnica para analizar las fallas. Por lo cual, según Brunner³², la Técnica de Análisis de Modo Efectos y Falla [AMEF] y su potencial como herramienta de análisis dentro del programa de desarrollo puede ayudar a vislumbrar las funciones del sistema y las posibles fallas. Esta técnica de análisis, incorpora el desarrollo de un diagrama funcional de bloques donde se debe demostrar visualmente la falla y de dónde viene, y su correlación con sus componentes o máquinas.

A continuación, se muestra una imagen que describe el proceso de degradación de equipos expresado en una gráfica descendente, desde donde inicia la falla, pasando por posibles puntos de verificación, los cuales son objeto del análisis, hasta la materialización de esta.

Figura 3. Proceso de degradación del equipo



Fuente: BRUNNER, G. Stephen *et al.* The role of FMEA in identifying CBM+ opportunities. En: Annual Reliability and Maintainability Symposium (RAMS) (2016: Tucson AZ). [En línea]. IEEE, 2016. p. 2. (Recuperado en 20 agosto 2020). Disponible en:

³² BRUNNER, G. Stephen *et al.* The role of FMEA in identifying CBM+ opportunities. En: Annual Reliability and Maintainability Symposium (RAMS) (2016: Tucson AZ). [En línea]. IEEE, 2016. p. 1. (Recuperado en 20 agosto 2020). Disponible en: <https://bibliotecavirtual.uis.edu.co:2272/stamp/stamp.jsp?tp=&number=7448020>. pp. 1-5, doi: 10.1109/RAMS.2016.7448020.

Se determina que el objetivo del CBM es el seguimiento a mediano y a corto plazo, teniendo en cuenta la mayor cantidad de información de los componentes de una máquina que se considere crítica, para así determinar e identificar cual componente será más propenso a que defecto a lo largo de su vida útil, para así entrar a remplazar y prever posibles paradas no deseadas.

5.2.2 Análisis de Modo, Efectos y Fallos [AMEF] De acuerdo con Gutiérrez y Pulido, el AMEF es una herramienta la cual permite identificar las fallas potenciales de un producto o proceso y, a partir de “un análisis de su frecuencia, formas de detección y el efecto que provocan; estas fallas se jerarquizan, y para las fallas que vulneran más la confiabilidad del producto o el proceso será necesario generar acciones para atenderlas”³³.

Según Pascual³⁴, a partir de esta técnica se logra:

- Asegurar que todos los modos de falla concebibles y sus efectos sean comprendidos.
- Identificar debilidades de diseño.
- Suministrar alternativas en la etapa de diseño.
- Proporcionar criterios para prioridades de acciones preventivas y correctivas.
- Asistir en la identificación de fallas en sistemas con anomalías.

Para el desarrollo del AMEF, se determina el Número de Prioridad de Riesgo [NPR], el cual se da por la multiplicación entre tres índices de probabilidad, los

³³ GUTIÉRREZ PULIDO, Humberto y DE LA VARA SALAZAR, Román. Análisis de modo y efecto de las fallas (AMEF). En: Control Estadístico de Calidad y Seis Sigma. [En línea]. 2 ed. México: Mc Graw-Hill/Interamericana Editores, S.A. de C.V., 2009. p. 408. ISBN: 978-970-10-6912-7. [Consultado: 20 de agosto de 2020]. Disponible en: <https://www.uv.mx/personal/ermeneses/files/2018/05/6-control-estadistico-de-la-calidad-y-seis-sigma-gutierrez-2da.pdf>

³⁴ PASCUAL, Rodrigo. Análisis de modos de falla. En: Gestión Moderna del Mantenimiento: Análisis de modos de falla, efectos y criticidad. [En línea]. Versión 2.0. Chile: U. de Chile, 2002. p. 25. [Consultado: 20 de agosto de 2020]. Disponible en: <https://cutt.ly/qfPhanO>

cuales son: la gravedad o severidad, el nivel de ocurrencia y por la facilidad de detección, como se muestra en la siguiente ecuación:

$$NPR = Gravedad \times Ocurrencia \times Detección$$

Los anteriores índices de evaluación se determinan en escalas de 1 hasta 10 en función de las características que se describen para cada uno de ellos, siendo el menor puntaje 1 y 1000 el mayor para la evaluación y, por consecuencia el valor más crítico de un AMEF³⁵.

A continuación, se describe el significado de los índices:

- Gravedad severidad: Se refiere a la probabilidad de fallos en el proceso, está basada únicamente en el efecto de fallo; todas las causas potenciales de fallo para un efecto particular también reciben la misma clasificación.
- Ocurrencia: Frecuencia en la cual se presentan las fallas, cuando se asigna esta clasificación, se deben considerar dos probabilidades: la probabilidad de que se produzca una falla y la probabilidad de que, una vez ocurrida la falla, esta provoque el efecto nocivo indicado.
- Detección o probabilidad de no detección: Este indica la probabilidad de que la causa y/o modo de fallo, supuestamente aparecido, llegue a ser informado. Se está definiendo la “no detección”, para que el índice de prioridad crezca de forma análoga del resto de índices a medida que aumenta el riesgo. Tras lo dicho, se puede deducir que este índice está íntimamente relacionado con los controles de detección actuales y la causa³⁶.

5.2.3 Matriz criticidad o Matriz CBM. Se define como una herramienta “especialmente útil para evaluar, categorizar y priorizar la necesidad de un activo”³⁷ y, por ende, se debe representar en un eje la frecuencia de las fallas y en el otro los impactos o consecuencias en los cuales incurriría el equipo si la falla se logra materializar. En el ejemplo que, a continuación se expone en la

³⁵ [SAE]. Op. cit. Citado por: RAMÍREZ ORTÍZ, Julio César y MORENO, Hugo Fernando. Elaboración de un análisis de criticidad y disponibilidad para la atracción X-Treme del Parque Mundo Aventura, tomando como referencia las normas, SAE JA1011 y SAE JA1012. [En línea]. Proyecto de Investigación Ingeniero Eléctrico e Ingeniero Mecánico (respectivamente). Bogotá D.C.: Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Facultad Tecnológica. 2017. 24 p. (Recuperado en 20 agosto 2020). Disponible en: <http://repository.udistrital.edu.co/bitstream/11349/7854/1/MorenoRobayoHugoFernando2018.pdf>

³⁶ *Ibíd.*

³⁷ JOHNSTON, Mike. Cómo seleccionar la estrategia de mantenimiento adecuada. En: RELIABILITYWEB. [En línea]. [Consulta 20 agosto 2020]. Disponible en: <https://reliabilityweb.com/sp/articles/entry/selecting-the-correct-maintenance-strategy>.

Figura 4, se puede ver una serie de objetos o máquinas, no definidas, pero que previamente se les ha asignado desde la alta dirección un valor en gravedad, una clasificación, dependiendo de lo necesaria y una serie de consecuencias, desde las áreas de seguridad, costo del equipo, producción y medioambiental. En este caso, de acuerdo con Johnston³⁸, si se tiene un puntaje de 15 o más, sería considerado crítico y estaría delimitado con el color rojo. Las puntuaciones medias de entre 5 y 9 podrían ser consideradas vitales y están señaladas con el color amarillo, mientras que los niveles más bajos se asignarían a la categoría de secundarios y se toman con el color verde.

Figura 4. Matriz de criticidad o riesgo crítico

Gravedad	CONSECUENCIAS					PROBABILIDAD				
	Clasificación	Seguridad	Costo de Equipo/ Mantenimiento	Producción	Medioambiental	1	2	3	4	5
						< 1%	1% - 5%	5% - 25%	25% - 50%	> 50%
						Remota	Extremadamente Improbable	Muy Poco Probable	Poco Probable	Probable
5	Desastrosa	Múltiples fatalidades, más de 5. Efectos extensos externos en zonas habitadas y con varias fatalidades.	Daños extensos de más de \$8 millones de dólares.	Pérdida grave, no recuperable. Más de 3 días de producción perdidos.	Contaminación grave con consecuencias ambientales prolongadas externas al sitio.	5	10	15	20	25
4	Catastrófica	Efecto letal en varias personas (varias fatalidades). Efecto letal externo: una fatalidad, varias lesiones físicas.	Daño grave de entre \$6 a \$8 millones de dólares.	Pérdida grave. Hasta un 50% no recuperable. Hasta 3 días de producción perdidos.	Contaminación grave externa al sitio. Evacuación de personas.	4	8	12	16	20
3	Grave	Efecto letal en una persona y/o varias discapacidades permanentes. Efectos externos permanentes.	Daño localizado de entre \$2 a \$6 millones de dólares.	Pérdida media, no completamente recuperable mediante producción normal. Menos de 24 horas de producción perdidas.	Contaminación moderada, dentro de los límites del sitio. Reclamaciones de responsabilidad civil por productos.	3	6	9	12	15
2	Seria	Lesión permanente, accidente con pérdida de tiempo. No hay efectos externos permanentes.	Daño menor de entre \$200 mil a \$2 millones de dólares.	Pérdida menor, recuperable mediante producción normal. De 2 a 8 horas de producción perdidas.	Derrame o emisión de contaminante que requiere una declaración ante las autoridades, pero sin consecuencias ambientales.	2	4	6	8	10
1	Moderada	No hay lesiones permanentes, se registra sin tiempo perdido ni tratamiento médico. No hay efecto externo.	Daño leve de menos de \$200 mil dólares.	Entre poca y ninguna consecuencia. Producción fácilmente recuperada. Menos de 2 horas de producción perdidas.	Derrame o emisión de contaminante menor que no requiere una declaración.	1	2	3	4	5

Fuente: JOHNSTON, Mike. Cómo seleccionar la estrategia de mantenimiento adecuada. En: RELIABILITYWEB. [En línea]. [Consulta 20 agosto 2020]. Disponible en: <https://reliabilityweb.com/sp/articles/entry/selecting-the-correct-maintenance-strategy>.

³⁸ Ibíd.

En conclusión, la matriz CBM es una caracterización de equipos a los cuales se va enfocar el plan de mantenimiento en la cual se deben tener en cuenta todos los factores.

5.2.4 Técnicas de monitoreo

5.2.4.1 Inspección Boroescópicas. Se define como una inspección visual que se realiza con la ayuda de un equipo denominado boroscopio y se usa para visualizar partes de una máquina, las cuales son de difícil acceso para el ojo humano. “Es un dispositivo largo y delgado en forma de varilla flexible. En el interior de este tubo hay un sistema telescópico con numerosas lentes, que aportan una gran definición a la imagen. Además, está equipado con una poderosa fuente de luz. La imagen resultante puede verse en la lente principal del aparato, en un monitor, o ser registrada en un videograbador para su análisis posterior”³⁹.

³⁹ RENOVETEC. Inspecciones Boroescópicas. [Sitio web]. (Recuperado en 20 agosto 2020). Disponible en: <http://www.renovetec.com/265-boroscopia#:~:text=El%20boroscopio%2C%20tambi%C3%A9n%20llamado%20videoscopio,una%20poderosa%20fuente%20de%20luz>

Figura 5. Inspección de un aerogenerador con un boroescopio



Fuente: GARCÍA GARRIDO, Santiago. Inspecciones Boroscópicas en Aerogeneradores. En: Dinamo Técnica: Revista Gallega de Energía. [Base de datos en línea]. 2017, Nº. 21. pp. 29 (Recuperado en 20 agosto 2020). Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6199357>. ISSN 1575-9989

5.2.4.2 Análisis de Vibraciones. Es una técnica de mantenimiento predictivo que basa la detección de los fallos de la maquinaria a través del estudio de los niveles de vibración de sus herramientas. El objetivo es obtener la representación del espectro de las vibraciones de un equipo para su posterior análisis. “Para aplicarla de forma efectiva y obtener conclusiones representativas y válidas, es necesario conocer determinados datos de la máquina como son el tipo de cojinetes, de correas, número de alabes o de palas, etc., y elegir los puntos adecuados de medida. También es necesario seleccionar el analizador más adecuado a los equipos existentes en la planta”⁴⁰.

Como menciona Ruiz, “el análisis de vibraciones es un método no intrusivo para monitorear la condición del activo durante el arranque, tiempos fuera de

⁴⁰ Instituto Renovetec de Ingeniería del Mantenimiento [IRIM]. Técnicas de mantenimiento predictivo. [En línea] (Recuperado en 20 agosto 2020). Disponible en: <http://www.renovetec.com/irim/131-tecnicas-de-mantenimiento-predictivo>.

servicio y en la operación diaria. Es usado principalmente en equipos rotativos como turbinas de vapor y de gas, bombas, motores, compresores, máquinas de papel, trenes de laminación, máquinas herramientas y cajas de cambio”⁴¹.

Un sistema de análisis de vibraciones está compuesto por:

- “Un analizador de señales
- Un software para el análisis
- Un computador para ejecutar el análisis y almacenar la información”⁴².

Los parámetros a utilizar durante la supervisión son⁴³:

- Medida de vibración global o total en banda ancha.
- Medida de vibración en banda estrecha de frecuencia.
- Medida de parámetros vibratorios específicos para detección de fallos en rodamientos y engranajes (demodulación, envolvente, Spike Energy, PeakVue,...).
- Parámetros de la Forma de Onda: Simetría (Kurtosis) y Cresta (Skewness).
- Fase vibratoria en armónicos: 1x, 2x, 3x, ... RPM.
- Medida de vibración síncrona en picos: 1x, 2x, 3x,... RPM.
- Medida de vibración sub-síncrona.
- Medida de vibración no-síncrona.

Mediante el análisis de vibraciones aplicado a la maquinaria rotativa se pueden diagnosticar con precisión problemas de”⁴⁴:

- Desequilibrio
- Desalineación
- Holguras
- Roces
- Ejes doblados
- Poleas excéntricas
- Rodamientos

⁴¹ RUIZ ACEVEDO, Adriana María. Modelo para la implementación de mantenimiento predictivo en las facilidades de producción de petróleo. [En línea]. Monografía Especialista en Gerencia de Mantenimiento. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Físico Mecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica, 2012. 49 p. (Recuperado en 20 agosto 2020). Disponible en: <http://tangara.uis.edu.co/biblioweb/tesis/2012/143006.pdf>.

⁴² Ibíd.

⁴³ PREDITEC, GRUPO ÁLAVA. Mantenimiento Predictivo. Análisis de vibraciones. [En línea] (Recuperado en 20 agosto 2020). Disponible en: <http://www.preditec.com/mantenimiento-predictivo/analisis-de-vibraciones/>.

⁴⁴ Ibíd.

- Engranajes
- Fallos de origen eléctrico.

5.2.4.3 Análisis de lubricantes. De acuerdo con el IRIM⁴⁵, el análisis de aceites consiste, en la realización de test físico-químicos, con el fin de determinar si el lubricante se encuentra en condiciones de ser empleado, o si debe ser cambiado, a su vez, si puede determinar los niveles de contaminación, degradación y desgaste la vida útil de las piezas. La lubricación es muy importante para cualquier componente mecánico y que este sujeto a fricción; Esta funciona como un escudo protector que previene el desgaste entre piezas de una máquina, por lo tanto, la que tenga mayor contacto puede ser la que se deba remplazar con mayor prontitud, pero no es algo certero y por esto es necesario realizar dicho análisis.

Esto se hace por medio de varias características de dicho material⁴⁶:

- Revisión sencilla del olor o color del lubricante.
- Viscosidad: indica el flujo del aceite a una temperatura específica.
- Acidez presente.
- Alcalinidad del lubricante.

Análisis de contaminantes tales como⁴⁷:

- Contenido de agua: contribuye a la corrosión y formación de ácidos.
- Dilución por gases o combustibles: se considera excesiva, cuando alcanza niveles del 2.5 al 5%.

⁴⁵ Instituto Renovetec de Ingeniería del Mantenimiento [IRIM]. Op. cit.

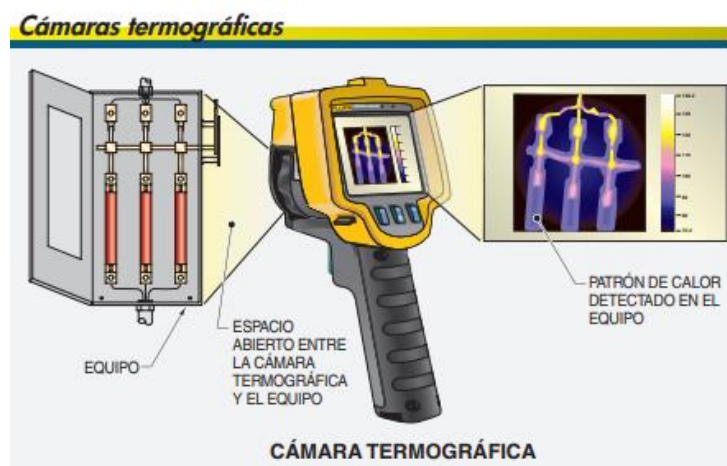
⁴⁶ ALBARRACÍN AGUILÓN, Pedro. Mantenimiento Predictivo: Análisis de Aceites. Universidad Industrial de Santander. Posgrado en Gerencia de Mantenimiento. Cartagena, 2007. Citado por: RUIZ. Op. cit., p 55.

⁴⁷ *Ibíd.*, p. 55-56.

- Contenido de partículas sólidas: usado para detectar partículas metálicas y no metálicas, entre 5 y 50 micrones.
- Análisis del nivel de desgaste de los mecanismos lubricados: muestra cantidades de metal disuelto y partículas de metal entre 5 a 10 micrones.

5.2.4.4 Termografía por Infrarrojo. Se define la termografía por infrarrojos como la ciencia que estudia el uso de dispositivos óptico electrónicos para detectar y medir la radiación a partir de la cual se obtiene la temperatura de las superficies bajo estudio. Como se comprende, la radiación es la transferencia de calor que se produce en forma de energía radiante (ondas electromagnéticas) sin que exista un medio directo de transferencia. El dispositivo utilizado para dicha medición, se llama cámara de termografía, la cual permite detectar los patrones de calor en el espectro de longitud de onda infrarroja, que no es perceptible por el ojo humano⁴⁸.

Figura 6. Esquema de uso de cámara termográfica para detección de patrones de calor



Fuente: American Technical Publishers, Inc., Fluke Corporation y The Snell Group. Introducción a los principios de la termografía. [En línea]. Países Bajos: Fluke, 2009. pp. 72. [Citado el: 25 de agosto de 2020]. ISBN 978-0-8269-1535-1. Disponible en: <https://content.fluke.com/USB-online/eses/booklet.pdf>.

⁴⁸ American Technical Publishers, Inc., Fluke Corporation y The Snell Group. Introducción a los principios de la termografía. [En línea]. Países Bajos: Fluke, 2009. p. 1. [Citado el: 25 de agosto de 2020]. ISBN 978-0-8269-1535-1. Disponible en: <https://content.fluke.com/USB-online/eses/booklet.pdf>.

Como se sustrae del escrito de Ruiz, “la termografía sirve, principalmente para encontrar los componentes eléctricos que estén más calientes de lo normal, lo que generalmente indica un desgaste o aflojamiento. Por lo tanto, esta técnica permite realizar el mantenimiento a los componentes eléctricos que requieren atención sin necesidad de intervenir el resto de los componentes”⁴⁹.

5.2.4.5 Análisis de Ultrasonido. Es un método que estudia las ondas de sonido de baja o alta frecuencia que no son perceptibles por el oído humano, producidas por los equipos; aprovecha las propiedades de las ondas sonoras para encontrar problemas, esto basado en los principios físicos de las ondas mecánicas longitudinales, producidas por las vibraciones de un objeto a través de su medio.

“Esta herramienta está fundamentada en el hecho de que las fuerzas de rozamiento, las descargas eléctricas y las pérdidas de presión o vacío en las plantas, generan ondas sonoras de alta frecuencia, corta longitud y rápida pérdida de energía lo cual permite localizar con exactitud los problemas en los equipos antes de que se produzcan fallas que interrumpen el desarrollo normal de la planta de producción. Para detectar el ultrasonido, se utiliza un instrumento llamado detector de ultrasonidos el cual está diseñado para capturar ondas ultrasónicas y convertirlas en señales con frecuencias dentro del rango de audición humana. Este dispositivo cuenta con la tecnología necesaria para que una vez convertidas las ondas de ultrasonido puedan escucharse a través de audífonos o visualizarse en un monitor por medio de un aumento de su intensidad”⁵⁰.

⁴⁹ RUIZ. Op. cit., p. 52.

⁵⁰ OLARTE, William y BOTERO, Marcela. La detección de ultrasonido: una técnica empleada en el mantenimiento. En: *Sciencia Et Technica*. [base de datos en línea]. 2011, vol. XVII. p. 231. (Recuperado en 25 agosto 2020). Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/849/84921327035.pdf>.

Figura 7. Inspección por medio de equipo de medición de ultrasonido a armario eléctrico de alta tensión



Fuente: PREDITEC, GRUPO ÁLAVA. Mantenimiento Predictivo. Ultrasonidos aplicados al mantenimiento predictivo. [En línea] (Recuperado en 25 agosto 2020). Disponible en: <http://www.preditec.com/mantenimiento-predictivo/ultrasonidos/>

Se pueden detectar y determinar numerosos fenómenos que van acompañados de emisión acústica por encima de las frecuencias del rango audible como lo son: las fugas de fluidos en conducciones en sistemas de aire comprimido, válvula, inspección mecánica de rodamientos, reductoras, puede complementar comprobaciones de alineación en ejes mecánicos e impactos en componentes acoplados dentro de máquinas complejas. También facilita las Inspecciones eléctricas en armarios eléctricos, transformadores, subestaciones, aisladores, líneas de alta tensión, etc., para el control de descargas eléctricas en corona, tracking y arco⁵¹.

⁵¹ PREDITEC, GRUPO ÁLAVA. Mantenimiento Predictivo. Ultrasonidos aplicados al mantenimiento predictivo. [En línea] (Recuperado en 25 agosto 2020). Disponible en: <http://www.preditec.com/mantenimiento-predictivo/ultrasonidos/>

6. DISEÑO METODOLÓGICO

Dada la complejidad del estudio, constituida por dos realidades, de acuerdo con Hernández *et al*⁵², una objetiva y la otra subjetiva, y teniendo en cuenta que:

(...) existen causas y factores que afectan la gestión del mantenimiento dentro de cualquier organización, las cuales son variadas y de muchas características, pues no sólo lo inherente a la maquinaria es lo que afecta esta gestión, si no también muchos otros factores en ocasiones de naturaleza diferente a lo técnico y mecánico, fallas y factores como: tiempo (...), mal manejo de equipo (...), obsolescencia de máquinas (...), adquisición de repuestos (...), conocimiento y habilidad (...), economía (...), otros (...), permiten percibir que el área de mantenimiento debe tener una visión globalizada de toda la organización y se deben resaltar al momento de desarrollar su plan de mantenimiento, la variedad de factores para garantizar que sus objetivos sean alcanzables al nivel y tiempo esperado⁵³.

Por lo anterior, y continuando con lo propuesto por Hernández *et al*⁵⁴, el enfoque de investigación fue mixto, empleando herramientas cuantitativas (en mayor grado) como variables numéricas, gráficas, funciones y fórmulas, y cualitativas, como textos, narrativas, símbolos y elementos visuales para la indagación y el análisis de la información. Esto, para generar una complementariedad en la obtención de los datos y su análisis, además, de hallazgos más completos para diseñar la propuesta planteada.

A continuación, se procede a describir las etapas de la investigación y los instrumentos que se emplearon con el fin de cumplir los objetivos planteados para lograr el diseño del plan de mantenimiento basado en condición para la empresa Panamericana Formas e Impresos S.A.:

⁵² HERNÁNDEZ, Roberto, *et al*. Metodología de la investigación. 6ª ed. México D.F.: McGraw-Hill / Interamericana Editores, S.A. de C.V., 2014. p. 536.

