

**REDISEÑO DEL PROCESO DE MANTENIMIENTO PARA LOS ACTIVOS
PRODUCTIVOS DE LA PLANTA DE SUPERFICIES**

JOSÉ ARNULFO ROJAS BAQUERO

**UNIVERSIDAD EAFIT
ESCUELA DE ADMINISTRACIÓN
MAESTRÍA EN ADMINISTRACIÓN (MBA)
BOGOTÁ
2020**

**REDISEÑO DEL PROCESO DE MANTENIMIENTO PARA LOS ACTIVOS
PRODUCTIVOS DE LA PLANTA DE SUPERFICIES**

**Trabajo presentado como requisito parcial para optar al título de magíster en
Administración (MBA)**

JOSÉ ARNULFO ROJAS BAQUERO

Asesor temático y metodológico: Juan Esteban Escalante Gómez, Ph. D.

**UNIVERSIDAD EAFIT
ESCUELA DE ADMINISTRACIÓN
MAESTRÍA EN ADMINISTRACIÓN (MBA)
BOGOTÁ
2020**

CONTENIDO

RESUMEN.....	7
1. INTRODUCCIÓN.....	12
2. JUSTIFICACIÓN	21
3. OBJETIVOS	23
4. MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL	24
4.1. Eficiencia operacional. Producción y mantenimiento	24
4.2. Historia y modelos de gestión de mantenimiento.....	27
4.2.1. Historia del mantenimiento	27
4.2.2. Modelos de mantenimiento.....	31
4.2.3. Estrategia y táctica de mantenimiento.....	40
4.2.4. Indicadores de gestión de mantenimiento	41
4.2.5. Gestión de activos.....	43
4.3. <i>Benchmarking</i>	48
4.4. Cuarta Revolución Industrial. Robótica y CMMS	54
5. APLICACIÓN DE <i>BENCHMARKING</i> AL PROCESO DE MANTENIMIENTO	57
5.1. Descripción de la planta de superficies de Madrid.....	57
5.2. Aspectos que se sometieron a <i>benchmarking</i>	59
5.3. Determinación de la información que se va a recolectar	60
5.3.1. Indicadores de orden táctico (KPI y KMI).....	61
5.3.2. Indicadores de orden operacional (KAI)	61
5.4. Recolección y análisis de la información	62

5.4.1.	Indicadores de manejo clave (KMI).....	62
5.4.2.	Indicadores de desempeño clave (KPI):.....	64
5.4.3.	Indicadores de actividades clave (KAI):	66
5.5.	Adaptación de los mejores aspectos o prácticas actuales	70
5.5.1.	Reestructuración del equipo de mantenimiento	76
5.5.2.	Refuerzo de la aplicación LILA a partir del mantenimiento autónomo	82
5.5.3.	Disciplinas modernas aplicadas al mantenimiento	85
5.5.4.	Robótica y digitalización del mantenimiento	86
5.5.5.	Diagnósticos de la disponibilidad y el costo de mantenimiento.....	89
6.	CONCLUSIONES.....	92
	REFERENCIAS	97
	ANEXOS	103

Lista de tablas

Tabla 1.	Producción mundial de cerámica	12
Tabla 2.	Consumo mundial de cerámica.....	13
Tabla 3.	Capacidad de producción en el año 2019.....	16
Tabla 4.	Distribución de equipos productivos en la planta de Madrid	21
Tabla 5.	Niveles de mantenimiento	46
Tabla 6.	Capacidad de producción de baldosas de la Organización Corona.....	57
Tabla 7.	Costos de mantenimiento de superficies	63
Tabla 8.	Disponibilidad de la planta de superficies	64
Tabla 9.	Confiabilidad de la planta de superficies.....	65
Tabla 10.	Mantenibilidad de la planta de superficies	65
Tabla 11.	Gestión de inventarios de mantenimiento de la planta de superficies ...	66
Tabla 12.	Número de averías en el mantenimiento de la planta de superficies	67