⁵³ OVALLE CASTIBLANCO, Alex Mauricio y OSPINA LÓPEZ, Diana Yomali. Caracterización del mantenimiento industrial en algunas empresas de Manizales y municipios aledaños. En: Revista Educación en Ingeniería. [base de datos en línea]. 2010, No. 9. p. 155. (Recuperado en 21 julio 2020). Disponible en: https://www.acofi.edu.co/revista/Revista9/2009_II_35.pdf

⁵⁴ HERNÁNDEZ. OP. Cit. p. 537.

Cuadro 1. Diseño metodológico para la fase uno

Fase	1. Identificación de las condiciones técnicas, humanas, y operacionales del Área de Mantenimiento.
Necesidades de información	Identificar las máquinas que tiene a su cargo el Área de Mantenimiento, además de las condiciones técnicas en las que operan, y la organización del Área en cuanto a talento humano y otros recursos.
Actividades, Instrumentos y técnicas de recolección de información	Revisión documental, consulta en la página web de la empresa, recorrido por las instalaciones, acompañándolo de una cámara de fotografía y video, y libreta para el registro de la información observada, recopilación de datos de las bases informáticas de la empresa, y la realización de tablas y gráficos respectivos, entrevistas al talento humano del Área de Mantenimiento y Área de Producción, empleando aplicaciones digitales de grabación.
Instrumentos para el análisis de la información	Para el análisis de la información obtenida se empleó el análisis descriptivo, organizando y tabulando para posteriormente narrar los resultados allegados.
Entregables	Diagnóstico del Área del Mantenimiento.

Fuente: elaboración propia

- En la revisión documental, se consultó en medios digitales como páginas web, sobre el propósito de la empresa Panamericana Formas e Impresos S.A., obteniendo información sobre su misión, áreas de gestión, productos y servicios, ubicación geográfica, entre otros.
- Seguidamente, se elaboró un formato de entrevista semiestructurada (*)⁵⁵ (Anexo A), la cual brindó una guía para abordar con el talento humano del Área de Mantenimiento, aspectos relacionados con la gestión del Área, como: misión, actividades encargadas, estrategias de mantenimiento empleadas, equipo de trabajo, cargos existentes, relación con otras áreas

(*) Nota: Se eligió el tipo de entrevista semiestructurada, debido a que es “flexible, dinámica y no directiva”. Con esta, es posible adaptar las preguntas ya planteadas de acuerdo con el entrevistado, asimismo, brinda libertad para profundizar o expresar de forma más abierta los puntos de vista sobre temas puntuales.

⁵⁵ DIAZ-BRAVO, Laura. *et al.* La entrevista, recurso flexible y dinámico. En: Investigación en educación médica. [base de datos en línea]. 2013, vol. 2. pp.162-167 (Recuperado en 7 agosto 2020). Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-50572013000300009&lng=es&nrm=iso

de la empresa, indicadores, y la situación problemática que presenta frente a la indisponibilidad de las máquinas.

Dadas las características de la investigación se empleó un muestreo no probabilístico por conveniencia, en el cual las personas entrevistadas tenían que hacer parte del talento humano tanto del Área de Mantenimiento como de Producción y participar de forma voluntaria.

- Recorrido por las instalaciones: Por medio de esta actividad, se realizó la observación directa de las máquinas encargadas al Área de Mantenimiento, obteniendo información de tipo cualitativo (registros fotográficos).
- Recopilación de datos e información obtenida de las bases informáticas de la empresa: ingresando al Sistema Integrado de Información de Panamericana [SIIP], fue posible obtener datos sobre los equipos que conforman las máquinas por cada unidad de negocio, la programación mensual del mantenimiento preventivo, indicadores de gestión como: tiempos improductivos por mantenimiento, índice de cumplimiento de órdenes de trabajo mantenimiento correctivo, índice de costo de mano de obra, órdenes correctivas por mes, porcentaje de horas extras, y tiempos improductivos por mantenimiento. Lo anterior, fue insumo para analizar cuantitativamente la situación problemática.

En el siguiente cuadro se relaciona el diseño metodológico para la segunda fase del estudio realizado:

Cuadro 2. Diseño metodológico para la fase dos

Fase	2. Determinación de la criticidad de los equipos identificados, a fin de orientar el plan de mantenimiento basado en condición.
Necesidades de información	Identificar los equipos críticos que generan la mayoría de la problemática en cuanto a indisponibilidad de las máquinas.
Actividades, Instrumentos y técnicas de recolección de información	Recopilación de datos e información obtenida de las bases informáticas de la empresa para su respectivo estudio y análisis.
Instrumentos para el análisis de información	Tablas de clasificación de los equipos críticos, diagramas de Pareto y análisis de criticidad.
Entregables	Identificación de las máquinas y equipos críticos objeto del plan de mantenimiento basado en condición.

Fuente: elaboración propia

- Recopilación de datos e información obtenida de las bases informáticas de la empresa: Para determinar los equipos críticos a los cuales se dirigió el diseño del plan de mantenimiento basado en condición, se empleó el SIIP, como fuente bibliográfica para la obtención de los siguientes datos cuantitativos: datos sobre el tiempo total de reparación (TTR), y datos sobre los costos de mantenimiento, además de los datos sobre las máquinas y equipos, recolectados en la primera fase.
- Revisión de bibliografía sobre la teoría del Análisis de Criticidad y el Diagrama de Pareto, a fin de aplicarlas en el contexto del estudio.

Para la tercera fase, se planteó el diseño metodológico que a continuación se expone:

Cuadro 3. Diseño metodológico para la fase tres

Fase	3. Establecimiento de los modos de falla para cada equipo crítico.
Necesidades de información	Establecer los modos de falla de los equipos identificados como críticos a fin de definir en la siguiente fase las técnicas de medición correspondientes.
Actividades, Instrumentos y técnicas de recolección de información	Indagar sobre los modos de falla más predominantes en los equipos críticos mediante entrevistas, recorridos por las instalaciones y registros fotográficos
Instrumentos para el análisis de información	Análisis descriptivo, cuadros resumen, fotografías.
Entregables	Modos de falla de los equipos críticos.

Fuente: elaboración propia

- La identificación de los modos de falla más recurrentes, se realizó a partir de los reportes de órdenes correctivas generadas, además de la búsqueda cualitativa mediante consultas al personal técnico, cuyo conocimiento y experiencia fue clave, y el registro fotográfico. Esta información fue organizada en un cuadro, relacionando, máquina, equipo y falla más recurrente.

Para la cuarta y última fase, se siguió el siguiente diseño metodológico:

Cuadro 4. Diseño metodológico para la fase cuatro

Fase	4. Definición de las actividades necesarias para asegurar el mantenimiento basado en condición.
Necesidades de información	Actividades para guiar la futura implementación del mantenimiento basado en condición.
Actividades, Instrumentos y técnicas de recolección de información	Recolección de información teórica para su respectivo estudio y análisis, establecimiento de los criterios de alarma para cada categoría de equipo, elaboración de las frecuencias de medición, descripción de las técnicas de medición más apropiadas para cada componente, ajuste del organigrama, organización de un esquema de capacitación, elaboración de procedimientos para cada técnica de medición y definición de indicadores para medir los resultados del nuevo plan de mantenimiento.
Instrumentos para el análisis de información	Normas sobre técnicas de medición. Teoría sobre la formulación de planes de mantenimiento.
Entregables	Plan de mantenimiento basado en condición.

Fuente: elaboración propia

- **Revisión teórica:** A fin de encontrar el material bibliográfico fidedigno, útil y oportuno para diseñar el plan de mantenimiento basado en la condición, se emplearon fuentes primarias (documentos actuales sobre la implementación de técnicas de mantenimiento predictivas) y fuentes secundarias (bases de datos, listados de referencias, índices, catálogos virtuales), lo anterior con base en la teoría del ciclo PHVA (Planear, Hacer, Verificar y Actuar).
- Para el establecimiento de los criterios de alarma para cada tipo de equipo, se tuvieron en cuenta las siguientes normas técnicas: NTC 2596: 2009, ISO 14694: 2003: ISO 10816-3: 2009, ISO 1940-1:2003, ISO 18434-2: 2019. La elaboración de las frecuencias de medición fue definida de acuerdo con la criticidad de los equipos y sus requerimientos de mantenimiento específicos. Posteriormente, se describió de forma más detallada el procedimiento para aplicar cada una de las técnicas de medición establecidas.

- Por último, teniendo en cuenta la importancia y el efecto que tiene el talento humano sobre la efectividad del plan, se ajustó el organigrama de acuerdo a la nueva estrategia de mantenimiento basada en la condición. Asimismo, se organizó un esquema de capacitación con el contenido necesario para instruir al personal sobre el CBM, además de presentar los procedimientos para implementar las técnicas de medición propuestas y, se formularon indicadores para realizar el seguimiento y con base en estos, poder plantear acciones de mejora en un futuro, cuando se implemente la propuesta elaborada.

El desarrollo de estas fases permitió diseñar este plan como una nueva estrategia para fortalecer la gestión del Área de Mantenimiento y alcanzar beneficios directos e indirectos en otras áreas clave de la empresa.

7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

7.1 OBJETIVO UNO

7.1.1 Diagnóstico del Área de Mantenimiento. El Área de Mantenimiento de Panamericana Formas e Impresos S.A. tiene como objetivo asegurar la disponibilidad de todas las máquinas y equipos involucrados en el proceso productivo, con un estado óptimo mediante la estrategia de mantenimiento preventivo, que se basa en tareas de sustitución realizadas a intervalos fijos de tiempo con base en protocolos de cambio de componentes recomendados por los fabricantes o a partir de patrones de desgaste y vida útil supuestos, con el fin de disminuir el número de órdenes correctivas así como el costo de mantenimiento y operación.

En función de la estrategia descrita, la Dirección de Mantenimiento elabora un plan el cual programa las máquinas objeto del mantenimiento preventivo asignando los repuestos y personal requeridos, tal y como se visualiza en la Figura 8.

Figura 8. Programación mensual Mantenimiento Preventivo

PROGRAMACION DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO ---> MES						NOVIEMBRE	2019	***	TODOS	LOS	GRUPOS	***	
Usuario: carincom	Programas: saproman6	Compania: PANAMERICANA FORMAS E IMPRESOS S. A.						Hora: ... 15:23:10 Fecha:					
LUNES	MARTES	MIERCOLES	JUEVES	VIERNES									
					1								
--	(-)	--	(-)	--	(-)	--	(-)	--	(-)	96--BARNIZADORA STEINEMA	(06:00-11:00)	--	
--	(-)	--	(-)	--	(-)	--	(-)	--	(-)	223--COSEDERA DE ALAMBRE	(06:00-11:00)	--	
--	(-)	--	(-)	--	(-)	--	(-)	--	(-)	55--ESTAMPADORA KOLBUS	(11:00-13:00)	--	
--	(-)	--	(-)	--	(-)	--	(-)	--	(-)	31--CONVERTIDORA # 1	(11:00-14:00)	--	
--	(-)	--	(-)	--	(-)	--	(-)	--	(-)	506--PLEGADORA N.000/0 #7	(13:00-16:00)	--	
--	(-)	--	(-)	--	(-)	--	(-)	--	(-)	440--CORTADORA DE CARTON	(14:00-16:00)	--	
--	(-)	--	(-)	--	(-)	--	(-)	--	(-)	--	(-)	--	
					5		6		7		8		
--	(-)	72--BARNIZADORA PARCIAL	(06:00-11:00)	424--SPEED MASTER 2P # 2	(06:00-11:00)	308--FLEXO GALLUS 340 # 3	(06:00-11:00)	179--ROTATIVA XBA 215 # 1	(06:00-18:00)	--	--	--	
--	(-)	264--TROQUELADORA THD 2 B	(13:00-16:00)	208--PROCESADORA GALILEO	(11:00-13:00)	298--MORNO POST-COMBUSTIO	(14:00-16:00)	919--AIRE ACONDICIONADO S	(13:00-17:00)	--	--	--	
--	(-)	501--PLEGADORA STAHL # 2	(14:00-17:00)	279--ROTOFLEX VLT 440 #1	(13:00-17:00)	510--PLEGADORA HEINELBERG	(11:00-14:00)	--	(-)	--	--	--	
--	(-)	313--SPEED MASTER CD # 4	(06:00-11:00)	277--FLEXO GALLUS 430 # 2	(06:00-11:00)	--	(-)	--	(-)	--	--	--	
--	(-)	19--GUILLOTINA ORIGINAL	(11:00-13:00)	175--CONVERTIDORA JAGENBE	(11:00-14:00)	--	(-)	--	(-)	--	--	--	
--	(-)	323--IMPRESORA DIGITAL LA	(11:00-14:00)	200--ARG OMEGA DIGICOM S.	(14:00-16:00)	--	(-)	--	(-)	--	--	--	
--	(-)	--	(-)	--	(-)	--	(-)	--	(-)	--	--	--	
					12		13		14		15		
--	(-)	216--COSEDERA DE ALAMBRE	(06:00-11:00)	197--RATIDIBINDER II KOLBU	(06:00-11:00)	405--ROTATIVA # 5	(06:00-11:00)	187--ROTATIVA XBA 215 # 2	(06:00-18:00)	--	--	--	
--	(-)	241--TROQUELADORA THD	(11:00-14:00)	918--AIRE ACONDICIONADO B	(06:00-17:00)	32--CONVERTIDORA # 2	(11:00-14:00)	--	(-)	--	--	--	
--	(-)	15--PROCESADORA PLANCHAS	(14:00-16:00)	196--ALZADORA III KOLBUS	(11:00-14:00)	917--AIRE ACONDICIONADO G	(13:00-17:00)	--	(-)	--	--	--	
--	(-)	510--SPEEDMASTER V.P.	(06:00-11:00)	198--TRIATERAL III KOLBU	(14:00-17:00)	504--PLEGADORA STAHL # 5	(13:00-16:00)	--	(-)	--	--	--	
--	(-)	446--PLEGADORA STAHL # 1	(11:00-14:00)	--	(-)	139--COMPACTADORA DE RETA	(11:00-13:00)	--	(-)	--	--	--	
--	(-)	324--PLASTIFICADORA STEIN	(11:00-16:00)	--	(-)	275--REBORNADO TIFMAX	(14:00-16:00)	--	(-)	--	--	--	

Fuente: Panamericana Formas e Impresos S.A. (Desarrollo In House). SIIP, Sistema Integrado de Información de Panamericana Formas e Impresos S.A. [software para gestionar procesos tanto administrativos como productivos, al igual que la gestión y control del recurso humano que hace posible estos procesos], módulo de Mantenimiento. Última versión: 2.0.0.70. Fecha de lanzamiento: 2018. Requerimientos del sistema: Sistema Operativo XP o superiores, Procesador a 1.3 GHz, Memoria RAM de 2 Gb, Espacio en disco 50 Gb, Ethernet 10/100, Framework 4. Disponible para la descarga en es una aplicación Cliente-Servidor, se debe instalar máquina virtual de Genero 4GL, en cada ordenador.

7.1.2 Talento humano. Para dar cumplimiento a lo expuesto, el Área cuenta con un equipo de 24 personas especializadas en maquinaria de arte gráfica.

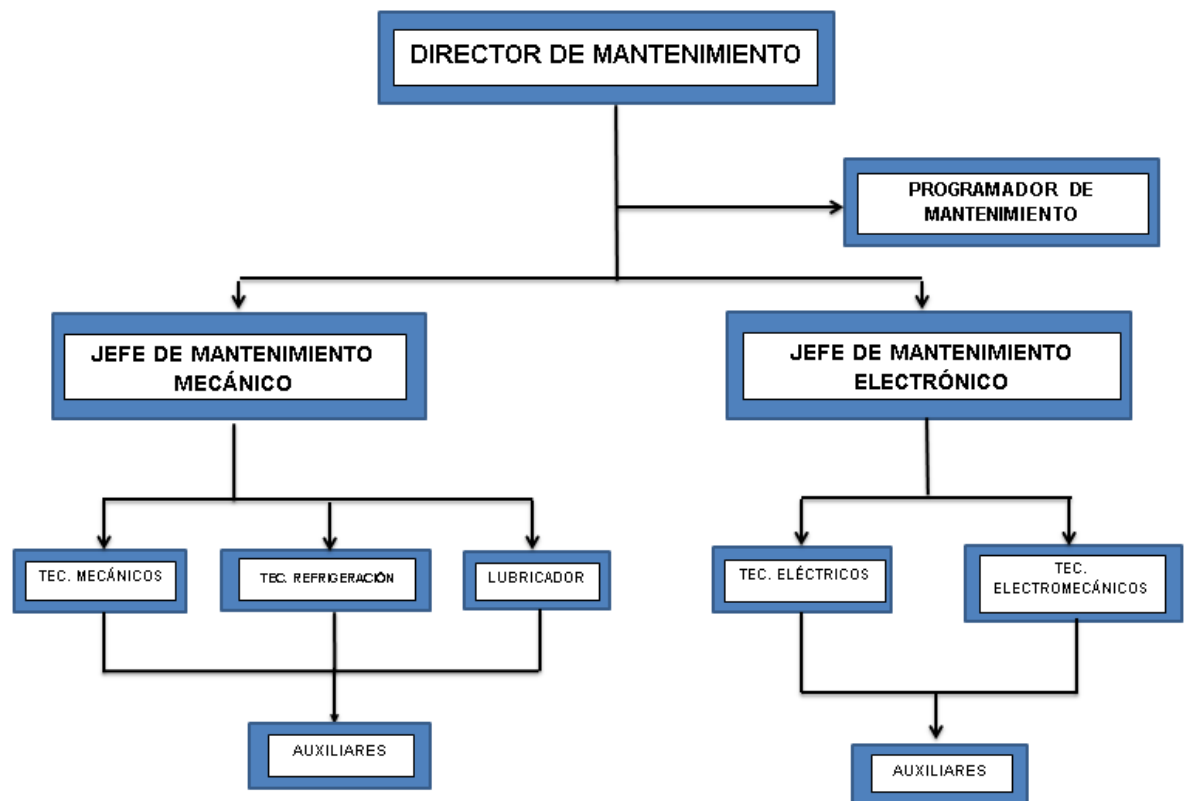
Los participantes en el proceso son:

- Director de Mantenimiento – Responsable del proceso (1 persona)
- Ingenieros Mecánicos (2 personas)
- Ingenieros Electrónicos (2 personas)

- Programador de Mantenimiento (1 persona)
- Técnicos Eléctricos (4 personas)
- Técnicos Electromecánicos (3 personas)
- Técnicos Mecánicos (7 personas)
- Técnicos en refrigeración (1 persona)
- Lubricador (1 persona)
- Auxiliares de mantenimiento (2 personas)

A continuación, en la Figura 9, se presenta el organigrama del Área de Mantenimiento:

Figura 9. Organigrama Área de Mantenimiento



Fuente: elaboración propia, con base en información proporcionada por la empresa.

7.1.3 Propósito del Área. El Área de Mantenimiento cubre los requerimientos para la disponibilidad de todas las unidades productivas de la empresa como lo son Pre prensa, Formas, Impresos, Rotativa, Digital, Flexografía, Encuadernación Manual y Mecánica, Terminados Gráficos, Cajas Plegadizas y Sobres.

En la Figura 10 se aprecia una máquina impresora rotativa KBA 215 de la unidad productiva KBA:

Figura 10. Máquina impresora rotativa KBA 215



Fuente: elaboración propia

Cada unidad productiva está conformada por equipos periféricos y máquinas de igual característica y marca según la función de la unidad en el proceso. Dichas unidades para su proceso productivo requieren materia prima e insumos como lo son: papel, tinta, plástico, cartón, agua, energía eléctrica, aire y gas entre otros, así mismo, los equipos que las conforman son complejos y de alta tecnología, los cuales tienen elementos de tipo mecánico, eléctrico, electrónico, hidráulico, neumático con un nivel de automatización bastante alto.

En los cuadros 5 y 6 se pueden identificar las máquinas que conforman cada unidad de negocio y los equipos periféricos que hacen parte, respectivamente.

Cuadro 5. Unidades productivas

Unidad de negocio	Máquinas	Unidad de negocio	Máquinas
KBA'S	KBA 215 #1	Convertidoras	Convertidora # 1
	KBA 215 #2		Convertidora # 2
	KBA 215 #3		Convertidora jaggenberg
	KBA 215 #4		Convertidora Vatlan
	KBA 213 CM		Rebobinadora de rollos
XL'S	XL # 1	Cosedoras de alambre	Cosedora MM Primera
	XL # 2		Cosedora de alambre # 204
	XL # 3		Cosedora de alambre # 216
Planas	VP # 1		Cosedora de alambre # 218
	VP # 2		Cosedora de alambre # 221
	ZP # 1	Cosedora de alambre # 223	
	ZP # 2	Terminados gráficos	Barnizadora parcial
	SM 1/2 Pliego		Plastificadora bilhofer
	SM GTO		Plastificadora Lotus
Formas	Rotativa # 5	Barnizadora Clarity	
	Rotativa # 1	Barnizadora Total	
	Rotativa # 6	Sobres	Máquina para sobre # 1
	Rotativa # 8		Máquina para sobre # 2
	Colectora # 1		Máquina Resmilladora
	Colectora # 2		Troqueladora Winkler
	Máquina Atlantic Zeiser	Plegadoras	Plegadora sthal # 1
	Máquina Minami		Plegadora sthal # 2
	Rebobinadora Tífmak		Plegadora sthal # 3
Kolbus	Ratiobinder # 2		Plegadora sthal # 4
	Alzadora # 2		Plegadora sthal # 5
	Trilateral # 2		Plegadora Sthalfolder
	Ratiobinder # 3		Plegadora sthal # 6
	Alzadora # 3	Plegadora sthal # 7	
	Trilateral # 3	Guillotinas	Guillotina polar # 20
	Encuadernadora Corona		Guillotina polar # 236
	Trilateral Orbit		Guillotina original perfecta # 554
	Alzadora Corona		Guillotina whollenberg # 16
	Alzadora ZU		Guillotina original perfecta # 553
	Opticontrol		Flexogallus
	Compact 2000		

Cuadro 5. (Continuación)

Unidad de negocio	Máquinas	Unidad de negocio	Máquinas
Kolbus	Máquina Petrato	Flexogallus	Gallus # 2
	Estampadora Rogol		Gallus # 3
	Estampadora soviética		Rotoflex # 1
	Armadora de pastas		Rotoflex # 2
	Doradora oschner		Cortadora de mangas Karville # 1
	Cortadora de percalina		Cortadora de mangas Karville # 2
	Termoselladora kalfas	Impresora HP 7500	
	CD'S	CD # 3	Digital
CD # 4		Impresora kosberg	
Plegadizas (Brausse)	Troqueladora # 1	Impresora Multicam	
	Troqueladora # 2	Impresora Titan	
	Pegadora de cajas KOHMAN	Impresora ABG Omega	
	Pegadora de ventanillas	Ratiobinder Horizon	
	Troqueladora # 3	Impresora Scodix	
	Pegadora de cajas # 1	Cosedoras de hilo	
	Pegadora de cajas # 2		Cosedora de hilo Astronic # 46
	Pegadora de cajas # 3		Cosedora de hilo Astronic # 196
Cosedora de hilo Astronic # 47			

Fuente: elaboración propia, con base en información extraída del módulo de Mantenimiento SIIP

Cuadro 6. Relación de equipos periféricos

Periféricos	Equipos
Compresores de aire comprimido	Compresor Sullair VCC 200
	Compresor Sullair V-160
	Compresor Sullair 3700
	Compresor Sullair 4509 T.G
	Compresor Sullair 4509 KBA # 4
	Compresor Sullair 7509
	Compresor Sullair LS 11009
	Compresor Sullair Ls 11008
Extractores de retal	Extractor Hocker Principal
	Extractor cosedora primera
	Extractor Nestro Kolbus # 3
	Extractor Hunkeler
	Extractor Corona
	Extractor Retal KBA # 3
	Extractor Resmilladora
	Extractor Refile KBA # 1
	Aspirador aire fresco Postquemador
Transformadores	Transformador trifásico 1000 kva Rotativa #1
	Transformador trifásico 1000 kva Rotativa #2
	Transformador trifásico 1000 kva Rotativa #3
	Transformador trifásico 1000 kva Rotativa #4
	Transformador trifásico 500 kva Terminados gráficos
	Transformador trifásico 800 kva Kolbus 3
	Transformador trifásico 800 kva Bod 65
	Transformador trifásico 800 kva Cuarto de compresores
	Transformador trifásico 500 kva Almacén de repuestos
	Transformador trifásico 1600 kva Nave 5
	Transformador trifásico 500 kva Retal
	Transformador trifásico 112.5 kva Banderas
	Transformador trifásico 75 kva Despachos
	Transformador trifásico 500 kva Outsourcing

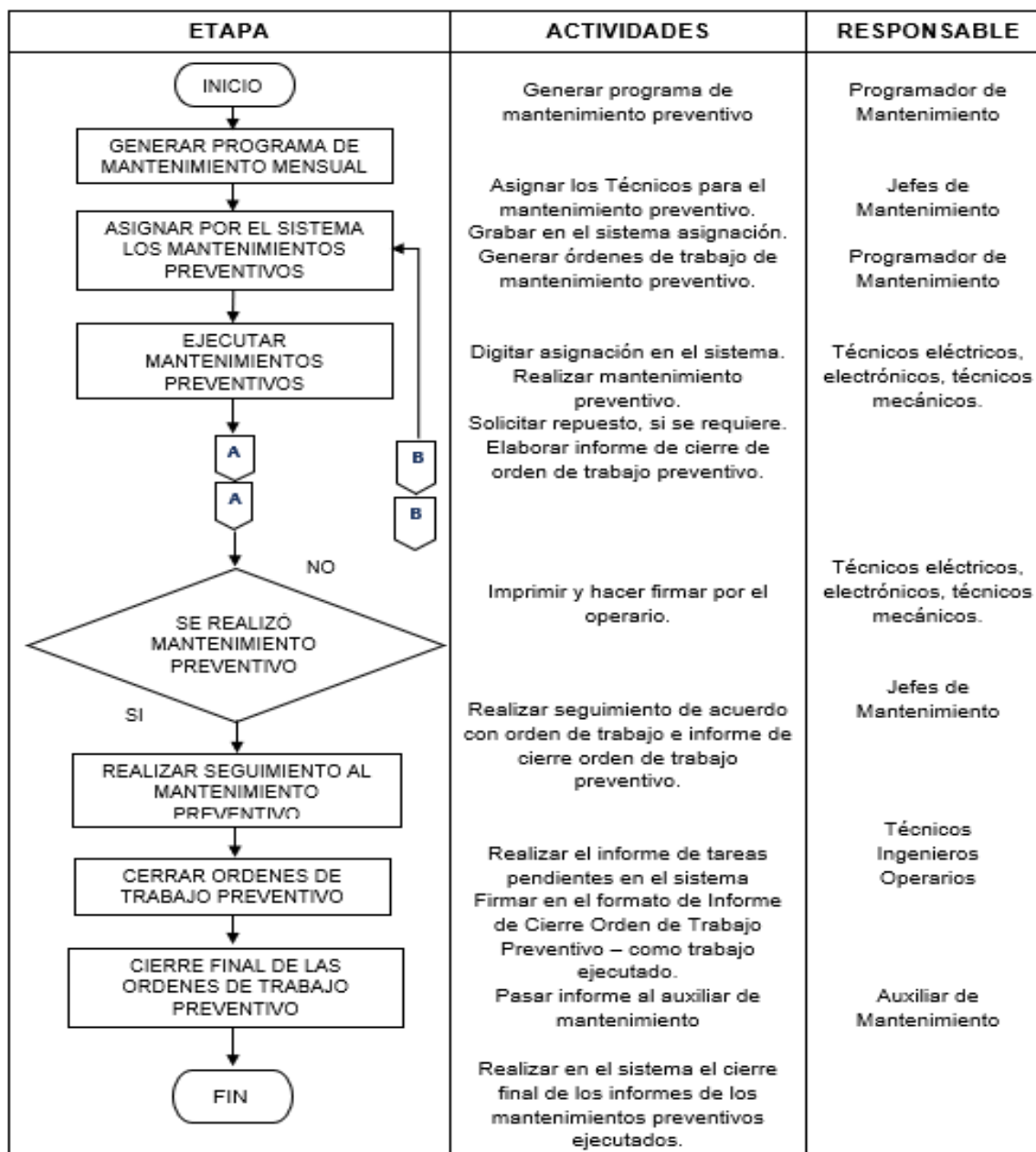
Fuente: elaboración propia, con base en información extraída del módulo de Mantenimiento SIIP

7.1.4 Actividades

1. Los jefes de mantenimiento realizan la recolección de la información, teniendo en cuenta los listados de las tareas pendientes, fallas recurrentes reportadas en el módulo correspondiente del Sistema Integrado de Información de Panamericana [SIIP], así como las fallas potenciales detectadas y reportadas en el mantenimiento preventivo y recomendaciones por parte del fabricante.
2. La Dirección de mantenimiento elabora mensualmente en el sistema el plan de mantenimiento preventivo para las máquinas, incluyendo los equipos periféricos, el cual es comunicado a las áreas de Programación, Producción y Sistemas para la asignación de los recursos necesarios (disponibilidad de repuestos, tiempo de parada).
3. La Dirección del Área de Mantenimiento asigna personal para atender las órdenes correctivas que se presentan durante la jornada productiva.

En la Figura 11 se visualiza el diagrama con las actividades de mantenimiento preventivo que realiza la empresa:

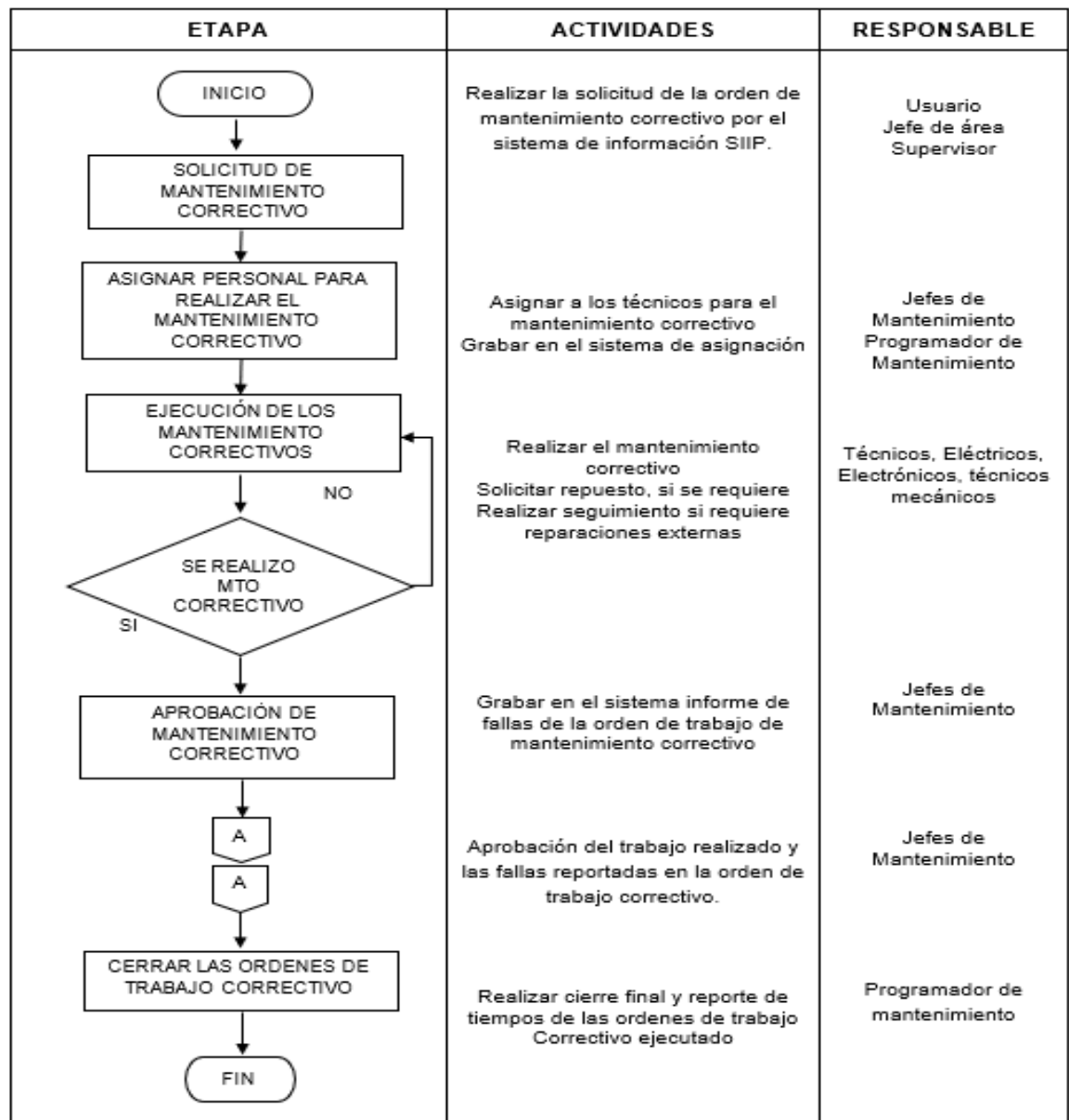
Figura 11. Diagrama de actividades Mantenimiento Preventivo



Fuente: PANAMERICANA FORMAS E IMPRESOS S.A. Procedimiento mantenimiento preventivo y correctivo de máquinas y equipos. Mantenimiento Preventivo. Versión 1.0. Bogotá D.C.: PANAMERICANA FORMAS E IMPRESOS S.A., 2020. 5-6 p. MTO-P-001

Así mismo, teniendo en cuenta que la empresa también efectúa actividades de Mantenimiento Correctivo, en la Figura 12 se detalla el proceso respectivo:

Figura 12. Diagrama de actividades Mantenimiento Correctivo



Fuente: PANAMERICANA FORMAS E IMPRESOS S.A. Procedimiento mantenimiento preventivo y correctivo de máquinas y equipos. Mantenimiento Correctivo. Versión 1.0. Bogotá D.C.: PANAMERICANA FORMAS E IMPRESOS S.A., 2020. 7-8 p. MTO-P-001

7.1.5 Indicadores de gestión. Como se mencionó con anterioridad, la empresa cuenta con un ERP (Enterprise Resource Planning, sistema de planificación de recursos empresariales) denominado SIIP (Sistema Integrado de Información de Panamericana) que permite la operación conjunta de áreas como Producción, Planeación, Contabilidad, Recursos Humanos y un módulo adaptado al Área de Mantenimiento para la programación de los mantenimientos preventivos, generación de órdenes correctivas, asignación de personal y control de inventarios.

Este módulo carece de desarrollos tecnológicos e informáticos para generar análisis de tendencias de modos de falla, procedimientos, cálculo de costos y asociación de documentos como manuales y catálogos, información necesaria para tomar decisiones con base en los datos registrados, así como gestionar y dar seguimiento al uso de piezas de repuestos.

Actualmente, si se requiere conocer el historial de fallas de una máquina se debe remitir a los archivos físicos de cierre de órdenes de trabajo que en ocasiones ya no se encuentran o recurrir al conocimiento del personal técnico de mantenimiento sobre la tarea realizada.

Con base en la información extraída del SIIP, la Dirección de Mantenimiento plantea los siguientes indicadores para evaluar su gestión: Tiempos improductivos por mantenimiento (Tabla 1), Índice de cumplimiento de órdenes de trabajo mantenimiento correctivo (Tabla 2), Índice de costo de mano de obra (Tabla 3).

En la siguiente sección, se presentan los valores de estos indicadores, así como su descripción y análisis respectivo.

Tabla 1. Tiempos improductivos por mantenimiento

Descripción	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Horas productivas planta	29.58 5	31.91 5	32.50 7	32.67 2	31.24 2	24.69 5	31.02 5	31.60 0	38.93 8	42.57 4	44.29 5	41.73 4
Horas improductivas planta	4.634	5.529	5.348	4.691	5.114	3.784	4.747	4.524	5.386	5.781	5.975	5.230
Horas inactivas planta	18.51 6	19.22 6	15.82 0	14.70 9	19.78 5	16.05 9	20.86 8	16.92 9	17.88 2	19.20 2	18.53 4	16.73 1
Total Horas:	52.73 5	56.67 1	53.67 5	52.07 2	56.14 1	44.53 7	56.64 0	53.05 2	62.20 6	67.55 7	68.80 4	63.69 5
Horas improductivas por mantenimiento	974	998	956	1.113	1.151	1.119	1.027	1.066	1.087	1.183	1.235	1.298
% sobre total improductivas	21,0	18,0	17,9	23,7	22,5	29,6	21,6	23,6	20,2	20,5	20,7	24,8
% sobre total productivas	3,29	3,13	2,94	3,41	3,68	4,53	3,31	3,37	2,79	2,78	2,79	3,11
% sobre total horas planta	1,85	1,76	1,78	2,14	2,05	2,51	1,81	2,01	1,75	1,75	1,79	2,04

Nota. Valores para el año 2019

Fuente: PIWEK BOLCKE. Christian. Información del módulo de Mantenimiento SIIP. 2020

Con este indicador, la Dirección de Mantenimiento busca conocer mensualmente el total de tiempos improductivos de producción generados por mantenimientos no programados, respecto al total de horas productivas de planta. El promedio de improductividad por mantenimiento es del 22%, lo cual es un porcentaje alto para los estándares establecidos por la Gerencia.

Tabla 2. Índice de cumplimiento de órdenes de trabajo mantenimiento correctivo

Indicadores	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Órdenes Correctivas generadas	506	515	530	522	531	541	584	570	663	569	596	624
Órdenes Correctivas sin atender	5	22	11	3	2	5	7	2	5	3	12	4
Órdenes Correctivas pendientes	7	15	6	9	11	9	24	6	14	27	13	5
% Atención ordenes correctivas	99,0	95,7	97,9	99,4	99,6	99,1	98,8	99,6	99,2	99,5	97,99	99,36
Órdenes atendidas dentro promedio	333	544	351	350	297	248	436	230	385	207	401	348
% Órdenes atendidas en promedio	65,8	105,6	66,2	67,0	55,9	45,8	74,7	40,4	58,1	36,4	67,3	55,8
% OT atendidas debajo	34,19	-5,63	33,77	32,95	44,07	54,16	25,34	59,65	41,93	63,62	32,72	44,23
Tiempo promedio de mantenimiento máquinas	2185:51	2399:39	2287:12	2846:12	4173:04	2168:11	2491:42	2042:58	2377:17	2760:23	2350:44	2212:08
Tiempo de mantenimiento máquinas (decimal)	2.186	2.400	2.287	2.846	4.173	2.168	2.492	2.043	2.377	2.760	2.351	2.212
Tiempo atención (promedio)	1:08	2:16	1:35	1:25	1:52	1:36	1:46	1:48	1:58	1:37	1:51	1:45
Suma de promedios de los tiempos de atención	112:47	225:53	158:23	141:32	220:24	164:02	185:45	169:43	203:26	171:25	209:03	187:10
Suma de los 10 peores tiempos de atención	46:58	101:29	67:05	24:53	103:43	54:13	59:41	53:23	74:32	58:06	65:25	59:19

Nota. Valores para el año 2019

Fuente: PIWEK BOLCKE, Christian. Información del módulo de Mantenimiento SIIP. 2020

Este indicador permite visualizar la gestión dada a las órdenes correctivas generadas cada mes; se analiza la cantidad de órdenes generadas, total de órdenes atendidas y el tiempo de respuesta, con el fin plantear estrategias para mejorar los tiempos de respuesta y disminuir el número de órdenes.

En esta información se aprecia el incremento de las órdenes correctivas, lo que indica que entre mayor número de órdenes generadas menor efectividad del mantenimiento preventivo.

Tabla 3. Índice de costo de mano de obra

Cargo	Salario básico	Promedio 2018	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Promedio 2019	Acumulado
TE	2.197.000	1.579.973	1.278.822	1.602.336	1.203.654	1.102.384	1.194.766	1.367.818	1.237.525	11.137.729
TM	2.800.000	623.969	656.876	172.385	391.360	-	536.905	794.831	499.149	3.494.045
TE	2.107.000	1.295.607	1.147.475	1.493.977	984.615	-	1.502.072	1.439.118	1.299.173	10.393.386
TM	2.407.000	1.118.776	1.101.679	1.339.470	620.812	1.035.939	692.659	1.167.575	832.020	7.488.182
TM	2.407.000	1.199.973	846.459	1.349.106	965.132	224.359	866.959	1.127.629	933.503	8.401.528
TR	1.840.000	35.719	-	12.459	35.777	-	38.652	-	28.781	143.907
IE	2.299.000	1.337.542	1.469.567	1.410.967	1.115.888	1.111.019	1.417.194	444.232	944.574	8.501.170
IM	2.299.000	195.040	232.030	644.344	468.101	205.153	238.679	204.954	291.210	2.620.893
TM	2.299.000	1.015.796	794.900	1.423.434	1.276.498	939.994	1.005.450	431.262	975.702	8.781.320
TE	2.107.000	1.293.845	895.440	1.582.879	1.306.299	929.747	942.622	1.165.501	1.147.559	10.328.029
TM	2.299.000	1.090.558	972.428	1.377.339	1.026.725	990.682	1.363.469	757.868	1.089.390	9.804.514
AM	920.000	247.617	310.609	297.788	249.740	251.194	319.858	172.308	276.678	2.490.106
IM	4.545.300	290.770	198.046	8.891	296.731	187.345	220.814	427.342	201.805	1.412.637

Nota. Valores dados en pesos colombianos (\$)

Fuente: PIWEK BOLCKE, Christian. Información del módulo de Mantenimiento SIIP. 2020

Con este indicador se busca conocer la cantidad de horas extras generadas por los técnicos de mantenimiento, para evaluar el costo de la mano de obra causado mensualmente y su efecto en el presupuesto del Área.

Se puede analizar qué tipo de trabajos resultan más costosos de acuerdo a la especialidad de los técnicos dándosele prioridad para que se generen dentro

de la jornada habitual y dejar los de menor costo para el tiempo adicional, minimizando el valor de mano de obra a pesar de incurrir en horas extras.

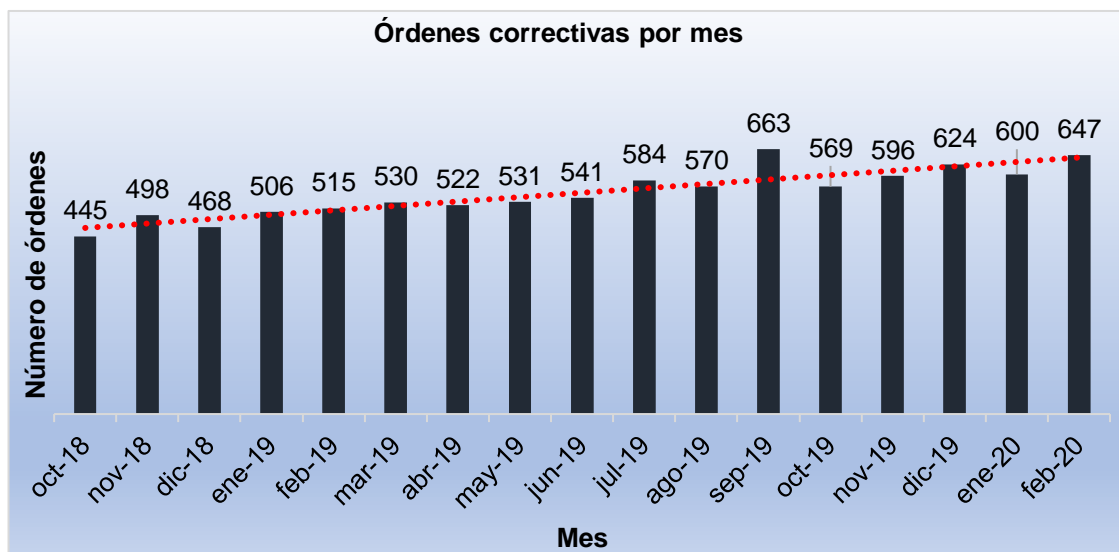
Con esta información se evalúa la eficiencia de la programación de las tareas y de acuerdo al número de horas extras se evidencian las falencias del Mantenimiento preventivo ya que la mayoría de tiempo adicional se programa para atender mantenimientos de tipo correctivo.

7.1.6 Problemática identificada. La mayoría de modos de falla encontrados en los archivos de órdenes de trabajo, no tienen un patrón de desgaste identificado y son de tipo aleatorio, se ha reconocido que se cambian los componentes sin aprovechar la totalidad de su vida útil, en ocasiones al intervenir el equipo se le inducen a fallas que hacen incurrir en tiempo de inactividad adicional, incrementando el costo de los repuestos ya que se cambian sin necesidad y costo de mano de obra.

También se identificó que algunos equipos fallan antes de la programación de sustitución de componentes definidos, por lo cual, se concluye que no se tiene información veraz respecto a la vida útil de los componentes.

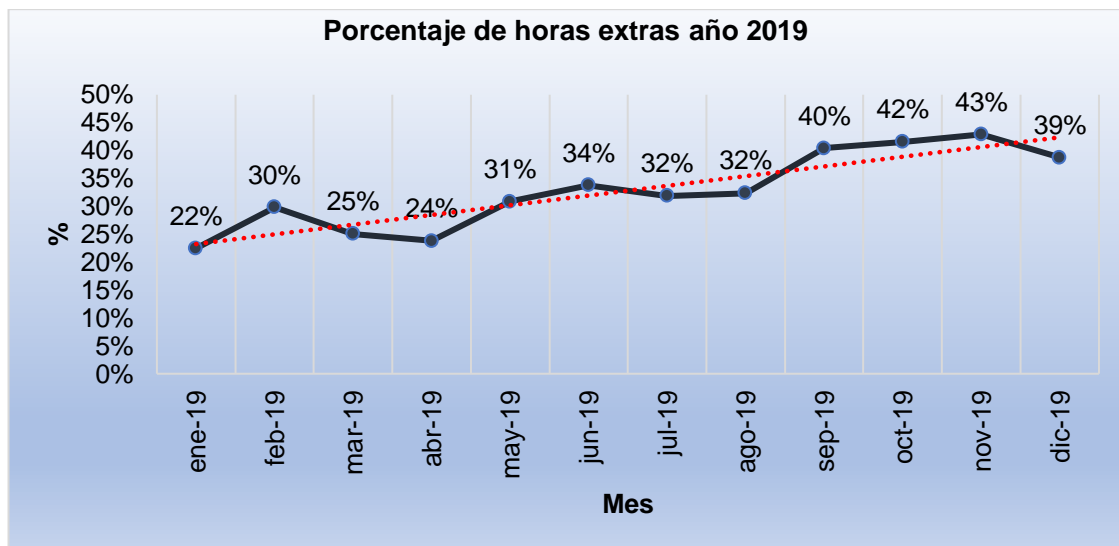
Según el análisis de los indicadores del área se observa tendencia al aumento de la cantidad de órdenes correctivas, tiempos improductivos y costo de mano de obra (Figuras 13, 14 y 15 respectivamente), estos factores también conllevan al desperdicio de materia prima, lo que hace evidente que la estrategia de mantenimiento preventivo que se está ejecutando no es efectiva.