Tabla 13. Análisis de averías en el mantenimiento de la planta de superficies	67
Tabla 14. Tarjetas rojas en el mantenimiento de la planta de superficies.....	68
Tabla 15. Tarjetas amarillas en el mantenimiento de la planta de superficies	68
Tabla 16. Cumplimiento de MBT en el mantenimiento de la planta de superficies	69
Tabla 17. Número de accidentes en el mantenimiento de la planta de superficies	70
Tabla 18. Número de días sin accidentes.....	70
Tabla 19. Diagnóstico de la disponibilidad.....	90
Tabla 20. Diagnóstico de los costos	91

Lista de ilustraciones

Ilustración 1. Estructura de la Organización Corona.....	15
Ilustración 2 Cambio del modelo lineal a procesos transversales.....	16
Ilustración 3. Indicadores claves de mantenimiento (KPI)	19
Ilustración 4. Enfoque del proceso de mantenimiento	20
Ilustración 5. Elementos del sistema productivo	26
Ilustración 6. Sistema integral de mantenimiento y operación	26
Ilustración 7. Evolución de los tipos de mantenimiento.....	31
Ilustración 8. Pilares del TPM	33
Ilustración 9. Relación entre operadores y mantenimiento	34
Ilustración 10. Enfoque de las cinco eses.....	35
Ilustración 11. Estructura proactiva.....	37
Ilustración 12. Líneas de acción de la táctica por resultados	38
Ilustración 13. Estructura sistémica de gestión de activos.....	45
Ilustración 14. Niveles de mantenimiento	46
Ilustración 15. Pirámide administrativa de mantenimiento	51
Ilustración 16. Recursos de información de mantenimiento.....	53
Ilustración 17. Cambios en la estructura industrial.....	55
Ilustración 18. Cuarta Revolución Industrial.....	55
Ilustración 19. 5G, su guerra comercial y el 6G futuro	56

Ilustración 20. Ubicación de la planta de pisos y paredes	58
Ilustración 21. Proceso de producción de superficies	59
Ilustración 22. Enfoque de procesos integrados con el mantenimiento	71
Ilustración 23. Cambio del modelo lineal al de procesos transversales	72
Ilustración 24. Visión operacional del proceso de mantenimiento.....	72
Ilustración 25. Etapas de implementación del modelo integral de mantenimiento.	73
Ilustración 26. Plan de implementación del modelo de mantenimiento propuesto.	75
Ilustración 27. Estructura del área de mantenimiento	78
Ilustración 28. Propuesta de la estructura nueva de mantenimiento.....	81
Ilustración 29. Cambió de reactivo a anticipado	84
Ilustración 30. Empresa Cav Robotics Kuka.....	88
Ilustración 31. Star (superior technology augmented reality)	89

RESUMEN

En la actualidad, y ante la alta competencia del mercado mundial, las empresas modernas están obligadas a identificar, proponer y lograr la optimización en todos sus niveles organizacionales, ya que ningún sector productivo se escapa de esta tendencia. La investigación y desarrollo (I+D) y el mejoramiento continuo buscan hacer más eficientes y eficaces las operaciones, por lo que se han convertido en un componente básico de la gerencia en la mayoría de las compañías. Las empresas deben implementar metodologías para determinar la situación actual de los procesos mediante una introspección (revisión interna) o un análisis externo con otras empresas del sector o respecto a un estándar, por medio del análisis de las variables que pueden generar sobrecostos, reprocesos, ineficiencias, debilidades, etc., es decir, con la aplicación de una metodología de *benchmarking*; de esta forma se determinan las brechas y las oportunidades de mejora que tiene y que podrían implementarse.

En el presente, la gestión de mantenimiento de los activos productivos demanda una gran importancia para lograr los objetivos y las metas de las empresas productivas, con el fin de agregar valor para alcanzar la mayor disponibilidad operacional posible de modo que permita obtener un costo apropiado de acuerdo con los lineamientos organizacionales y haga posible ser competitivos en la industria. A través de los años, el mantenimiento ha evolucionado de manera muy significativa debido a que en la actualidad existen múltiples metodologías, técnicas y conceptos para su aplicación, con los que se logran optimizar de manera adecuada los recursos humanos, técnicos y materiales y también aumentar la disponibilidad de los activos productivos de las empresas.