Figura 13. Órdenes correctivas por mes



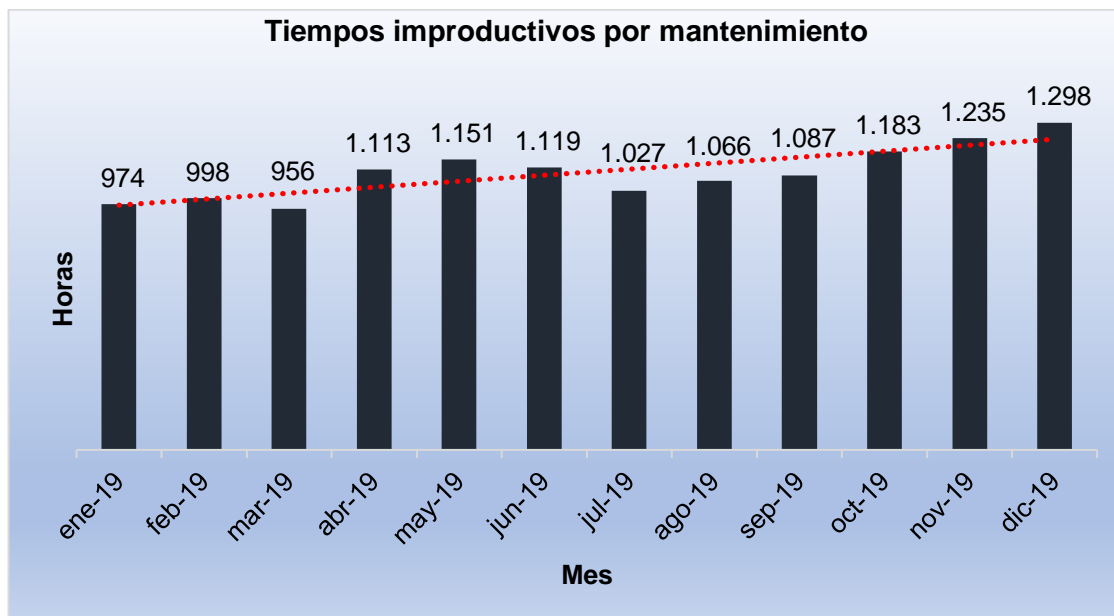
Fuente: PIWEK BOLCKE, Christian. Información del módulo de Mantenimiento SIIP. 2020

Figura 14. Porcentaje de horas extras año 2019



Fuente: PIWEK BOLCKE, Christian. Información del módulo de Mantenimiento SIIP. 2020

Figura 15. Tiempos improductivos por mantenimiento



Fuente: PIWEK BOLCKE, Christian. Información del módulo de Mantenimiento SIIP. 2020

Partiendo de lo anterior se llegó a la conclusión que la estrategia de mantenimiento preventivo en concurso con el mantenimiento correctivo, no es la más favorable en términos de costo-beneficio, además de que no cumple con los objetivos de disponibilidad y confiabilidad propuestos por la gerencia.

7.2 OBJETIVO DOS

7.2.1 Análisis de criticidad. De acuerdo con Daquinta *et al.*⁵⁶, el análisis de criticidad es una metodología que permite establecer la jerarquía o prioridades de procesos, sistemas y equipos creando una estructura que facilita la toma de

⁵⁶ DAQUINTA-GRADAILLE, Antonio. *et al.* Metodología de Análisis de criticidad integral de las cosechadoras de caña de azúcar CASE IH. En: Revista Ingeniería Agrícola. [base de datos en línea]. 2018, vol. 8. p. 56 (Recuperado en 24 julio 2020). Disponible en: <https://revistas.unah.edu.cu/index.php/IAgric/article/view/938/1315>

decisiones acertadas y efectivas direccionando el esfuerzo y los recursos en áreas donde sea más importante y necesario mejorar la confiabilidad operacional basado en la realidad actual.

Según Huerta⁵⁷, los criterios para realizar un análisis de criticidad están asociados con:

- Seguridad
- Medio ambiente
- Producción
- Costos de operación y mantenimiento
- Intervalos de falla
- Tiempo de reparación

El resultado del análisis de criticidad permite establecer prioridades para focalizar los esfuerzos en los puntos más vulnerables de la operación, esto, a fin de garantizar el éxito maximizando la rentabilidad⁵⁸. Para iniciar, es necesario fijar los criterios de evaluación, a partir de lo cual, se podrán clasificar las posibles consecuencias de la operación.

Debido a que las instalaciones de Panamericana Formas e Impresos S.A. cuentan con un gran número de sistemas y equipos, se definieron las unidades de negocio con mayor impacto en la producción para así, identificar los sistemas más críticos.

Partiendo de la información extraída del SIIP en cuanto al Área de Mantenimiento y adicionalmente de Áreas como Contabilidad, Compras, Recursos Humanos y Producción, los criterios a tener en cuenta para realizar el

⁵⁷ HUERTA - MENDOZA, R. El análisis de criticidad, una metodología para mejorar la confiabilidad operacional. En: Ingeniería Mecánica. [base de datos en línea]. 2000, vol. 4. p. 13 (Recuperado en 24 julio 2020). Disponible en: <http://www.ingenieriamecanica.cujae.edu.cu/index.php/revistaim/article/view/364/704>

⁵⁸ *Ibíd.*

análisis de criticidad en la empresa fueron: los tiempos totales de reparación y los costos de operación y mantenimiento.

Con el fin de establecer jerarquías y prioridades se realizaron diagramas de Pareto con base en la información obtenida del SIIP, con el cual se analizan tiempos improductivos y costos de mantenimiento de cada una de las unidades productivas para determinar a cuáles sistemas o áreas hay que prestarle más atención y dedicarle los recursos que sean necesarios.

7.2.2 Diagrama de Pareto. La Ley o el Principio de Pareto, plantea que, “en cualquier negocio o industria pocos elementos son vitales mientras que la gran mayoría no lo son”. También se conoce como ley 20 – 80, el 20% de la población es la que provoca el 80% de los problemas.”⁵⁹

Con base en lo anterior se busca identificar el 20% de las unidades de producción que provocan el 80% de los problemas de mantenimiento.⁶⁰

Para realizar el diagrama y su respectivo análisis se tuvieron en cuenta las unidades de producción más representativas de la empresa considerando como unidad de medida los tiempos totales de reparación y costos de mantenimiento del año 2019.

⁵⁹ PARETO, Vilfredo. Cours d'Economie Politique. Lausanne: Rouge, 1896-1897. doi: 10.1177/000271629700900314. Citado por: BONET BORJAS, Carlos Manuel. Ley de Pareto aplicada a la fiabilidad. En: Ingeniería Mecánica. [base de datos en línea]. 2005, vol. 8. p. 2 (Recuperado en 24 julio 2020). Disponible en:

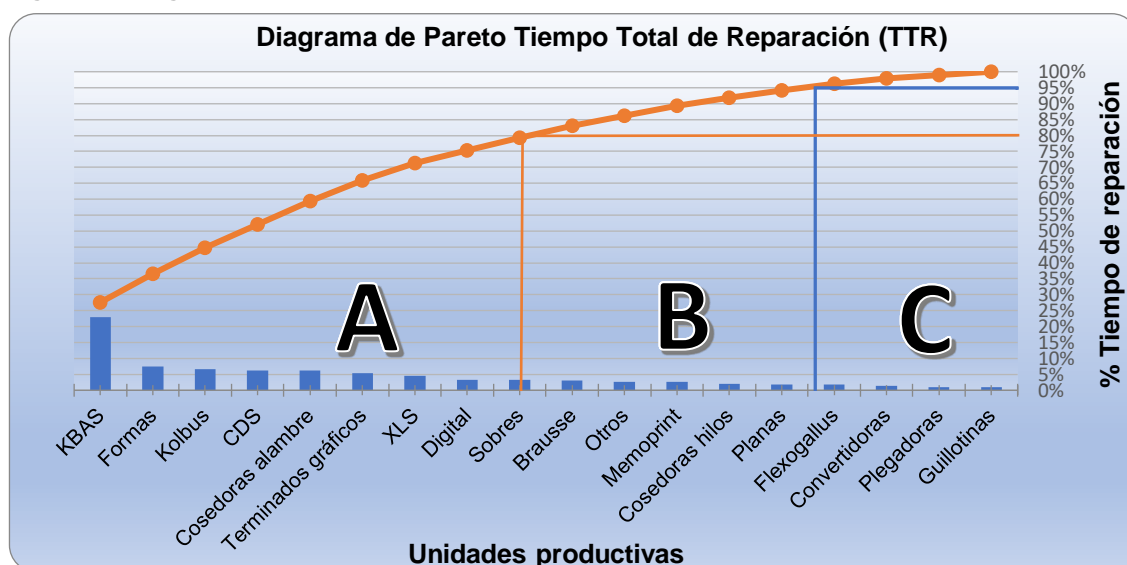
<http://www.ingenieriamecanica.cujae.edu.cu/index.php/revistaim/article/view/221/561>
⁶⁰ Ibid., p.2.

Tabla 4. Datos Tiempo Total de Reparación (TTR)

Equipo	TTR/Año (Horas)	% total	% Acumulado
KBAS	2758,03	28	27,594
Formas	900,07	9	36,6
Kolbus	802,28	8	44,6
CDS	745,58	7	52,1
Cosedoras alambre	734,27	7	59,4
Terminados gráficos	653,08	7	66,0
XLS	532,07	5	71,3
Digital	402,33	4	75,3
Sobres	396,07	4	79,3
Brausse	369,82	4	83,0
Otros	317,65	3	86,2
Memoprint	314,80	3	89,3
Cosedoras hilos	249,63	2	91,8
Planas	228,13	2	94,1
Flexogallus	223,35	2	96,3
Convertidoras	158,07	2	97,9
Plegadoras	105,15	1	99,0
Guillotinas	104,78	1	100,0
Total	9995,17		

Fuente: elaboración propia, con base en información extraída del Módulo de Mantenimiento SIIP

Figura 16. Diagrama de Pareto Tiempo total de reparación



Fuente: elaboración propia, con base en información extraída del Módulo de Mantenimiento SIIP

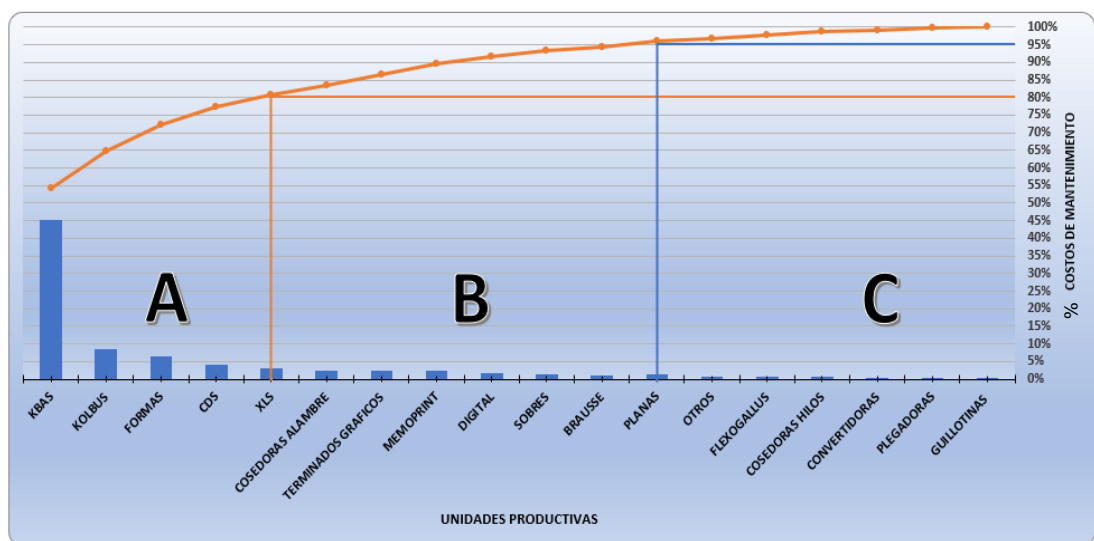
Tabla 5. Datos Costos de Mantenimiento

Equipo	Tiempo Total Reparación (TTR/Año) (Horas)	Costo de Falla (Cf) en producción (\$/hora)	Costo de reparación (Cr) (\$/Año)	Costo de producción (\$/Año)	Costo por mantenimiento o (\$) (Mano de obra y horas extras) (\$/Año)	Costo global anual	% Total	% Acumulado
KBAS	2758,03	400.000,00	551.606.666,70	1.103.213.333,33	35.854.433,33	1.690.674.433,37	54,22	54
Kolbus	802,28	330.000,00	49.503.666,78	264.753.500,00	10.429.683,33	324.686.850,11	10,41	65
Formas	900,07	110.000,00	132.376.750,00	99.007.333,33	11.700.866,67	243.084.950,00	7,80	72
CDS	745,58	125.000,00	46.598.958,33	93.197.916,67	9.692.583,33	149.489.458,33	4,79	77
XLS	532,07	150.000,00	25.699.333,93	79.810.000,00	6.916.866,67	112.426.200,60	3,61	81
Cosedoras alambre	734,27	70.000,00	22.857.916,67	51.398.666,67	9.545.466,67	83.802.050,00	2,69	84
Terminados gráficos	653,08	70.000,00	39.905.000,00	45.715.833,33	8.490.083,33	94.110.916,67	3,02	87
Memoprint	314,80	200.000,00	24.146.982,00	62.960.000,00	4.092.400,00	91.199.382,00	2,92	89
Digital	402,33	120.000,00	15.842.666,48	48.280.000,00	5.230.333,33	69.352.999,81	2,22	92
Sobres	396,07	80.000,00	11.094.500,00	31.685.333,33	5.148.866,67	47.928.700,00	1,54	93
Brausse	369,82	60.000,00	6.353.000,00	22.189.000,00	4.807.616,67	33.349.616,67	1,07	94
Planas	228,13	100.000,00	31.480.000,00	22.813.333,33	2.965.733,33	57.259.066,67	1,84	96
Otros	317,65	40.000,00	6.864.916,18	12.706.000,00	4.129.450,00	23.700.366,18	0,76	97
Flexogallus	223,35	70.000,00	11.206.358,91	15.634.500,00	2.903.550,00	29.744.408,91	0,95	98
Cosedoras hilos	249,63	55.000,00	7.817.250,00	13.729.833,33	3.245.233,33	24.792.316,67	0,80	99
Convertidoras	158,07	60.000,00	4.742.000,00	9.484.000,00	2.054.866,67	16.280.866,67	0,52	99
Plegadoras	105,15	100.000,00	5.257.500,00	10.515.000,00	1.366.950,00	17.139.450,00	0,55	100
Guillotinas	104,78	50.000,00	2.619.583,24	5.239.166,67	1.362.183,33	9.220.933,24	0,30	100
Total	9995,17					3.118.242.965,89		

Nota. Valores dados en pesos colombianos (\$)

Fuente: elaboración propia, con base en información extraída del Módulo de Mantenimiento SIIP

Figura 17. Diagrama de Pareto Costo de mantenimiento



Fuente: elaboración propia, con base en información extraída del Módulo de Mantenimiento SIIP

Con los diagramas de Pareto realizados se efectúa la identificación y categorización de las máquinas de Mayor, Mediana y Leve criticidad, en donde:

- **Categoría A:** Máquinas con mayor impacto en la disponibilidad y confiabilidad de los procesos productivos de la empresa, que causan el 80% de los costos de mantenimiento y tiempos de reparación.
- **Categoría B:** Equipos de criticidad media, que causan el 15% de costos de mantenimiento y tiempos de reparación.
- **Categoría C:** Equipos con criticidad baja o leve, que causan el 5% de impacto en costos de mantenimiento y tiempos de reparación.

En el Cuadro 7 se relaciona la clasificación de las unidades de producción de acuerdo con su criticidad.

Cuadro 7. Resultado Diagramas de Pareto

Unidad de producción	Criticidad
KBAS	A
Formas	
Kolbus	
CDS	
Cosedoras alambre	
Terminados gráficos	
XLS	
Digital	
Sobres	
Brausse	
Otros	
Memoprint	
Cosedoras hilos	
Planas	
Flexogallus	C
Convertidoras	
Plegadoras	
Guillotinas	

Fuente: elaboración propia

7.2.3 Clasificación de máquinas críticas. Con base en los resultados obtenidos en el análisis de criticidad se procede a enlistar las máquinas de cada unidad de producción del grupo A las cuales son las que generan el 80% de los problemas de disponibilidad y confiabilidad y que serán objeto de la nueva estrategia de mantenimiento basada en la condición; adicionalmente, se incluyeron los equipos periféricos (compresores, extractores, transformadores, subestaciones) ya que sin ellos no se proveen los servicios que necesitan las máquinas para funcionar.

Debido al bajo impacto en los tiempos de reparación, costos de mantenimiento y productividad, las unidades de producción del grupo B y C seguirán siendo intervenidas con el plan de mantenimiento preventivo y eventualmente se pueden llevar a mantenimientos correctivos.

Cuadro 8. Máquinas críticas objeto del plan

Clasificación de máquinas por unidad de producción	
Unidad de producción	Máquinas
KBA'S	KBA 215 #1
	KBA 215 #2
	KBA 215 #3
	KBA 215 #4
	KBA 213 CM
XL'S	XL # 1
	XL # 2
	XL # 3
Formas	Rotativa # 5
	Rotativa # 1
	Rotativa # 6
	Rotativa # 8
	Colectora # 1
	Colectora # 2
	Maquina Atlantic Zeiser
	Maquina Minami
	Rebobinadora Tifmak

Cuadro 8. (Continuación)

Clasificación de máquinas por unidad de producción	
Unidad de producción	Unidad de producción
Kolbus	Ratiobinder # 2
	Alzadora # 2
	Trilateral # 2
	Ratiobinder # 3
	Alzadora # 3
	Trilateral # 3
	Encuadernadora Corona
	Trilateral Orbit
	Alzadora Corona
	Alzadora ZU Opticontrol
	Compact 2000
	Maquina Petrato
	Estampadora Rogol
	Estampadora soviética
	Armadora de pastas
	Doradora oschner
	Cortadora de percalina
Termoselladora kalfas	
CD'S	CD # 3
	CD # 4
Cosedoras de alambre	Cosedora MM Primera
	Cosedora de alambre # 204
	Cosedora de alambre # 216
	Cosedora de alambre # 218
	Cosedora de alambre # 221
	Cosedora de alambre # 223
Terminados gráficos	Barnizadora parcial
	Plastificadora bilhofer
	Plastificadora Lotus
	Barnizadora Clarity
	Barnizadora Total
Sobres	Máquina para sobre # 1
	Máquina para sobre # 2
	Máquina Resmilladora
	Troqueladora Winkler

Cuadro 8. (Continuación)

Digital	Impresora HP 7500
	Impresora Indigo
	Impresora kosberg
	Impresora Multicam
	Impresora Titan
	Impresora ABG Omega
	Ratiobinder Horizon
	Impresora Scodix

Fuente: elaboración propia, con base en información extraída del Módulo de Mantenimiento SIIP

7.3 OBJETIVO TRES

7.3.1 Identificación de los modos de falla. “Un modo de falla es una causa de falla o una posible manera en la que un equipo puede fallar.”⁶¹

“Cuando un sistema tiene muchas maneras posibles de fallar, tiene múltiples modos de falla o riesgos que compiten. Mientras más complejo es un sistema, más modos de falla tendrá.”⁶²

Ya que el Área de Mantenimiento carece de un software especializado que le permita registrar tipos de fallas y sus causas, se procedió a examinar los reportes de órdenes correctivas generadas y buscar información adicional mediante consultas al personal técnico y su experiencia con estas máquinas a fin de determinar los modos de falla en los equipos de las unidades con la criticidad más alta.

⁶¹ Minitab.com. ¿Qué es un modo de falla? [En línea] (Recuperado en 31 julio 2020). Disponible en: <https://support.minitab.com/es-mx/minitab/18/help-and-how-to/modeling-statistics/reliability/supporting-topics/basics/what-is-a-failure-mode/>

⁶² *Ibíd.*, párr. 2.

Con base en esta información se encontró que los equipos que más fallan en las máquinas son de tipo rotativo como lo son: bombas, motores, sopladores, turbinas, compresores, reductores, rodillos y ventiladores; además de continuos problemas de los equipos periféricos como lo son los compresores, transformadores, subestaciones y extractores, concluyendo que las causas de avería más habituales son las siguientes:

- Desbalanceo
- Desalineación
- Defecto de rodamientos
- Ejes torcidos
- Solturas mecánicas
- Defecto de transmisiones por correa
- Defectos de engranajes
- Tableros eléctricos (Recalentamiento de componentes, sobretensiones, armónicos)
- Perdida de aislamiento eléctrico en motores
- Cables sueltos
- Lubricante contaminado o emulsionado
- Frecuentes picos de luz

En el Cuadro 9, se visualizan las fallas más recurrentes por tipo de máquina y equipo.

Cuadro 9. Modos de fallas más recurrentes

Máquina	Equipo	Falla
KBA 1	Motor eléctrico U2	Falla de rodamientos
KBA 1	Motor eléctrico U3	Falla de rodamientos
KBA 1	Motor principal de plegadora	Falla de rodamientos
KBA 2	Motor eléctrico U3	Bobinado quemado
KBA 2	Motor principal de plegadora	Acople roto
KBA 3	Motor principal de plegadora	Falla de rodamientos
Máquina de sobres c.c: 237	Compresor de vacío VTLF 500 Inferior	Eje doblado

Cuadro 9. (Continuación)

Máquina	Equipo	Falla
KBA 3	Motor eléctrico U4	Bobinas en corto
Dobladora Brausse 1	Turbina	Desbalanceo
Compresor VCC 200 Bod KBA	Motor de ventilador	Cambio de rodamientos
Cosedora de alambre c.c:218	Compresor de vacío	Bobinado quemado
Cosedora de alambre c.c:216	Compresor de vacío	Acople desgastado
Máquina de sobres c.c: 237	Compresor de vacío	Falla de rodamientos
Plegadora sthall # 2 c.c: 501	Compresor de vacío	Falla de rodamientos
Cosedora de alambre c.c:204	Compresor de vacío	Contactador de potencia dañado
KBA 4	Ductor de tinta s unidad 3	Aislamiento bobinado deteriorado
XL 3	Soplador Radial Superior	Desbalanceo
XL 3	Soplador Radial Inferior	Falla de rodamientos
KBA 1	Ventilador # 5	Desbalanceo
Barnizadora Parcial	Bomba de vacío KTA 80	Acople roto
Cosedora de alambre c.c:223	Bomba de vacío KTA 100 #3	Soltura mecánica
Extractor mezanine KBA 2	Extractor	Desalineación de poleas
Extractor mezanine KBA 1	Extractor Resmilladora	Correas rotas y fallo de rodamientos
KBA 3	Ventilador # 5	Desbalanceo
Extractor mezanine KBA 2 (Retal)	Extractor	Desalineación de poleas
Máquina de sobres c.c: 237	Bomba VTLF 500 Superior	Daño de guarda motor (ausencia de una fase)
KBA 1	Bomba de lubricación U2	Bobinado quemado
KBA 3	Bomba de lubricación U1	Aislamiento bobinado deteriorado
Barnizadora Clarity	Bomba de vacío DVT 3.80	Cambio de rodamientos
Encuadernadora Corona	Extracto retal	Falla de rodamientos
Postquemador	Aspirador de aire	Desalineación de ejes
XL 3	Compresor de vacío	Desgaste de transmisión de engranajes por lubricación insuficiente
Troqueladora blummer	Unidad hidráulica	Bobinas en corto
XL 2	Bomba de lubricación	Falla de rodamientos
Extractor Nestro	Extractor	Fallo de variador de velocidad
Guillotina polar	Sistema hidráulico	Aceite Emulsionado
KBA 213	Unidad de engranajes	Engranajes desgastados por aceite emulsionado
Unidad de producción plegadizas	Transformador principal	Fuga de aceite de transformador
VP # 1	Ventilador de extracción	Bobinado quemado
KBA 3	Caja de transmisión de unidades	Desgaste de engranajes por falla de viscosidad del lubricante
Estampadora rogol	Unidad hidráulica	Daño de válvulas por contaminación de lubricante
Flexogallus	Bombas de agua	Desalineación de ejes

Fuente: elaboración propia, con base en la información obtenida del archivo Órdenes de trabajo y consulta al personal técnico.

En la Figura 18 se puede evidenciar un equipo con los rodamientos en mal estado, lo cual es uno de los modos de falla más comunes.

Figura 18. Daño de Rodamiento en Bomba de lubricación de la máquina KBA 215 # 3



Fuente: elaboración propia

Del análisis, se deduce que los componentes de los equipos que están sometidos a diferentes esfuerzos en un período de tiempo pueden fallar en cualquier instante, se pudo encontrar que algunos componentes han fallado de forma repentina y otros de forma progresiva y no se degradan conforme al tiempo; adicionalmente, se logró identificar que, siguiendo los protocolos establecidos por los fabricantes al realizar la sustitución cíclica de las partes, algunas fallaban antes de cambiarlas y en otras ocasiones se reemplazaban cuando aún tenían vida útil.

Por lo anterior, se llega a la conclusión que el patrón de fallas que afectan la

disponibilidad de la producción es de tipo aleatorio y gradual, no relacionado con la edad, lo cual hace que las tareas de sustitución y reparación cíclica propuestas por el mantenimiento preventivo, no sean las más efectivas además de no ser costo-eficientes, es por esto que la mejor forma de proteger los equipos es midiendo su condición y a los componentes que no sea posible medir con alguna técnica, se trabajaran mediante mantenimiento preventivo.

7.3.2 Identificación de equipos. Se procede a identificar los equipos críticos que conforman cada una de las máquinas, con base en los modos de falla más frecuentes, además, teniendo en cuenta que cada unidad de producción está constituida por una serie de máquinas del mismo modelo, se encontró similitud en cuanto a la cantidad y su desempeño.

Se reconocen sus características y condiciones operacionales como: velocidad, potencia y voltaje (Anexo B), con el fin de entender su funcionamiento y de esta forma seleccionar la técnica más adecuada para medir su condición y realizar su respectivo análisis y diagnóstico.

En el Cuadro 10 se describen los equipos críticos que componen las máquinas de las unidades productivas.

Cuadro 10. Equipos críticos

Unidades de producción	Equipos
KBA'S	Motores Eléctricos
	Reductores
	Bombas de lubricación
	Ventiladores
	Sopladores
	Bombas de agua
	Tableros eléctricos
	Unidades de engranajes
	Rodillos

Cuadro 10. (Continuación)

Unidades de producción	Equipos
XL'S	Motores eléctricos
	Turbinas
	Compresor de vacío
	Bombas de agua
	Extractores de calor
	Unidades de engranajes
	Tableros eléctricos
	Rodillos
Formas	Motores eléctricos
	Tableros eléctricos
	Reductores
	Bombas de agua
Kolbus	Motores eléctricos
	Compresor de vacío
	Unidades de engranajes
	Reductores
	Bombas de lubricación
	Tableros eléctricos
	Sistemas hidráulicos
CD'S	Motores eléctricos
	Turbinas
	Compresor de vacío
	Bombas de agua
	Extractores de calor
	Tableros eléctricos
	Rodillos
	Unidades de engranajes
Cosedoras de alambre	Motores eléctricos
	Transmisiones por acoples
	Compresor de vacío
	Tableros eléctricos
Terminados gráficos	Motores eléctricos
	Compresor de vacío
	Bombas de agua
	Unidades de engranajes
	Reductores
	Tableros eléctricos

Cuadro 10. (Continuación)

Unidades de producción	Equipos
Sobres	Motores eléctricos
	Compresor de vacío
	Sopladores
	Extractores de calor
	Rodillos
	Tableros eléctricos
Periféricos	Extractores de retal
	Compresores de aire comprimido
	Transformadores
	Subestaciones

Fuente: elaboración propia, con base en información extraída del Módulo de Mantenimiento SIIP

7.4 CUARTO OBJETIVO

7.4.1 Metodologías de ejecución. Con el fin de implementar el plan de CBM (Mantenimiento Basado en Condición), se postulan algunas metodologías de ejecución, que el director del Área de Mantenimiento y la Gerencia General deben considerar para garantizar el éxito del proyecto.

Dependiendo de los recursos, presupuesto y talento humano se establece el medio de ejecución del plan, que puede ser:

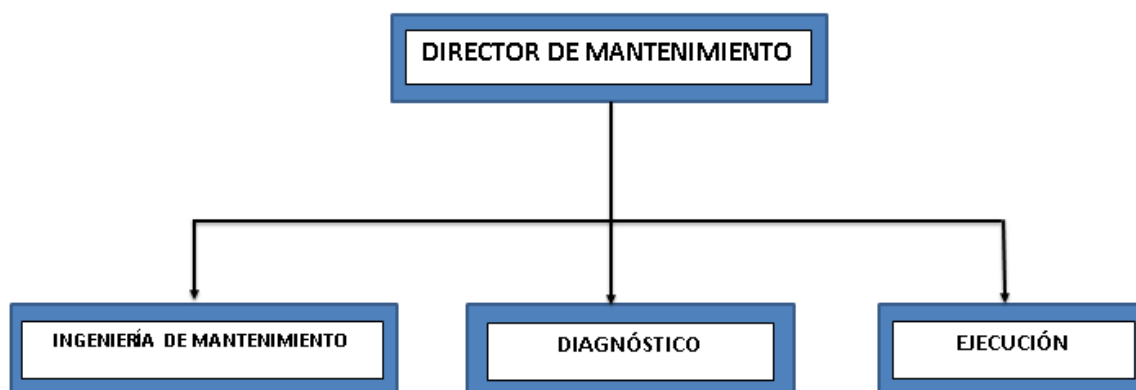
- **Interno:** El plan es manejado en su totalidad dentro de la empresa, adquiriendo los equipos de medición necesarios y capacitando al personal de mantenimiento, desarrollando el conocimiento o incorporando al personal que haga falta para efectuar las técnicas planteadas, además de la recolección, interpretación, análisis y diagnóstico de la información, adicionalmente generar reportes y recomendaciones.

- **Tercerizado:** Una empresa especializada en técnicas de mantenimiento basado en condición realiza las funciones del plan propuesto, desde efectuar las medidas correspondientes hasta ejecutar el análisis, los diagnósticos y reportes, dependiendo del caso a realizar, también las reparaciones.
- **Mixto:** El proyecto se ejecuta de forma combinada, algunos trabajos se realizan internamente y otros son subcontratados.

Adicional a lo descrito, se deben seleccionar las técnicas de medición más acordes al proceso, las cuales pueden ser de forma remota, local, o semipermanente con instrumentos en línea, en esta última, los instrumentos de medición son instalados en los equipos permanentemente generando información a cada instante de la condición, o fuera de línea, que hace referencia a los instrumentos de medición que se instalan a los equipos sólo para la toma de medidas y luego se desinstalan para hacer el análisis, y constatar que los equipos de medición poseen la precisión requerida para no tener errores en los datos obtenidos.

7.4.2 Organigrama CBM. Con la implementación de la nueva estrategia de mantenimiento basado en condición, se propone una nueva distribución (Figura 19) del organigrama del Área con respecto al utilizado actualmente.

Figura 19. Organigrama bajo la estrategia CBM



Fuente: elaboración propia, con base en Instituto Renovetec de Ingeniería del Mantenimiento [IRIM]. Especial mantenimiento basado en condición. En: IRIM Revista digital sobre mantenimiento editada para socios IRIM [base de datos en línea]. 2018. N° 10. pp. 8 (Recuperado en 16 agosto 2020). Disponible en: http://renovetec.com/irim/revista/REVISTA_IRIM_NUMERO10_%20MTO%20BASADO%20EN%20CONDICION.pdf

El organigrama original... Véase Figura 9... en el cual el Área se divide en personal mecánico y eléctrico no puede dar respuesta a los nuevos retos propuestos en la estrategia de mantenimiento basado en condición, de acuerdo con el IRIM⁶³, sin esta modificación, la implementación no dará resultados efectivos y óptimos.

Con base en el personal y los recursos con los que cuenta el Área de Mantenimiento se propone estructurar el organigrama en tres partes⁶⁴:

- **Ingeniería:** Este grupo se integra de personal con un alto conocimiento administrativo y técnico de los equipos con el fin de ser los responsables de

⁶³ Instituto Renovetec de Ingeniería del Mantenimiento [IRIM]. Especial mantenimiento basado en condición. En: IRIM Revista digital sobre mantenimiento editada para socios IRIM [base de datos en línea]. 2018. N° 10. Pp 9 (Recuperado en 16 agosto 2020). Disponible en: http://renovetec.com/irim/revista/REVISTA_IRIM_NUMERO10_%20MTO%20BASADO%20EN%20CONDICION.pdf

⁶⁴ *Ibíd.*

elaborar los planes de inspecciones, planificar actividades de mantenimiento, redactar los instructivos o especificaciones a que haya lugar, hacer acompañamiento en caso de problemas y emergencias técnicas, realizar investigación y análisis de modos de falla y controlar el sistema de información de mantenimiento.

- **Diagnóstico:** Este grupo se encargará de supervisar o llevar a cabo todas las actividades relacionadas con las técnicas CBM propuestas además de recopilar los datos para su respectivo análisis.
- **Ejecución:** Integrado por personal con altos conocimientos técnicos y gran capacidad de respuesta que estará encargado de ejecutar todas las tareas de mantenimiento resultantes del diagnóstico y planificadas por el grupo de ingeniería, adicional se encargarán de dar respuesta a las posibles órdenes correctivas que se generen.

Con el cambio en el organigrama se busca aumentar la disponibilidad de la planta y disminuir los costos, debido a que la estrategia de mantenimiento se basará en la inspección y detección de los problemas, además de un análisis exhaustivo de los modos de falla y no en una estrategia reactiva.

Esta nueva organización puede requerir de algún tipo de inversión como lo es la contratación de personal y la capacitación. Teniendo en cuenta la cantidad de colaboradores que hacen parte del Área, se pueden redistribuir las funciones de tal forma que se estudien las actitudes y capacidades de cada uno con el fin de facultarlos y asignarlos a la subárea donde mejor se puedan desempeñar⁶⁵.

El Director de Mantenimiento quien asume la gestión del Área, se debe responsabilizar de que la estrategia y los objetivos de disponibilidad,

⁶⁵ *Ibíd.*

confiabilidad y bajos costos de mantenimiento se alcancen de forma eficaz y eficiente, adicionalmente, es quien debe redistribuir los cargos con base al nuevo organigrama, asegurar que se cumplan las planificaciones y supervisar la ejecución de los roles tanto a nivel de ingeniería como a nivel técnico, también debe proveer al personal de herramientas necesarias para el éxito del plan.⁶⁶

7.4.3 Cultura del cambio. Debido a que estas nuevas estrategias y tecnologías tienden a cambiar la distribución de los cargos e introducir nuevos conceptos, es fundamental y necesario que todo el personal de Mantenimiento las conozca con el fin de generar confianza en el equipo y crear un grupo de trabajo con un firme objetivo, el cual sea capaz de realizar las metas propuestas con convicción y motivación a partir de los nuevos roles establecidos.

El paradigma a vencer es la resistencia al cambio que existe en todas las empresas, la creencia de que “siempre lo hemos hecho así y todo ha funcionado” debe ser eliminada demostrando no solo en el Área de Mantenimiento sino en el resto de la compañía que las cosas pueden hacerse mejor, hacerles ver la necesidad de avanzar al implementar estrategias más eficientes.

Una herramienta para dar a conocer al personal la nueva metodología de trabajo es organizar reuniones o difundir información con el fin de presentar de forma detallada la nueva estrategia que será implementada, es importante demostrar el objetivo del plan, evidenciando los problemas actuales de la compañía, a dónde se quiere llegar y cómo este cambio logrará beneficiar a todos para mejorar el desempeño, la eficiencia y reducir costos llegando a

⁶⁶ *Ibíd.*

consolidar una empresa con mejores índices de productividad llegando a mejorar el bienestar y clima laboral de los colaboradores.

7.4.4 Capacitación. Es importante que todo el personal del Área de Mantenimiento conozca detalladamente la estrategia que será implementada y para esto debe ser capacitada en los conceptos relacionados con el mantenimiento basado en condición, las técnicas que se aplicarán, las tareas resultantes, los efectos que generan y sus ventajas. Todo esto independiente del método de implementación que sea elegido (interno, tercerizado o mixto) el objetivo es que todos estén involucrados en el proceso para así realizarlo con el mayor compromiso y el mejor desempeño posible.

En el Cuadro 11, se propone un temario de capacitación con el contenido pertinente para contextualizar a los participantes y mejorar el desempeño frente a la implementación de la nueva estrategia de mantenimiento.

Cuadro 11. Temario de capacitación estrategia CBM

Contenido capacitación Mantenimiento Basado en Condición		
Objetivo General: Introducir los conceptos relacionados con el mantenimiento basado en condición a los integrantes del Área de Mantenimiento de la empresa Panamericana Formas e Impresos S.A.		
N°	Unidad	Contenido
1	Conceptos de mantenimiento	Definición y tipos de mantenimiento
		Mantenimiento Correctivo vs Mantenimiento CBM
		Tareas de los planes de mantenimiento
		Tecnología de diagnóstico
		Costo- Beneficio del CBM
2	Monitoreo basado en condición	Patrones de falla
		Intervalo P-F
		frecuencia de inspección
		Tareas basadas en condición

Cuadro 12. (Continuación)

Contenido capacitación Mantenimiento Basado en Condición		
Objetivo General: Introducir los conceptos relacionados con el mantenimiento basado en condición a los integrantes del Área de Mantenimiento de la empresa Panamericana Formas e Impresos S.A.		
N°	Unidad	Contenido
3	Comportamiento de fallas	Fallas a través del tiempo
		Causas de falla
		Intervalo de fallas
		Técnicas de inspección
		Frecuencia de tareas basadas en condición
4	Técnicas de monitoreo basado en condición	Inspección visual
		Análisis de vibraciones
		Termografía
		Análisis de aceites
		Análisis de calidad de energía
		Ultrasonido

Fuente: elaboración propia

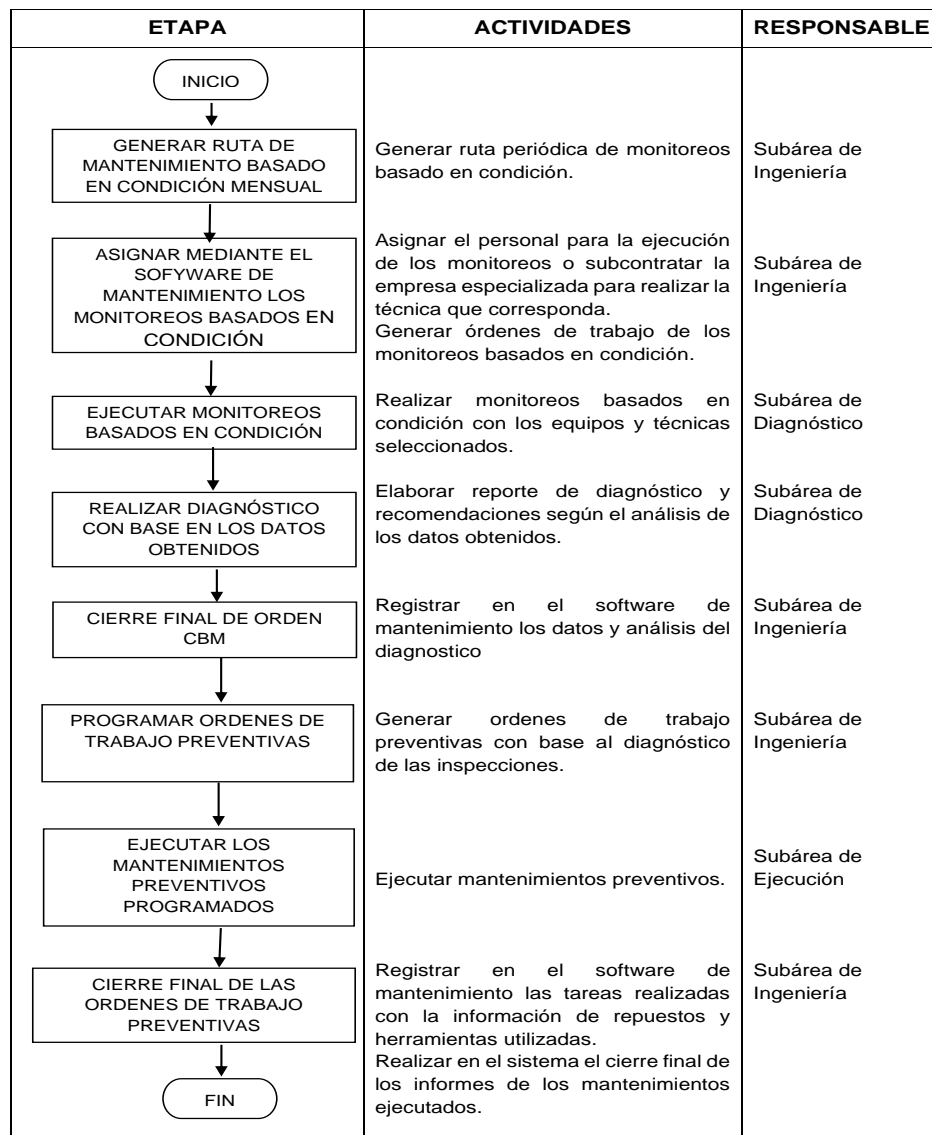
En el caso de que se tome la decisión de implementar la estrategia de mantenimiento basado en condición internamente o mixta, se debe capacitar al personal de forma más intensiva y técnica en temas relacionados con el conocimiento, aplicación y diagnóstico de los diferentes métodos de inspección seleccionados. Este proceso puede tomar bastante tiempo y además de la capacitación se debe invertir en los equipos de medición que cumplan con las especificaciones para realizar las diferentes técnicas establecidas.

Todos estos aspectos se deben tener en cuenta a la hora de tomar la decisión del método de implementación más beneficioso para la empresa.

7.4.5 Procedimiento del plan CBM. Para cumplir con la estrategia de mantenimiento basado en condición en la empresa Panamericana Formas e Impresos S.A. se elabora un diagrama de procesos donde se describen las actividades a realizar para el desarrollo del plan.

En la Figura 20 se presenta el diagrama con las actividades de mantenimiento basado en condición que se establece para que realice la empresa:

Figura 20. Diagrama con las actividades de mantenimiento basado en condición



Fuente: elaboración propia

7.4.6 Selección de técnicas basadas en condición. De acuerdo a las fallas analizadas de los equipos críticos, se establecieron los parámetros y variables físicas más relevantes a medir para establecer la técnica de medición adecuada a utilizar; por ejemplo, se aplicará el análisis de vibraciones a los equipos de tipo rotativo y la termografía a los tableros eléctricos y transformadores.

En el Cuadro 12 se relacionan las técnicas de inspección seleccionadas para cada tipo de equipo:

Cuadro 13. Técnicas de inspección para equipos

Técnica de inspección	Sistemas																
	Motores eléctricos	Reductores	Bombas	Ventiladores	Sopladores	Tableros eléctricos	Turbinas	Compresores de vacío	Extractores de calor	Unidades de engranaje	Sistemas hidráulicos	Transmisiones por acoples	Rodillos	Extractores de retal	Compresores aire comprimido	Transformadores	Subestaciones
Inspección visual	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Análisis de vibraciones	X	X	X	X	X		X	X	X	X		X	X	X	X		
Termografía	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X			X	X	X	X
Análisis de aceites										X	X				X	X	
Análisis de calidad de energía						X											X

Fuente: elaboración propia

7.4.7 Frecuencia de medición. Se asignó la frecuencia de inspección de los equipos según el análisis de criticidad realizado, con la intención de monitorear con más intensidad los equipos que generan mayor impacto en el TTR (Tiempo Medio de Reparación) y los costos de mantenimiento.

En el Cuadro 13 se establece la frecuencia de monitoreo de condición en los equipos críticos con sus respectivas técnicas, también se asigna un número que corresponde a la periodicidad en meses para la toma y análisis de datos y un color para cada técnica.

Cuadro 14. Matriz de frecuencia CBM

Unidades de producción	Equipos	Análisis de vibraciones	Termografía	Análisis de aceites	Análisis de calidad de energía
KBA'S	Motores eléctricos	1	1		
	Reductores	1	1		
	Bombas de lubricación	1	1		
	Ventiladores	1	1		
	Sopladores	1	1		
	Bombas de agua	1	1		
	Tableros eléctricos	1	1		12
	Unidades de engranajes	1	1	6	
	Rodillos	1			
XL'S	Motores eléctricos	1	1		
	Turbinas	1	1		

Cuadro 13. (Continuación)

Unidades de producción	Equipos	Análisis de vibraciones	Termografía	Análisis de aceites	Análisis de calidad de energía
	Compresor de vacío	1	1		
	Bombas de agua	1	1		
	Extractores de calor	1	1		
	Unidades de engranajes	1	1	6	
	Tableros eléctricos		1		12
	Rodillos	1			
Formas	Motores eléctricos	1	1		
	Tableros eléctricos		1		12
	Reductores	1	1		
	Bombas de agua	1	1		
Kolbus	Motores eléctricos	1	1		
	Compresor de vacío	1	1		
	Unidades de engranajes	1	1	6	
	Reductores	1			
	Bombas de lubricación	1			
	Tableros eléctricos		1		12
	Sistemas hidráulicos		1	6	
CD'S	Motores eléctricos	1	1		
	Turbinas	1	1		
	Compresor de vacío	1	1		
	Bombas de agua	1	1		
	Extractores de calor	1	1		

Cuadro 13. (Continuación)

Unidades de producción	Equipos	Análisis de vibraciones	Termografía	Análisis de aceites	Análisis de calidad de energía
	Tableros eléctricos		1		12
	Rodillos	1			
	Unidades de engranajes	1	1	6	
Cosedoras de alambre	Motores eléctricos	1	1		
	Transmisiones por acoples	1			
	Compresor de vacío	1	1		
	Tableros eléctricos		1		12
Terminados gráficos	Motores eléctricos	1	1		
	Compresor de vacío	1	1		
	Bombas de agua	1	1		
	Unidades de engranajes	1	1	6	
	Reductores	1	1		
	Tableros eléctricos		1		12
Sobres	Motores eléctricos	1	1		
	Compresor de vacío	1	1		
	Sopladores	1	1		
	Extractores de calor	1	1		
	Rodillos	1			
	Tableros eléctricos		1		12
Periféricos	Extractores de retal	1	1		
	Compresores de aire comprimido	3	3	6	
	Transformadores		1	12	
	Subestaciones		1		12

Fuente: elaboración propia

La frecuencia de medición puede cambiar según las tendencias de los datos y el análisis de su funcionamiento operacional, de tal modo, un equipo al cual se le observe una falla potencial o degradación de sus componentes será medido con mayor frecuencia y otro equipo que no presente cambios de tendencia con relación al tiempo se le podrá ampliar la frecuencia de inspección.