La implementación de herramientas y modelos para la gestión de mantenimiento, como mantenimiento productivo total (TPM), mantenimiento centrado en

confiabilidad (RCM, forma abreviada que proviene de la expresión en inglés *reliability centred maintenance*) optimización de mantenimiento planeado (PMO, forma abreviada que proviene de la expresión en inglés *planned maintenance optimization*), y de clase mundial, entre otros, aplicados a los activos productivos de baldosas o superficies, es una opción adecuada para poder reforzar y cumplir los objetivos de la compañía con el propósito de aumentar la disponibilidad, la confiabilidad y la mantenibilidad de sus procesos productivos, a la vez que se optimizan la programación y la ejecución de los planes de mantenimiento actuales. Para ello se debe reforzar y reestructurar la estrategia de mantenimiento con las oportunidades de mejora identificadas, que se podrían presentar en el futuro a la gerencia de operaciones para que determine prioridad, tiempos, objetivos y recursos por asignar para su implementación.

Palabras clave: análisis de criticidad, mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM), transversalidad, *benchmarking*, disponibilidad, mantenibilidad, costos.

GLOSARIO

Análisis de criticidad: consiste en una metodología que permite establecer el nivel de prioridades de los procesos, los sistemas y los equipos para así tomar buenas decisiones con el fin de direccionar el esfuerzo y los recursos importantes en las áreas en las que en realidad se necesitan.

Averías: son el resultado de una falla del equipo que puede ocurrir porque el elemento cumplió su vida útil, por su diseño, por error humano o por sobrecarga, con lo que se afecta la disponibilidad de los equipos.

Benchmarking: proceso sistemático y continuo de evaluación de los productos, los servicios y los procedimientos de trabajo de las mejores prácticas y cuyo propósito es el mejoramiento organizacional.

Confiabilidad: es la capacidad de un equipo o componente de realizar su función durante un intervalo de tiempo.

Disponibilidad: es la capacidad de un equipo o componente para estar en estado operativo y realizar su función requerida en condiciones dadas en el tiempo.

Eficiencia operacional: es el resultado que se obtiene de un proceso en relación con los recursos empleados y el esfuerzo que supone.

Indicadores claves de mantenimiento (KPI, forma abreviada que proviene de la expresión en inglés *key performance indicators*): son los indicadores con los que mantenimiento mide sus resultados como área general, como lo son costos de mantenimiento, averías, disponibilidad, inventarios y gestión en tarjetas rojas y amarillas.

Mantenibilidad: es la capacidad de un equipo o componente de conservar su función principal o de ser reparado para regresar a un estado en el que pueda volver a cumplir dicha función.

Mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM), forma abreviada que proviene de la expresión en inglés *reliability centered maintenance*: es una metodología de mantenimiento cuyo objetivo principal es aumentar la disponibilidad de la maquinaria y disminuir los costos de mantenimiento.

Mantenimiento productivo total (TPM), forma abreviada que proviene de la expresión en inglés *total productive maintenance*: es una filosofía cuyo objetivo principal es eliminar las pérdidas en producción debidas al estado de los equipos, para así mantener operativas las máquinas y lograr obtener una reducción en averías con paros no programados.

Manufactura de clase mundial (WCM), forma abreviada que proviene de la expresión en inglés *world class manufacturing*: es un conjunto de conceptos, principios y técnicas para la gestión de los procesos operativos de una empresa. WCM puede considerarse una ampliación del TPM, dado que, a los pilares básicos de este, se le han incluido otros pilares, que son: higiene y ambiente en el trabajo, servicio al cliente, control total de la calidad del producto, desarrollo del personal y reducción de costes

Optimización del mantenimiento planeado (PMO), forma abreviada que proviene de la expresión en inglés *planned maintenance optimization*): es un método de diseño para revisar los requerimientos de mantenimiento, historial de fallas y la información técnica de los activos en operación. La teoría básica del PMO parte del análisis del ciclo reactivo del mantenimiento.

Software para la gestión del conocimiento (CMMS), forma abreviada que proviene de la expresión en inglés *computerized management maintenance system*): es una herramienta de software que ayuda en la gestión de los servicios de mantenimiento de una empresa. Básicamente es una base de datos que contiene información sobre la empresa y sus operaciones de mantenimiento.