7.4.8 Criterios de alarma. Se instalan las pautas de los valores resultantes que definen los límites que se pueden establecer como alarmas con el objetivo de indicar la posible ocurrencia de una falla; de igual manera, se recomienda definir la condición inicial del equipo (de fábrica o después de una reparación) para establecer una medición de referencia.

A partir de lo expuesto, se resalta la importancia de establecer los diferentes niveles de alarma para cada tipo de componente, lo cual permite visualizar el estado de salud de los equipos con el fin de hacer un análisis más eficaz y tener un mapa general de cómo se encuentran los sistemas.

Con base en los criterios de aceptación de las diferentes variables a medir, establecidos por los fabricantes o normas específicas de las técnicas que serán utilizadas, a continuación, se presentan las normas técnicas de referencia más relevantes:

Norma Técnica Colombiana [NTC] 2596: 2009

Esta norma especifica los procedimientos de ensayo de aceptación y límites de vibración de algunas máquinas bajo condiciones especificadas cuando estén desacopladas o con cargas.⁶⁷

⁶⁷ INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN [ICONTEC]. Máquinas eléctricas rotatorias. Vibraciones mecánicas de ciertas máquinas con alturas de eje de 56 mm y superiores. Medición, evaluación y límites de intensidad de vibración. NTC 2596:2009. 3 ed. Bogotá D.C.: El Instituto, 2009, 1 p.

International Organization for Standardization [ISO] 14694: 2003 / Actualización 1:2010

Esta, especifica los procedimientos para la toma de medidas, valores y límites de aceptación de vibración en equipos de ventilación.⁶⁸

ISO 10816-3:2009 / Actualización 1:2017

Norma internacional que describe los requerimientos generales para evaluar la vibración de diferentes tipos de máquinas. Esta norma provee una guía de las medidas límites de vibración para penalizar los equipos.⁶⁹

ISO 21940-11:2016

Es la norma estándar internacional que normaliza los procedimientos y valores de balanceo o equilibrio en máquinas, específicamente en rotores con comportamiento rígido.⁷⁰

ISO 18434-2: 2019

Monitoreo de condición y diagnóstico termográfico de sistemas de máquinas, interpretación de imágenes y diagnóstico.⁷¹

7.4.9 Análisis de la información. Después de consignar las técnicas apropiadas para cada componente y las frecuencias de medición respectivas (Tabla matriz), se procederá a realizar las diferentes medidas de condición asignadas con el propósito de establecer el estado general de los equipos y

⁶⁸ INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION [ISO]. Industrial fans – Specifications for balance quality and vibration levels — Amendment 1. ISO 14694:2003 /AMD 1:2010. 1 ed. Geneva, Switzerland: ISO, 2010.

⁶⁹ INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION [ISO]. Mechanical vibration — Evaluation of machine vibration by measurements on non-rotating parts — Part 3: Industrial machines with nominal power above 15 kW and nominal speeds between 120 r/min and 15 000 r/min when measured in situ — Amendment 1. ISO 10816-3:2009 /AMD 1:2017. 2 ed. Geneva, Switzerland: ISO, 2017.

⁷⁰ INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION [ISO]. Mechanical vibration — Rotor balancing — Part 11: Procedures and tolerances for rotors with rigid behavior. ISO 21940-11:2016. 1 ed. Geneva, Switzerland: ISO, 2016, Scope, paragraph 1.

⁷¹ INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION [ISO]. Condition monitoring and diagnostics of machine systems — Thermography — Part 2: Image interpretation and diagnostics. ISO 18434-2:2019. 1 ed. Geneva, Switzerland: ISO, 2019.

poder registrar y hacer seguimiento a sus tendencias.

Si los valores medidos son aceptables en comparación con los criterios de alerta /alarma, el equipo seguirá su ruta y periodicidad de análisis hasta que su tendencia de condición cambie, pero si los valores medidos no son aceptables debe hacerse un diagnóstico de la condición y estudiar el historial del equipo, en algunas ocasiones, si es necesario, se acude a otra técnica de condición con el fin de dar un diagnóstico fiable.

Después de encontrar un peligro de falla funcional o potencial se debe entregar un reporte a la subárea de ingeniería donde se explicará: la condición del equipo, la posible falla y las correcciones pertinentes del caso, con el fin de que sea programado para su reparación lo más pronto posible. Según la decisión de la compañía en cuanto al método de implementación del plan, si es interno, el encargado de la gestión del mantenimiento basado en condición tendrá que diseñar el formato del reporte, si es externo el contratista debe contemplarlo como entregable del trabajo.

Es importante para el éxito del plan contar con un software de mantenimiento adecuado y especializado ya que se va a encontrar una gran cantidad de información que se debe manejar para analizarla y optimizar la estrategia.

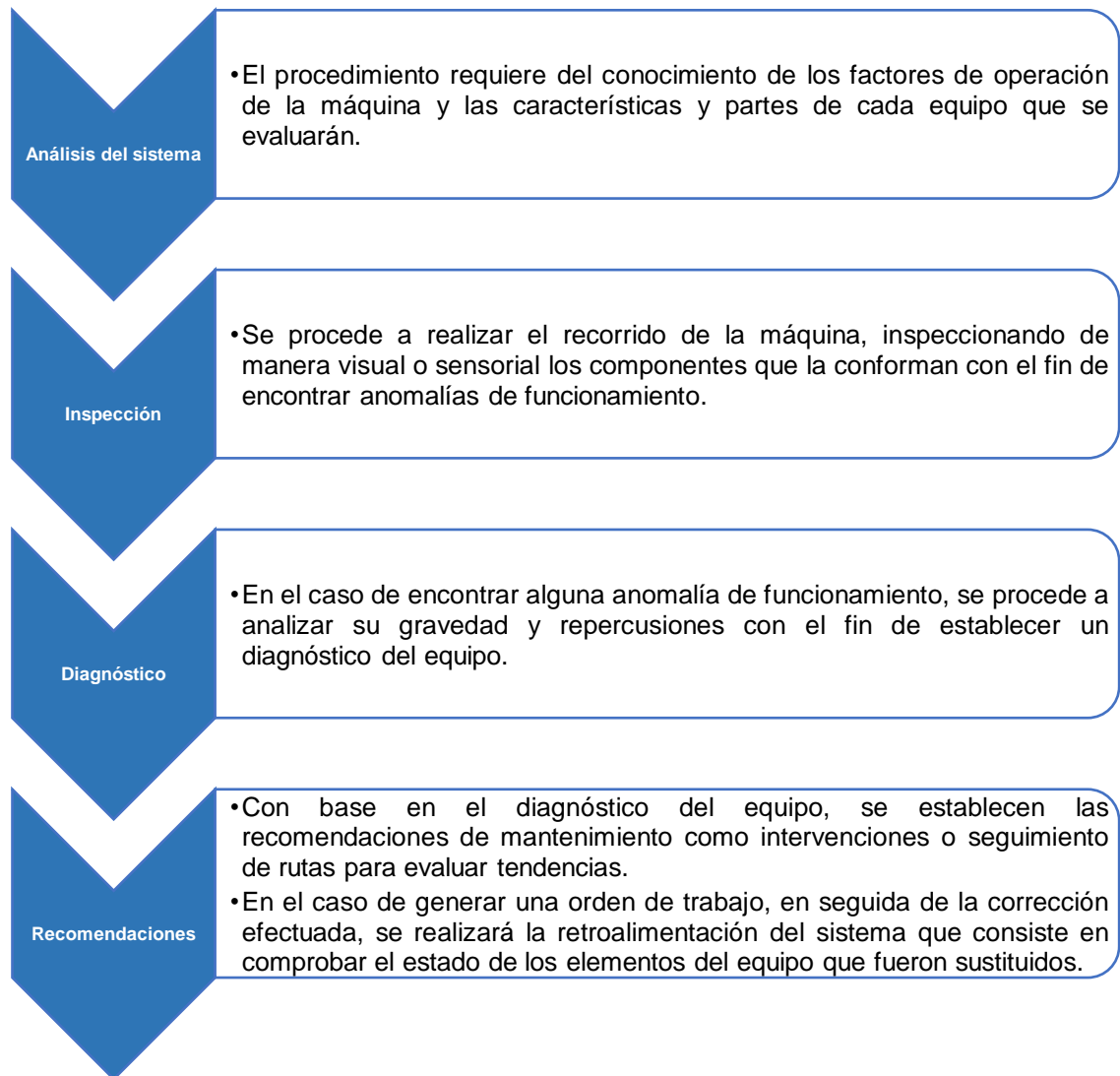
Es necesario consignar todos los datos resultantes de las inspecciones y las reparaciones en el software una vez se cierran las órdenes de trabajo, esto nos facilitará analizar las causas de las averías y tendencias de condición, pasar de manejar información en papel que, en muchas ocasiones, se puede perder o archivar a obtenerlos de forma inmediata, disponer de un historial de fallas y reparaciones facilitando la programación de las tareas, adicional es posible registrar datos como costos de mantenimiento, tiempos de reparación o improductivos con el fin de realizar indicadores para evaluar la gestión de la estrategia.

El software permite tener control de la documentación de manera más rápida como lo son manuales, planos o repuestos, esto permite hacer una buena gestión de almacén y compras de repuestos.

7.4.10 Procedimientos para la aplicación de las técnicas CBM

7.4.10.1 Inspección visual y sensorial. Este tipo de inspección consiste en observar los equipos y determinar la anormalidad en su funcionamiento. Las inspecciones sensoriales usan como herramienta los sentidos (ver, oler, tocar, escuchar) con el fin de diagnosticar la condición de un componente, se pueden evaluar aspectos como lo son ruidos anormales, vibraciones anormales, identificación de corrosión o deterioros, falta de partes, elementos flojos o caídos y fugas de líquidos. Todos los equipos críticos seleccionados serán inspeccionados de forma visual y sensorial con el fin de encontrar los problemas en su etapa inicial.

Figura 21. Procedimiento para la técnica de inspección visual

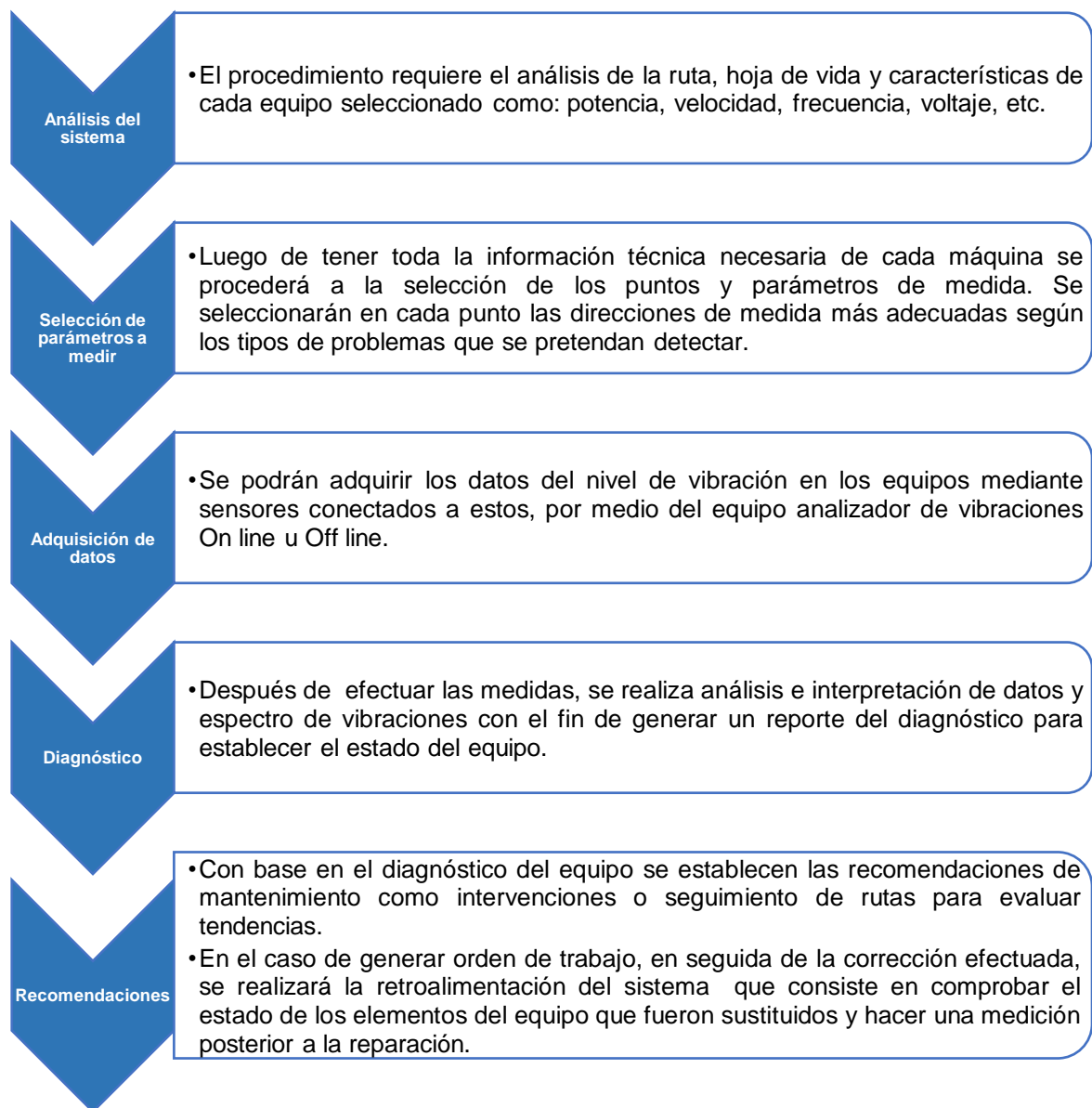


Fuente: Elaboración propia

7.4.10.2 Análisis de vibraciones. La técnica consiste en supervisar las máquinas de tipo rotativo seleccionados como lo son motores, bombas, reductores, ventiladores, sopladores, compresores, turbinas, extractores, engranajes, transmisiones y rodillos con el fin de diagnosticar con precisión problemas de desbalanceo, desalineación, holguras, rodamientos, ejes, poleas y en ocasiones fallos eléctricos.

A continuación, se establecen las actividades que comprenden el procedimiento para el análisis de vibraciones.

Figura 22. Procedimiento para el análisis de vibraciones



Fuente: elaboración propia

Con base en el estudio de las normas aplicadas a las técnicas de monitoreo de vibraciones y las características de los equipos seleccionados (potencia,

velocidad, voltaje (Anexo B)) en la Tabla 6 se establecen los valores y límites de aceptación para realizar con mayor facilidad el respectivo análisis y diagnóstico.

Tabla 6. Valores de aceptación de los equipos críticos bajo la técnica de análisis de vibraciones

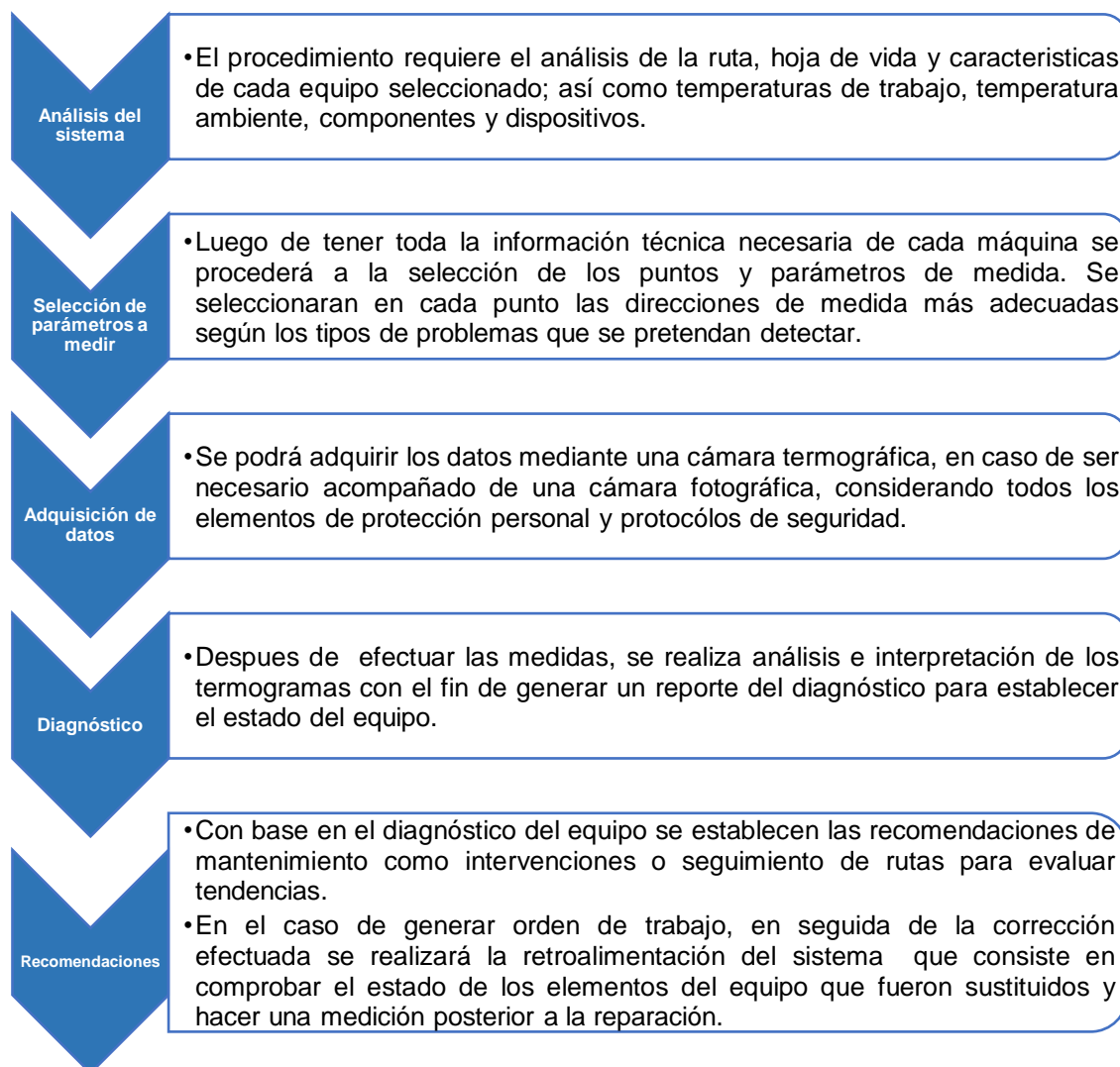
Valores de aceptación de los equipos críticos bajo la técnica de análisis de vibraciones						
Equipo	Velocidad mm/s			Aceleración m/s ²		
	Adecuada operación	Aceptable operación	Inadecuada operación	Adecuada operación	Aceptable operación	Inadecuada operación
Motores eléctricos	0.71 - 4.5	4.5 - 7.1	> 7.1	0.1 - 5	5 - 10	> 10
Ventiladores	0.71 - 6.3	6.3 - 11.8	> 11.8	0.1 - 5	5 - 10	> 10
Sopladores	0.71 - 7	7 - 11	> 11.1	0.1 - 5	5 - 10	> 10
Extractores	0.71 - 6.3	6.3 - 11.8	> 11.8	0.1 - 10	10 - 20	> 20
Unidades Compresoras	0.71 - 4.5	4.5 - 7.1	> 7.1	0.1 - 5	5 - 10	> 10
Bombas	0.71 - 4.5	4.5 - 7.1	> 7.1	0.1 - 5	5 - 10	> 10
Rodillos	0.71 - 4.5	4.5 - 7.1	> 7.1	0.1 - 5	5 - 10	> 10
Turbinas	0.71 - 7	7 - 11	> 11.1	0.1 - 5	5 - 10	> 10

Fuente: elaboración propia, con base en la norma ISO 10816-3:2009

7.4.10.3 Termografía. La técnica consiste en la monitorización termográfica con el fin de localizar y evaluar defectos de puntos calientes en equipos de tipo eléctrico, mecánico y de procesos térmicos. Los equipos seleccionados a los cuales se les aplica esta técnica son: motores, bombas, reductores, ventiladores, sopladores, compresores, turbinas, extractores, unidades hidráulicas, tableros eléctricos, subestaciones y transformadores.

En la Figura 23, se establecen las actividades que comprenden el procedimiento para el monitoreo basado en termografía.

Figura 23. Procedimiento para el monitoreo basado en termografía



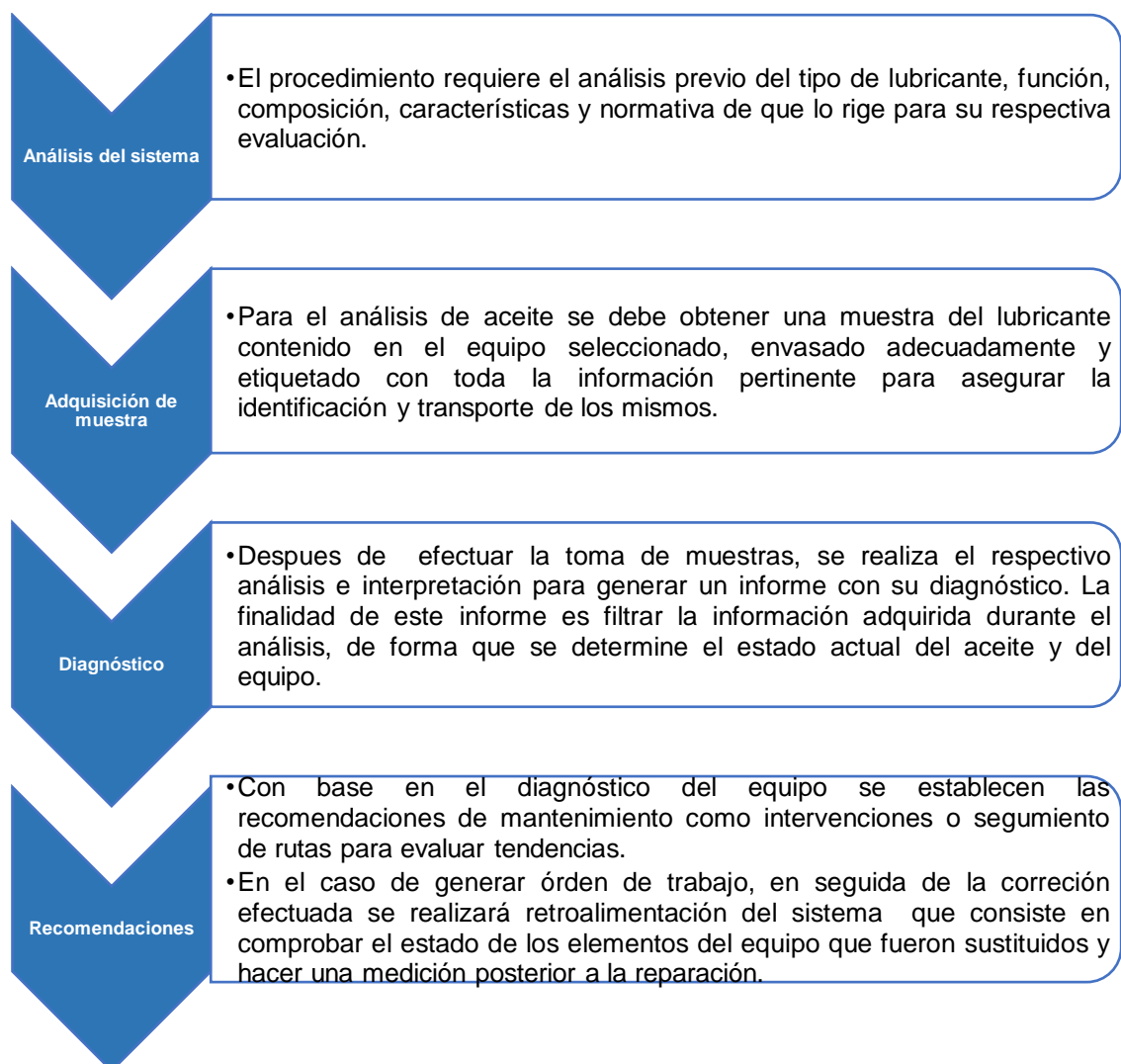
Fuente: elaboración propia

7.4.10.4 Análisis de aceites. Mediante el análisis de aceites se establece la condición del aceite de equipos como lo son transformadores, compresores, unidades de sistemas hidráulicas y sistemas de transmisión por engranajes, mediante análisis de laboratorio que permiten analizar problemas de pérdida de viscosidad, aceite emulsionado, contaminación y humedad con el fin de prevenir fallas inesperadas y extender la vida útil de los lubricantes.

Para la implementación de esta técnica se define que el proveedor que suministra los diferentes lubricantes para los transformadores, compresores y unidades hidráulicas sea el encargado de tomar las muestras y realizar los respectivos análisis.

En la Figura 24, se establecen las actividades que comprenden el procedimiento para el análisis de aceites.

Figura 24. Procedimiento para el análisis de aceites

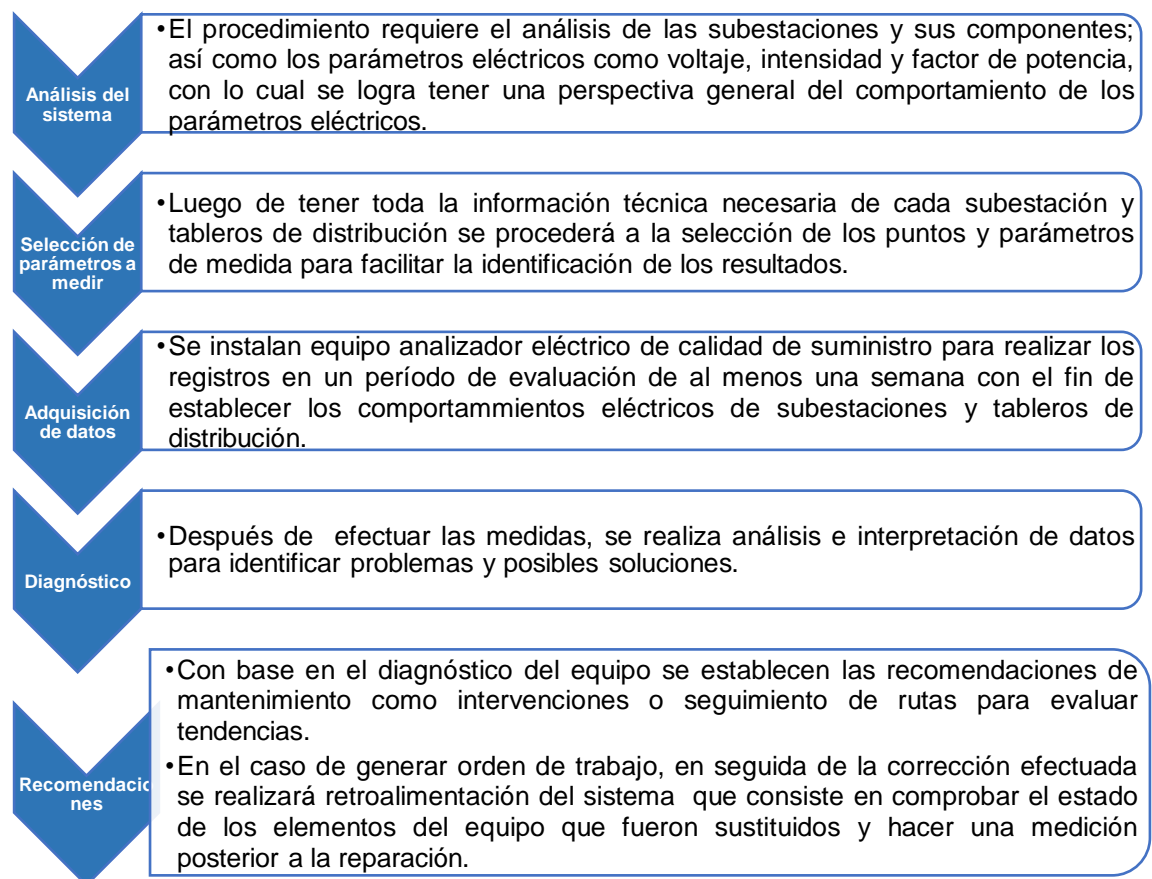


Fuente: elaboración propia

7.4.10.5 Análisis de calidad de energía. El análisis de calidad de energía se realiza en subestaciones y tableros de distribución eléctrica y consiste en la medición y el análisis de la calidad de energía de estos equipos con el fin de evaluar los parámetros eléctricos de operación, niveles de armónicos, variaciones en la frecuencia y desbalances de tensión y corriente con el fin de detectar la presencia de fallas además identificar el comportamiento del sistema eléctrico ante variaciones de carga del sistema de alimentación y funcionamiento de protecciones.

En la Figura 25, se establecen las actividades que comprenden el procedimiento para el análisis de calidad de energía.

Figura 25. Procedimiento para el análisis de calidad de energía



Fuente: elaboración propia

7.4.11 Indicadores propuestos para medir el plan. Cuando se realice la implementación, se deben tener en cuenta algunos indicadores de gestión⁷² adicionales a los que se tienen actualmente...Véase el numeral XX..., los cuales permitan evaluar y analizar de forma técnica y financiera la efectividad de la estrategia del mantenimiento planteado.

De acuerdo con García⁷³, los indicadores sugeridos para valorar el modelo de mantenimiento basado en condición son los siguientes:

- INDICADOR DE DISPONIBILIDAD

$$\text{Disponibilidad} = \frac{\text{Horas Totales} - \text{Horas de parada de equipo por mantenimiento}}{\text{Horas Totales}}$$

- INDICADOR MTBF (Mid Time Between Failure, tiempo medio entre fallos)

$$\text{MTBF} = \frac{\text{N}^\circ \text{ de Horas totales del período analizado}}{\text{No. de averías}}$$

- INDICADOR MTTR (Mid Time To Repair, tiempo medio de reparación)

$$\text{MTTR} = \frac{\text{N}^\circ \text{ de horas de paro por avería}}{\text{N}^\circ \text{ de averías}}$$

⁷² GARCÍA GARRIDO, Santiago. En: RENOVETEC. [Sitio web]. Madrid: Renovetec. Indicadores en mantenimiento, Índices de Disponibilidad. [Consultado: 7 agosto 2020]. Disponible en: <http://www.renovetec.com/590-mantenimiento-industrial/110-mantenimiento-industrial/300-indicadores-en-mantenimiento>

⁷³ Ibíd.

- COSTO DE LA MANO DE OBRA DE MANTENIMIENTO

$$\text{Costo de hora media} = \frac{N^{\circ} \text{ de horas de mantenimiento}}{\text{Costo total de la mano de obra de mantenimiento}}$$

7.4.12 Logros esperados. A partir de la formulación de este plan, se espera una futura implementación la cual mejore la disponibilidad de las unidades de producción, debido a la detección temprana y el control de los modos de falla más habituales, con las técnicas de mantenimiento basado en condición propuestas, a fin de aumentar la confiabilidad disminuyendo la cantidad de órdenes correctivas.

Con la implementación del plan se espera reducir las pérdidas de producción que causan deficiencias en la calidad del producto, el déficit en el tiempo de entrega, el desperdicio de insumos como lo son, el papel y la tinta, entre otros, además, disminuir los índices de tiempos improductivos de la planta.

Se espera con base en el plan, disminuir los costos generados por mantenimiento al reducir el número de órdenes de trabajo correctivas que causan tiempos improductivos, adicional, disminuir los costos de reparación y mano de obra al tener una estrategia de mantenimiento planificada que se sustenta en el control de los equipos mediante el monitoreo de su condición en vez de ejecutar mantenimientos cíclicos que nos son costo - efectivos.

8. CONCLUSIONES

- El Área de Mantenimiento está conformado por 24 personas, que de acuerdo a su organigrama se encuentran divididos en las especialidades de Electricidad, Mecánica y Electromecánica, encargados de llevar a cabo los mantenimientos preventivos y correctivos de la empresa.
- El indicador más sensible del área de Mantenimiento y que demanda acciones de base que permitan mostrar resultados favorables de su gestión, es el de tiempos improductivos de planta generados por mantenimientos no programados, actualmente es del 22% y se considera alto para los estándares establecidos por la Gerencia, elevando los buenos resultados de este indicador también se mitigará el impacto negativo en los indicadores de costo de obra de mano y cumplimiento de órdenes de trabajo.
- Aplicando la metodología de análisis de criticidad junto con los diagramas de Pareto se logró identificar las unidades de negocio que al fallar generan el 80% de los problemas en la compañía, debido a su alto impacto en la producción, tiempos de reparación y costos de mantenimiento son: KBAS, Formas, Kolbus, CDS, Cosedoras alambre, Terminados gráficos, XLS, Digital y Sobres.
- La definición de la matriz de criticidad permitió establecer las siguientes máquinas con sus respectivos equipos para ser objeto de la estrategia CBM Motores eléctricos, Transformadores, Bombas, Compresores, Ventiladores, Turbinas y Extractores. Los equipos de las unidades de negocio con nivel de criticidad media o baja se intervendrán con mantenimiento preventivo o eventualmente repararlos cuando fallen.

- Con el análisis de modos de falla se puede evidenciar que la mayoría de problemas se presentan en los equipos de tipo rotativo y de forma aleatoria, como falla de rodamientos, desbalanceo, desalineaciones, problemas de tipo eléctrico, ejes doblados, pérdida de propiedades de aceite.
- El análisis de los equipos críticos y sus características proporcionan los fundamentos para asignar como técnicas de inspección adecuadas y suficientes, el Análisis de Vibraciones, Termografía, Análisis de Aceites, Análisis de calidad de energía y la inspección visual con frecuencias mensuales, trimestrales, semestrales y anuales, siendo lo anterior la base para la ejecución de la estrategia CBM planteada.
- Con la problemática actual de pérdida de datos fundamentales, por manejo de registros en papel, se debe evolucionar a la adquisición de un software especializado de mantenimiento que permita la digitalización, fácil acceso y análisis de la información, adicional a esto el software consolidará de manera organizada archivos como planos, manuales, inventario de repuestos e historial de averías, reparaciones, programaciones e indicadores lo cual es fundamental para mejorar la gestión del Área de mantenimiento.
- Para poder consolidar la estrategia CBM de tal forma que la Planeación, Diagnóstico y Ejecución que garanticen una buena gestión del plan, se debe llevar a cabo un cambio cultural y estructural en el Área de Mantenimiento, acompañado de un programa de capacitación al personal que asegure su cumplimiento.

9. RECOMENDACIONES

- Complementar la estrategia CBM Implementando técnicas y herramientas de mantenimiento de precisión como lo son: alineación, balanceo, lubricación efectiva, torquímetros, instrumentos de tensión, galgas, etc. generando estándares eficientes de instalación con el fin de mejorar la confiabilidad de los equipos y reducir costos de mantenimiento al aumentar la vida útil de los equipos y su tiempo medio entre fallas (MTBF).
- Implementar herramientas de confiabilidad y técnicas proactivas de mantenimiento como lo es el Análisis de modos y efectos de falla (AMEF) con el fin de localizar con toda precisión las causas específicas de cada falla para evitar que vuelvan a ocurrir proporcionando un beneficio de costo que aumenta la eficacia del mantenimiento y aumentan la vida útil de los equipos.
- Debido a que en la actualidad el mantenimiento es en su mayor parte es correctivo y nunca se han analizado las causas de las fallas es recomendable usar los Análisis de Causa Raíz (RCA) el cual será una herramienta clave para complementar la estrategia CBM con la cual podremos encontrar el origen de las fallas recurrentes de los equipos como lo pueden ser deficiencias de componentes, ineficiencia en las instalaciones, reparaciones o diseño. RCA proporciona una fuente de información para identificar y corregir diferentes falencias de la gestión del mantenimiento.

BIBLIOGRAFÍA

ALBARRACÍN AGUILÓN, Pedro. Mantenimiento Predictivo: Análisis de Aceites. Universidad Industrial de Santander. Posgrado en Gerencia de Mantenimiento. Cartagena, 2007. Citado por: RUIZ. Op. cit., p 55.

AMENDOLA, Luis. Modelos mixtos en la gestión del mantenimiento. En: Mantenimiento. [Base de datos en línea]. 2002, (160), pp. 26-31 (Recuperado en 26 julio 2020). Disponible en: <https://docs.google.com/viewerng/viewer?url=https://www.virtualpro.co/download/modelos-mixtos-en-la-gestion-del-mantenimiento.pdf>

American Technical Publishers, Inc., Fluke Corporation y The Snell Group. Introducción a los principios de la termografía. [En línea]. Países Bajos: Fluke, 2009. p. 1. [Citado el: 25 de agosto de 2020]. ISBN 978-0-8269-1535-1. Disponible en: <https://content.fluke.com/USB-online/eses/booklet.pdf>.

BLANCO, Víctor. Más allá de la curva P-F. [En línea] (Recuperado en 15 julio 2020). Disponible en: <https://predictiva21.com/curva-p-f-mantenimiento-proactivo/>

BRUNNER, G. Stephen, *et al.* The role of FMEA in identifying CBM+ opportunities. En: Annual Reliability and Maintainability Symposium (RAMS) (2016: Tucson AZ). [En línea]. IEEE, 2016. p. 1. (Recuperado en 20 agosto 2020). Disponible en: <https://bibliotecavirtual.uis.edu.co:2272/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=7448020>. 20. pp. 1-5, doi: 10.1109/RAMS.2016.7448020.

BRUNNER, G. Stephen, *et al.* The role of FMEA in identifying CBM+ opportunities. En: Annual Reliability and Maintainability Symposium (RAMS) (2016: Tucson AZ). [En línea]. IEEE, 2016. p. 2. (Recuperado en 20 agosto 2020). Disponible en: <https://bibliotecavirtual.uis.edu.co:2272/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=7448020>. pp. 1-5, doi: 10.1109/RAMS.2016.7448020.

----- y DOWDELL, Charles. CBM: una herramienta para aumentar la confiabilidad y disminuir el LCC. CBM: A Tool For Increasing Reliability & Decreasing LCC. En: Annual Reliability and Maintainability Symposium (RAMS) (2019: Orlando, FL, USA). [En línea]. IEEE: 2019. p. 1 (Recuperado en 20 agosto 2020). Disponible en: <https://bibliotecavirtual.uis.edu.co:2272/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=8768988&tag=1>. pp. 1-4, doi: 10.1109/RAMS.2019.8768988.

BUTCHER, S. W. Assessment of Condition-Based Maintenance in the Department of Defense. [En línea]. Logistics Management Institute, USA, McLean, VA. 2000. p. 6. Disponible en: http://www.acq.osd.mil/log/logistics_materiel_readiness/organizations/mppr/assets/senior_steering/condition/LMI%20CBM%20Report.pdf. Citado por: BENGTTSSON, Marcus. Sistemas de mantenimiento basados en condiciones - una investigación de componentes técnicos y aspectos organizativos. Condition based maintenance systems: an investigation of technical constituents and organizational aspects. [En línea]. Västerås (Suecia): Mälardalen University. Department of Innovation, Design, and Product Development, 2004. p. 17. (Recuperado en 20 agosto 2020). ISSN number: 1651-9256. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/228974772_Condition_Based_Maintenance_Systems-An_investigation_of_technical_constituents_and_organizational_aspects

DAQUINTA-GRADAILLE, Antonio, *et al.* Metodología de Análisis de criticidad integral de las cosechadoras de caña de azúcar CASE IH. En: Revista Ingeniería Agrícola. [Base de datos en línea]. 2018, vol. 8. p. 56 (Recuperado en 24 julio 2020). Disponible en: <https://revistas.unah.edu.cu/index.php/IAgric/article/view/938/1315>

DÍAZ CONCEPCIÓN, Armando, *et al.* Implementación del Mantenimiento Centrado en la confiabilidad en empresas de trasmisión eléctrica. En: Ingeniería Mecánica. [Base de datos en línea]. 2016, vol. 19, nro. 3, p. 138 (Recuperado en 25 julio 2020). ISSN 1815-5944. Disponible en: <http://scielo.sld.cu/pdf/im/v19n3/im03316.pdf>

DIAZ-BRAVO, Laura, *et al.* La entrevista, recurso flexible y dinámico. En: Investigación en educación médica. [Base de datos en línea]. 2013, vol. 2. pp. 162-167 (Recuperado en 7 agosto 2020). Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-50572013000300009&lng=es&nrm

GARCÍA GARRIDO, Santiago. Especial mantenimiento basado en condición. En: IRIM Revista digital sobre mantenimiento editada para socios IRIM [base de datos en línea]. 2018. N° 10. Pp 3,6 (Recuperado en 28 julio 2020). Disponible en: http://renovetec.com/irim/revista/REVISTA_IRIM_NUMERO10_%20MTO%20BASADO%20EN%20CONDICION.pdf

------. En: Renovetec. [Sitio web]. Madrid: Renovetec. Indicadores en mantenimiento, Índices de Disponibilidad. [Consultado: 7 agosto 2020]. Disponible en: <http://www.renovetec.com/590-mantenimiento-industrial/110-mantenimiento-industrial/300-indicadores-en-mantenimiento>

GARCÍA GARRIDO, Santiago. Inspecciones Boroscópicas en Aerogeneradores. En: Dinamo Técnica: Revista Gallega de Energía. [Base de datos en línea]. 2017, N°. 21. pp. 29 (Recuperado en 20 agosto 2020). Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6199357>. ISSN 1575-9989

------. Mantenimiento basado en condición y el diagnóstico [video]. 2018. Disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=HOOQQK4zkZM&feature=youtu.be> Revisar referencia bibliográfica.

GOOGLE. Panamericana Formas e Impresos. En: Google Maps. 2020. [En línea]. Recuperado en 2020-08-04. Disponible en: <https://9di.es/y5mo22fa>

GUTIÉRREZ PULIDO, Humberto y DE LA VARA SALAZAR, Román. Análisis de modo y efecto de las fallas (AMEF). En: Control Estadístico de Calidad y Seis Sigma. [En línea]. 2 ed. México: Mc Graw-Hill/Interamericana Editores, S.A. de C.V., 2009. p. 408. ISBN: 978-970-10-6912-7. [Consultado: 20 de agosto de 2020]. Disponible en: <https://www.uv.mx/personal/ermeneses/files/2018/05/6-control-estadistico-de-la-calidad-y-seis-sigma-gutierrez-2da.pdf>

HERNÁNDEZ, Roberto, *et al.* Metodología de la investigación. 6 ed. México D.F.: McGraw-Hill / Interamericana Editores, S.A. de C.V., 2014. p. 536.

HUERTA - MENDOZA, R. El análisis de criticidad, una metodología para mejorar la confiabilidad operacional. En: Ingeniería Mecánica. [Base de datos en línea]. 2000, vol. 4. p. 13 (Recuperado en 24 julio 2020). Disponible en:

<http://www.ingenieriamecanica.cujae.edu.cu/index.php/revistaim/article/view/364/704>

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN [ICONTEC]. Máquinas eléctricas rotatorias. Vibraciones mecánicas de ciertas máquinas con alturas de eje de 56 mm y superiores. Medición, evaluación y límites de intensidad de vibración. NTC 2596:2009. 3 ed. Bogotá D.C.: El Instituto, 2009, 1 p.

Instituto Renovetec de Ingeniería del Mantenimiento [IRIM]. Especial mantenimiento basado en condición. En: IRIM Revista digital sobre mantenimiento editada para socios IRIM. [Base de datos en línea]. 2018. N° 10. p. 8 (Recuperado en 16 agosto 2020). Disponible en: http://renovetec.com/irim/revista/REVISTA_IRIM_NUMERO10_%20MTO%20BASADO%20EN%20CONDICION.pdf

-----, -----, En: IRIM Revista digital sobre mantenimiento editada para socios IRIM [base de datos en línea]. 2018. N° 10. p. 9 (Recuperado en 16 agosto 2020). Disponible en: http://renovetec.com/irim/revista/REVISTA_IRIM_NUMERO10_%20MTO%20BASADO%20EN%20CONDICION.pdf

-----, Técnicas de mantenimiento predictivo. [En línea] (Recuperado en 20 agosto 2020). Disponible en: <http://www.renovetec.com/irim/131-tecnicas-de-mantenimiento-predictivo>.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION [ISO]. Condition monitoring and diagnostics of machine systems — Thermography — Part 2:

Image interpretation and diagnostics. ISO 18434-2:2019. 1 ed. Geneva, Switzerland: ISO, 2019.

----- . Industrial fans – Specifications for balance quality and vibration levels — Amendment 1. ISO 14694:2003 /AMD 1:2010. 1 ed. Geneva, Switzerland: ISO, 2010.

----- . Mechanical vibration — Evaluation of machine vibration by measurements on non-rotating parts — Part 3: Industrial machines with nominal power above 15 kW and nominal speeds between 120 r/min and 15 000 r/min when measured in situ — Amendment 1. ISO 10816-3:2009 /AMD 1:2017. 2 ed. Geneva, Switzerland: ISO, 2017.

----- . Mechanical vibration — Rotor balancing — Part 11: Procedures and tolerances for rotors with rigid behavior. ISO 21940-11:2016. 1 ed. Geneva, Switzerland: ISO, 2016, Scope, paragraph 1.

JOHNSTON, Mike. Cómo seleccionar la estrategia de mantenimiento adecuada. En: RELIABILITYWEB. [En línea]. [Consulta 20 agosto 2020]. Disponible en: <https://reliabilityweb.com/sp/articles/entry/selecting-the-correct-maintenance-strategy>.

KARDEC PINTO, Alan y NASCIF XAVIER, Julio Aquino. Mantenimiento, Función Estratégica. Brasil: Qualitymark. 2001. Citado por: Ibíd., p. 8.

LINARES DEPESTRE, Luis Orlando. Del Mantenimiento Correctivo al Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad. En: Centro Azúcar. [Base de datos

lanzamiento: 2018. Requerimientos del sistema: Sistema Operativo XP o superiores, Procesador a 1.3 GHz, Memoria RAM de 2 Gb, Espacio en disco 50 Gb, Ethernet 10/100, Framework 4. Disponible para la descarga en es una aplicación Cliente-Servidor, se debe instalar máquina virtual de Genero 4GL, en cada ordenador.

PANAMERICANA FORMAS E IMPRESOS S.A. Procedimiento mantenimiento preventivo y correctivo de máquinas y equipos. Mantenimiento Preventivo. Versión 1.0. Bogotá D.C.: PANAMERICANA FORMAS E IMPRESOS S.A., 2020. 5-6 p. MTO-P-001

-----, -----, Versión 1.0. Bogotá D.C.: PANAMERICANA FORMAS E IMPRESOS S.A., 2020. 7-8 p. MTO-P-001

-----, Quiénes Somos. [En línea] (Recuperado en 21 enero 2020). Disponible en: <https://www.panamericanafei.com.co/>

PARETO, Vilfredo. Cours d'Economie Politique. Lausanne: Rouge, 1896-1897. doi: 10.1177/000271629700900314. Citado por: BONET BORJAS, Carlos Manuel. Ley de Pareto aplicada a la fiabilidad. En: Ingeniería Mecánica. [Base de datos en línea]. 2005, vol. 8. p. 2 (Recuperado en 24 julio 2020). Disponible en: <http://www.ingenieriamecanica.cujae.edu.cu/index.php/revistaim/article/view/221/561>

PASCUAL, Rodrigo. Análisis de modos de falla. En: Gestión Moderna del Mantenimiento: Análisis de modos de falla, efectos y criticidad. [En línea].