1. INTRODUCCIÓN

Análisis competitivo internacional del sector cerámico

De acuerdo con los últimos datos de producción y consumo mundial de cerámica ofrecido por la Associazione Nazionale dei Costruttori Italiani di Impianti, Macchine, Attrezzature e Prodotti Semi-lavorati, Materie Prime e Servizi per l'Industria Cerámica (Acimac, 2019), en el año 2018 el volumen de producción y consumo mundiales de cerámica se redujeron por primer vez un 3,6% respecto a lo reportado para el año 2017, con lo que se llegó así a una producción total de 13.099 millones de m².

En la Tabla 1 se puede apreciar la distribución de la producción mundial de cerámica, siendo en Asia donde se encuentra la mayor proporción de la producción mundial con un 68,6% en donde se refleja una contracción en su producción del 5,2% respecto al año anterior.

Tabla 1. Producción mundial de cerámica

Principales áreas productoras de cerámica			
Área	2018 (millones m²)	Porcentaje de producción mundial	Porcentaje de variación de 2018 respecto de 2017
Unión Europea (28)	1.366	10,4	0,3
Resto de Europa (Turquía incluida)	618	4,7	0,5
América del Norte (México incluido)	348	2,7	-3,9
América Central y del Sur	1.064	8,1	-0,9

Asia	8.980	68,6	-5,2
África	718	5,5	3,2
Oceanía	5	0,0	0,0
Total	13.099	100,0	-3,6

Fuente: elaboración propia con base en (Acimac, 2019)

Por otra parte, en América Central y del Sur durante el año 2018, tanto la producción como el consumo permanecieron estables, con una producción de 1.064 millones de m² y un consumo de 1.168 millones de m² (8,1% y 9,1%, en su orden).

Tabla 2. Consumo mundial de cerámica

Áreas consumidoras de cerámica			
Área	2018 (millones m²)	Porcentaje del consumo mundial	Porcentaje de variación de 2018 respecto de 2017
Unión Europea (28)	1.034	8,1	2,5
Resto de Europa (Turquía incluida)	556	4,3	-1,6
América del Norte (México incluido)	565	4,4	-0,9
América Central y del Sur	1.168	9,1	0,7
Asia	8.511	66,4	-5,6
África	930	7,3	1,1
Oceanía	54	0,4	1,9
Total	13.099	100,0	-3,6

Fuente: elaboración propia con base en (Acimac, 2019)

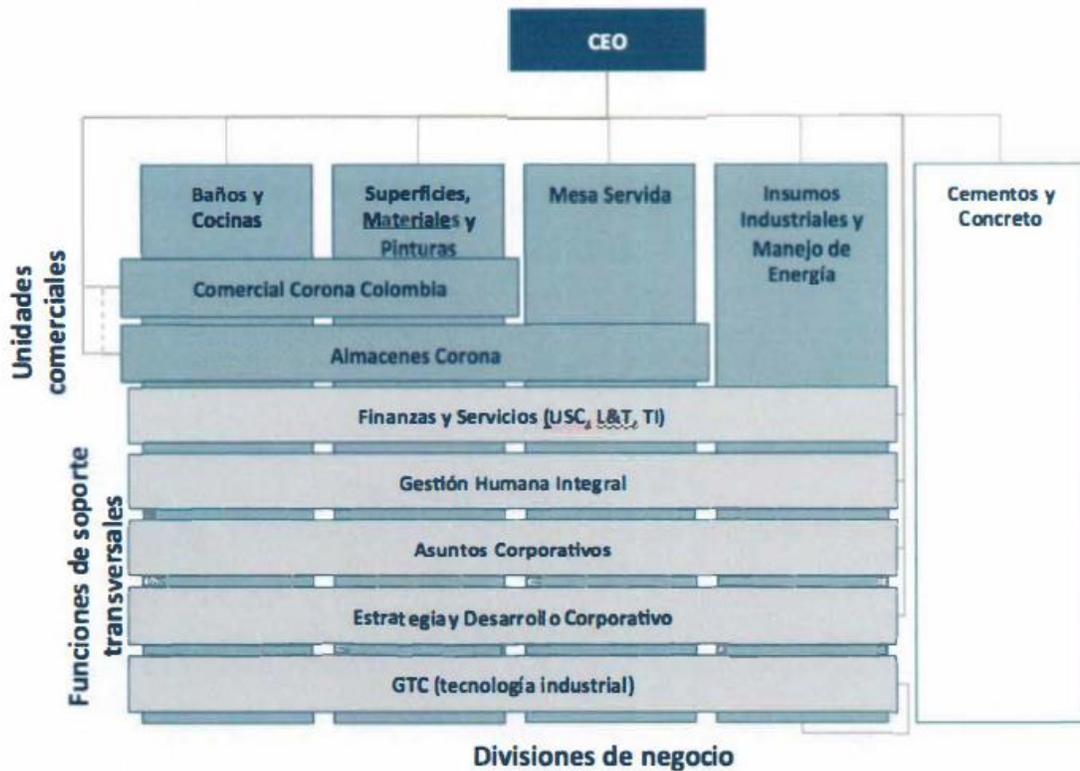
En el mercado nacional, de modo adicional a la Organización Corona, se tiene presencia y competencia de baldosas de la firma San Lorenzo de Perú, de la compañía Lamosa de México, importaciones de China y empresas nacionales como Alfagres y Eurocerámica, entre otras, por lo que se requiere generar nuevas estrategias de gestión para mejorar la competitividad y sostenerse en el mercado; dichas estrategias pueden estar enmarcadas en diseño de nuevos productos y minimización de los costos de producción a través de la mejora de la disponibilidad de los sistemas de producción por una eficaz gestión global del mantenimiento, tal como lo describen Navarro Eola et al. (1998).