Versión 2.0. Chile: U. de Chile, 2002. p. 25. [Consultado: 20 de agosto de 2020].
Disponible en: <https://cutt.ly/qfPhanO>

PEDRAZA MARTÍNEZ, Iván Darío y SABOGAL VANEGAS, Julián Andrés. Definición de la estrategia de Mantenimiento Basado en Condición (CBM) soportada en técnicas de mantenimiento predictivo, para los equipos críticos de la operación de Campo Velásquez ubicado en el municipio de Puerto Boyacá. Monografía Especialistas en Gerencia de Mantenimiento. Facultad de Ingenierías Físico Mecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica. Universidad Industrial de Santander, 2017. p. 28.

PIWEK BOLCKE. Christian. Información del módulo de Mantenimiento SIIP. 2020.

PREDITEC, GRUPO ÁLAVA. Mantenimiento Predictivo. Análisis de vibraciones. [En línea] (Recuperado en 20 agosto 2020). Disponible en: <http://www.preditec.com/mantenimiento-predictivo/analisis-de-vibraciones/>.

RAMÍREZ ORTÍZ, Julio César y MORENO, Hugo Fernando. Elaboración de un análisis de criticidad y disponibilidad para la atracción X-Treme del Parque Mundo Aventura, tomando como referencia las normas, SAE JA1011 y SAE JA1012. [En línea]. Proyecto de Investigación Ingeniero Eléctrico e Ingeniero Mecánico (respectivamente). Bogotá D.C.: Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Facultad Tecnológica. 2017. 24 p. (Recuperado en 20 agosto 2020). Disponible en: <http://repository.udistrital.edu.co/bitstream/11349/7854/1/MorenoRobayoHugoFernando2018.pdf>

REAL ACADEMIA ESPAÑOLA [RAE]. Mantenimiento. [Sitio web]. Madrid: RAE. [Consultado: 25 julio 2020]. Disponible en: <https://dle.rae.es/mantenimiento?m=form2>

Reliabilityweb.com. ¿Por qué Mantenimiento Predictivo antes que Preventivo? [En línea] (Recuperado en 31 julio de 2020). Disponible en: [https://reliabilityweb.com/sp/articles/entry/por-que-mantenimiento-predictivo-antes-que-preventivo/#:~:text=POR%20QU%C3%89%20ENTONCES%20PREDICTIVO%20ANTES,vida%20%C3%BAtil%20y%20b\)%%20la%20conocemos](https://reliabilityweb.com/sp/articles/entry/por-que-mantenimiento-predictivo-antes-que-preventivo/#:~:text=POR%20QU%C3%89%20ENTONCES%20PREDICTIVO%20ANTES,vida%20%C3%BAtil%20y%20b)%%20la%20conocemos)

RENOVETEC. Inspecciones Boroscópicas. [Sitio web]. (Recuperado en 20 agosto 2020). Disponible en: <http://www.renovetec.com/265-boroscopia#:~:text=El%20boroscopio%2C%20tambi%C3%A9n%20llamado%20videoscopio,una%20poderosa%20fuente%20de%20luz>

RUIZ ACEVEDO, Adriana María. Modelo para la implementación de mantenimiento predictivo en las facilidades de producción de petróleo. [En línea]. Monografía Especialista en Gerencia de Mantenimiento. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Físico Mecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica, 2012. 49 p. (Recuperado en 20 agosto 2020). Disponible en: <http://tangara.uis.edu.co/biblioweb/tesis/2012/143006.pdf>.

SENA (1991). Manual de mantenimiento. División sector industria y de la construcción. Divulgación tecnológica de Bogotá. pp. 9 – 18.

SIFONTE, Jesús. Norma SAE JA1011 – Criterios de Evaluación para Procesos de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM). [En línea] (Recuperado en

01 agosto 2020) Disponible en: <http://www.pdmtechusa.com/criterios-evaluacion-rcm/>.

SOCIETY OF AUTOMOTIVE ENGINEERS [SAE]. Evaluation criteria for reliability-centered maintenance (RCM) processes. JA1011. 2 ed., Warrendale: SAE International, 2009. Citado por: CAMPOS LOPEZ, Omar *et al.* Metodología de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) considerando taxonomía de equipos, bases de datos y criticidad de efectos. En: Científica. [Base de datos en línea]. 2019, vol. 23, nro. 1, p. 52 (Recuperado en 25 julio 2020). ISSN 2594-2921. Disponible en: http://www.cientifica.esimez.ipn.mx/manuscritos/V23N1_051_059.pdf

TAVARES, Lourival Augusto. ¿Por qué el Mantenimiento es un Centro de Ingresos? En: Administración Moderna de Mantenimiento: La evolución organizacional del mantenimiento [en línea]. Edición en español. Brasil: Novo Polo Publicações, 2002. p. 1. [Consultado: 25 de julio de 2020]. Disponible en: <https://soportec.files.wordpress.com/2010/06/administracion-moderna-de-mantenimiento.pdf>

VOLKSWAGEN DE BRASIL. Mantenimiento Preventivo en Volkswagen de Brasil S / A. División de Mantenimiento de Planta I. São Bernardo do Campo, São Paulo, 1974. Citado por: *Ibíd.*, p. 1.

ANEXOS

Anexo A. Formato Guía de entrevista semiestructurada

Consentimiento Informado de Entrevista

Consentimiento informado para los participantes que, de manera voluntaria quieran participar suministrando información para la elaboración de la monografía: “Plan de Mantenimiento Basado en Condición [CBM] para la empresa Panamericana Formas e Impresos S.A.”

El propósito del consentimiento informado es brindar a los participantes de esta entrevista, una clara explicación de la naturaleza de esta, así como de su rol en ella como participantes.

La presente entrevista es conducida por William Madero, estudiante de la Especialización en Gerencia de Mantenimiento, de la Universidad Industrial de Santander [UIS]. La meta de este estudio está orientada a obtener la información que se requiere para el diseño de un plan de mantenimiento basado en condición, en la planta de producción de Panamericana Formas e Impresos S.A., con lo cual, se espera que la compañía mejore su desempeño productivo.

Si usted acepta participar en este estudio, se le solicitará responder preguntas relacionadas con la operación y el desempeño de las máquinas que tienen a su cargo el Área de Mantenimiento de la empresa, así como su percepción frente a la misma. Esto tomará aproximadamente 15 minutos de su tiempo, de acuerdo con la extensión de sus respuestas. Usted puede dejar de participar en el estudio en cualquier momento, sin que eso lo perjudique.

Lo que conversemos durante este encuentro se grabará, a fin de facilitar la descripción y el análisis de las ideas que usted haya expresado.

La participación en este estudio es estrictamente voluntaria. La investigación, cumple fines académicos, y la información que usted suministre será confidencial y no tendrá repercusiones diferentes al aporte del conocimiento. Sus respuestas a la entrevista serán codificadas usando un código de identificación y, por lo tanto, serán anónimas. Una vez descrita y analizada la información obtenida por medio de las entrevistas, las grabaciones de voz serán eliminadas.

Si tiene alguna inquietud sobre la monografía y/o la entrevista, puede hacer las preguntas correspondientes en cualquier momento durante su participación en ella. Así mismo, si alguna de las preguntas durante la entrevista le parece incómoda, tiene el derecho de hacérselo saber al entrevistador o de no responderlas.

Desde ya le agradezco su participación. Por lo anterior:

1. Acepto participar voluntariamente en esta investigación, conducida por William Madero, estudiante de la Especialización en Gerencia de Mantenimiento, de la Universidad Industrial de Santander [UIS].
2. Manifiesto que he sido informado (a) de que la meta de este estudio es: obtener la información que se requiere para el diseño de un plan de mantenimiento basado en condición, en la planta de producción de Panamericana Formas e Impresos S.A., con lo cual, se espera que la compañía mejore su desempeño productivo.
3. Me han indicado también que tendré que responder preguntas en una entrevista, lo cual tomará aproximadamente 15 minutos, de acuerdo con las respuestas generadas.

4. Reconozco que la información que yo suministre durante esta entrevista es estrictamente confidencial y no será usada sin mi consentimiento, para ningún otro propósito fuera del de este estudio.

5. He sido informado de que puedo hacer preguntas sobre la monografía y/o entrevista en cualquier momento y que puedo retirarme de la misma cuando así lo decida, sin que esto acarree perjuicio alguno para mi persona. De tener preguntas sobre mi participación en este estudio, puedo contactar a William Madero al teléfono (+57) 310 6249386, y/o al correo: william2605@hotmail.com

6. Entiendo que, si lo deseo, puedo recibir una copia de este formato de consentimiento informado, y que puedo pedir información sobre los resultados de este estudio cuando éste haya concluido. Para esto, puedo contactar a William Madero al teléfono anteriormente presentado.

Nombre del Participante	Firma del Participante	Fecha
1.-----	-----	-----
2.-----	-----	-----
3.-----	-----	-----

Guía de entrevista semiestructurada		
Datos básicos		
Nombre:	Cargo:	Área:
Medio de contacto:	Teléfono:	Correo:
Preguntas orientadoras		
• ¿Cuáles son las características técnicas de las máquinas y equipos que componen la planta de producción?		
• ¿Qué tipos de mediciones se les realiza a las máquinas y equipos?		
• ¿Cuáles son las rutinas de mantenimiento que se efectúan a la maquinaria y los equipos en la planta de producción?		
• ¿Cuáles considera usted, son los principales problemas en la efectividad de los planes de mantenimiento vigentes?		
• ¿Cuáles son los problemas o fallas más recurrentes que presentan los equipos en su operación?		
• ¿Cuáles son las falencias técnicas y tecnológicas que presenta el Área de Mantenimiento?		
• ¿Cuáles son los repuestos críticos y sus especificaciones técnicas?		

Anexo B. Características de los equipos críticos

MÁQUINAS KBA'S			
EQUIPOS	RPM	POTENCIA	VOLTAJE
MOTOR PRINCIPAL INFEED	1500	15 KW	400 V
UNIDAD 1 SISTEMAS DE TRANSMISION ENGRANAJES			
MOTOR PRINCIPAL	2000	46 KW	400 V
REDUCTOR DE TINTA SUPERIOR	1405	1,5 KW	400 V
REDUCTOR DE TINTA INFERIOIR	1405	1,5 KW	400 V
REDUCTOR DE AGUA SUPERIOR	1405	1,5 KW	400 V
REDUCTOR DE AGUA INFERIOR	1405	1,5 KW	400 V
BOMBA DE AGUA DE RECIRCULACION	3490	2.5 KW	400 V
BOMBA DE LUBRICACION	1740	0.9 KW	400 V
UNIDAD 2 SISTEMAS DE TRANSMISION ENGRANAJES			
MOTOR PRINCIPAL	2000	46 KW	400 V
REDUCTOR DE TINTA SUPERIOR	1405	1,5 KW	400 V
REDUCTOR DE TINTA INFERIOIR	1405	1,5 KW	400 V
REDUCTOR DE AGUA SUPERIOR	1405	1,5 KW	400 V
REDUCTOR DE AGUA INFERIOR	1405	1,5 KW	400 V
BOMBA DE AGUA DE RECIRCULACION	3490	2.5 KW	400 V
BOMBA DE LUBRICACION	1740	0.9 KW	400 V
UNIDAD 3 SISTEMAS DE TRANSMISION ENGRANAJES			
MOTOR PRINCIPAL	2000	46 KW	400 V
REDUCTOR DE TINTA SUPERIOR	1405	1,5 KW	400 V
REDUCTOR DE TINTA INFERIOIR	1405	1,5 KW	400 V
REDUCTOR DE AGUA SUPERIOR	1405	1,5 KW	400 V

MÁQUINAS KBA'S			
EQUIPOS	RPM	POTENCIA	VOLTAJE
REDUCTOR DE AGUA INFERIOR	1405	1,5 KW	400 V
BOMBA DE AGUA DE RECIRCULACION	3490	2.5 KW	400 V
BOMBA DE LUBRICACION	1740	0.9 KW	400 V
UNIDAD 4 SISTEMAS DE TRANSMISION ENGRANAJES			
MOTOR PRINCIPAL	2000	46 KW	400 V
REDUCTOR DE TINTA SUPERIOR	1405	1,5 KW	400 V
REDUCTOR DE TINTA INFERIOIR	1405	1,5 KW	400 V
REDUCTOR DE AGUA SUPERIOR	1405	1,5 KW	400 V
REDUCTOR DE AGUA INFERIOR	1405	1,5 KW	400 V
BOMBA DE AGUA DE RECIRCULACION	3490	2.5 KW	400 V
BOMBA DE LUBRICACION	1740	0.9 KW	400 V
UNIDAD 5 SISTEMAS DE TRANSMISION ENGRANAJES			
MOTOR PRINCIPAL	2000	46 KW	400 V
REDUCTOR DE TINTA SUPERIOR	1405	1,5 KW	400 V
REDUCTOR DE TINTA INFERIOIR	1405	1,5 KW	400 V
REDUCTOR DE AGUA SUPERIOR	1405	1,5 KW	400 V
REDUCTOR DE AGUA INFERIOR	1405	1,5 KW	400 V
BOMBA DE AGUA DE RECIRCULACION	3490	2.5 KW	400 V
BOMBA DE LUBRICACION	1740	0.9 KW	400 V
HORNO			
VENTILADOR 1	3528	35 KW	400 V
VENTILADOR 2	3985	9 KW	400 V
VENTILADOR 3	3528	26 KW	400 V
VENTILADOR 4	3516	12 KW	400 V
VENTILADOR 5	3516	12 KW	400 V
PLEGADORA			
MOTOR PRINCIPAL ENFRIADOR	1500	15 KW	400 V

MÁQUINAS KBA'S			
EQUIPOS	RPM	POTENCIA	VOLTAJE
MOTOR PRINCIPAL PLEGADORA	2000	46 KW	400 V
MOTOR RODILLOS PLEGADORA	3000	15 KW	400 V
MOTOR SALIDA BANDAS PLEGADORA	3000	15 KW	400 V
SOPLADOR BARRAS ANGULARES	3435	3.45 KW	400 V

COMPRESORES			
EQUIPOS	RPM	POTENCIA	VOLTAJE
SULLAIR VCC 200 BOD 65	1780	100 HP	220 V
SULLAIR 11009 S	1780	150 HP	380 V
SULLAIR V-160 BOD 65	1780	75 HP	380 V
SULLAIR 3700 NAVE 5	1780	50 HP	220 V
SULLAIR 4509 TERMINADOS GRAFICOS	1780	60 HP	220 V
SULLAIR 7509 BOD KBA	1780	100 HP	220 V
SULLAIR 4509 BOD KBA 4	1780	60 HP	220 V
SULLAIR 7509 BOD KBA	1780	100 HP	220 V
SULLAIR 11008 S	1780	150 HP	380 V

MÁQUINAS TERMINADOS GRÁFICOS			
EQUIPOS	RPM	POTENCIA	VOLTAJE
MOTOR PRINCIPAL	1730	7,5 KW	220 V
COMPRESOR DE VACIO KTA 100	1720	6,6 KW	220 V
BOMBA DE AGUA CALEFACCION 1	3450	2 KW	440 V
BOMBA DE AGUA CALEFACCION 2	3500	2 KW	440 V
COMPRESOR DE VACIO KTA 80	1720	4 KW	220 V
COMPRESOR DE VACIO KLT 40	1720	2 KW	220 V
BOMBA DE LUBRICACION	1740	0.9 KW	220 V
SOPLADOR GARDNER DENVER	3460	5 KW	220 V

MÁQUINAS FORMAS CONTINUAS			
EQUIPOS	RPM	POTENCIA	VOLTAJE
MOTOR PRINCIPAL	2300	68.1 KW	440 V
MOTOR REBOBINADOR	2310	17 KW	440 V
REDUCTORES SISTEMA DE HUMECTACION	1690	0.55 KW	220 V
EXTRACTOR DE REFILE	3300	0.44 KW	220 V
BOMBA DE AGUA DE BATERIAS	2750	0.38 KW	220 V

MÁQUINAS COSEDORAS DE ALAMBRE			
EQUIPOS	RPM	POTENCIA	VOLTAJE
COMPRESOR DE VACIO RIETSCHLE 1	1720	6,6 KW	220 V
COMPRESOR DE VACIO RIETSCHLE 2	1720	6,6 KW	220 V
COMPRESOR DE VACIO RIETSCHLE 3	1720	6,6 KW	220 V
COMPRESOR DE VACIO RIETSCHLE 4	1720	6,6 KW	220 V
MOTOR PRINCIPAL	1780	7.5 KW	400 V
TRANSMISION CARDAN			

MÁQUINAS XL'S			
EQUIPOS	RPM	POTENCIA	VOLTAJE
MOTOR PRINCIPAL	3000	90 KW	400 V
BOMBA DE AGUA CUBETAS	3410	0.9 KW	400 V
BOMBA DE AGUA DE RECIRCULACION	3410	0.9 KW	400 V
BOMBA DE AGUA BATERIAS	3520	0.9 KW	400 V
TURBINA EIMO RIETSCHLE # 1	6200	4 KW	400 V
TURBINA EIMO RIETSCHLE # 2	6200	4 KW	400 V
TURBINA EIMO RIETSCHLE # 3	6200	4 KW	400 V
TURBINA EIMO RIETSCHLE # 4	6200	4 KW	400 V
TURBINA EIMO RIETSCHLE # 5	6200	4 KW	400 V
TURBINA EIMO RIETSCHLE # 6	6200	4 KW	400 V
TURBINA EIMO	6200	4 KW	400 V

MÁQUINAS XL'S			
EQUIPOS	RPM	POTENCIA	VOLTAJE
RIETSCHLE # 7			
TURBINA EIMO RIETSCHLE # 8	6200	4 KW	400 V
TURBINA EIMO RIETSCHLE # 9	6200	4 KW	400 V
TURBINA GARDNER DENVER SUPERIOR	15000	7,5 KW	400 V
TURBINA GARDNER DENVER INFERIOR	15000	7,5 KW	400 V
EXTRACTOR DE CALOR IR 1	3490	3 KW	400 V
EXTRACTOR DE CALOR IR 2	3490	3 KW	400 V
EXTRACTOR DE CALOR IR 3	3490	3 KW	400 V
BOMBA DE LUBRICACION	1740	0.9 KW	400 V
BOMBA DE BARNIZ	1405	1,5 KW	400 V
COMPRESOR DE VACIO GARDNER DENVER	3520	11 KW	400 V

MÁQUINAS CD'S			
EQUIPOS	RPM	POTENCIA	VOLTAJE
MOTOR PRINCIPAL	3000	55 KW	400 V
BOMBA AGUA CUBETAS	3200	0.9 KW	400 V
BOMBA DE AGUA DE RECIRCULACION	3520	0.9 KW	400 V
BOMBA DE AGUA BATERIAS	3520	0.9 KW	400 V
TURBINA GARDNER DENVER SUPERIOR	15000	7,5 KW	400 V
TURBINA GARDNER DENVER INFERIOR	15000	7,5 KW	400 V
EXTRACTOR DE CALOR IR 1	2850	0.90 KW	400 V
EXTRACTOR DE CALOR IR 2	2850	0.90 KW	400 V
EXTRACTOR DE CALOR IR 3	2850	0.90 KW	400 V
TURBINA IR 1	3180	0.65 KW	400 V
TURBINA IR 2	3180	0.65 KW	400 V
TURBINA IR 3	3180	0.65 KW	400 V
BOMBA DE AGUA SISTEMA CHILLER	3490	2.5 KW	400 V
SOPLADOR SISTEMA UV 1	3180	0.65 KW	400 V

MÁQUINAS CD'S			
EQUIPOS	RPM	POTENCIA	VOLTAJE
SOPLADOR SISTEMA UV 2	3180	0.65 KW	400 V
SOPLADOR SISTEMA UV 3	3180	0.65 KW	400 V
EXTRACTOR DE CALOR UV 1	2850	0.90 KW	400 V
EXTRACTOR DE CALOR UV 2	2850	0.90 KW	400 V
EXTRACTOR DE CALOR UV 3	2850	0.90 KW	400 V
BOMBA DE LUBRICACION	1740	0.9 KW	400 V
BOMBA DE BARNIZ	1405	1,5 KW	400 V
COMPRESOR DE VACIO GARDNER DENVER	3520	11 KW	400 V

MÁQUINAS DE SOBRES			
EQUIPOS	RPM	POTENCIA	VOLTAJE
MOTOR PRINCIPAL	1780	7.5 KW	220 V
COMPRESOR DE VACIO VTLF 500 #1	1160	19 KW	220 V
COMPRESOR DE VACIO VTLF 500 #2	1160	19 KW	220 V
COMPRESOR DE VACIO KDT 3.140	1765	9 KW	220 V
COMPRESOR DE VACIO VTLF 250	1160	9 KW	220 V

TRANSFORMADORES		
EQUIPOS	POTENCIA	VOLTAJE
TRANSFORMADOR TRIFASICO ROTATIVA #1	1000 KVA	11400/228-132 V
TRANSFORMADOR TRIFASICO ROTATIVA #2	1000 KVA	11400/228-132 V
TRANSFORMADOR TRIFASICO ROTATIVA #3	1000 KVA	11400/228 V
TRANSFORMADOR TRIFASICO ROTATIVA #4	1000 KVA	11400/228-132 V
TRANSFORMADOR TRIFASICO TERMINADOS GRAFICOS	500 KVA	11400/218 V
TRANSFORMADOR TRIFASICO KOLBUS 3	800 KVA	11400/228-132 V
TRANSFORMADOR TRIFASICO BOD 65	800 KVA	11400/228-132 V
TRANSFORMADOR	800 KVA	11400/228-132 V

TRANSFORMADORES		
EQUIPOS	POTENCIA	VOLTAJE
TRIFASICO CUARTO DE COMPRESORES		
TRANSFORMADOR TRIFASICO ALMACEN DE REPUESTOS	500 KVA	11400/220 V
TRANSFORMADOR TRIFASICO NAVE 5	1600 KVA	11400/416-240 V
TRANSFORMADOR TRIFASICO RETAL	500 KVA	11400/228-132 V
TRANSFORMADOR TRIFASICO BANDERAS	112.5 KVA	11400/224-114 V
TRANSFORMADOR TRIFASICO DESPACHOS	75 KVA	11400/224-114 V
TRANSFORMADOR TRIFASICO OUTSOURCING	500 KVA	11400/224-114 V

EXTRACTORES			
EQUIPOS	RPM	POTENCIA	VOLTAJE
EXTRACTOR HOCKER PRINCIPAL KBA	3565	90 HP	220 V
EXTRACTOR COSEDORA PRIMERA	1765	30 HP	220 V
EXTRACTOR NESTRO KOLBUS 3	3432	5 HP	220 V
EXTRACTOR HUNKELER	3530	7,5 KW	220 V
EXTRACTOR CORONA	1710	13,5 KW	220 V
EXTRACTOR RETAL KBA 3	3530	8,6 KW	220 V
EXTRACTOR RESMILLADORA	3530	8,6 KW	220 V
EXTRACTOR KBA 1 REFILE	1765	7.5 KW	220 V
EXTRACTOR POSTQUEMADOR	1785	200 HP	220 V
ASPIRADOR DE AIRE POSTQUEMADOR	3500	75 HP	220 V