En la actualidad, la Organización Corona es líder en el sector cerámico en Colombia y en el mundo puesto que ha obtenido el reconocimiento como una de las marcas de cerámica más importantes y ocupa la quinta posición en la categoría de productores de cerámica sanitaria y la número 25 en producción de baldosas (Acimac, 2019).

Según Corona (2020),

Corona es una multinacional colombiana con 135 años de historia empresarial. Está compuesta por seis unidades estratégicas de negocio dedicadas a la manufactura y comercialización de productos para el hogar y la construcción. Cuenta con 19 plantas de manufactura en Colombia, 3 en Estados Unidos, 3 en Centro América, 3 en México y una en Brasil, así como con una oficina de suministros globales en China y una comercializadora en México. Genera más de 14.000 empleos. Exporta sus productos a diversos mercados alrededor del mundo, incluyendo Estados Unidos, Canadá, México, Brasil, Chile, Venezuela, Centro América, el Caribe, Italia, España y el Reino Unido.

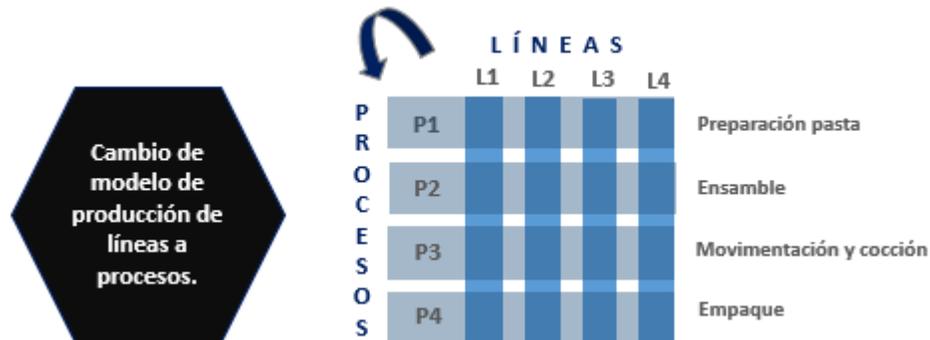
Ilustración 1. Estructura de la Organización Corona



Fuente: Puerto, O. *Sistema de producción Corona* (2015)

Con el objetivo de mejorar la competitividad de la empresa y mantener el liderazgo en el sector, los directivos encargaron a cada gerencia de la unidad de negocio de superficies de la Organización Corona iniciar procesos de mejora que permitan minimizar sus costos y sus gastos en la operación, la logística y la gestión comercial. Debido a lo anterior, y acorde con las buenas prácticas de la industria de revestimientos cerámicos en el mundo, se decidió ajustar el modelo de producción de revestimientos, que en la actualidad está organizado por líneas, a uno organizado por procesos. Con estas nuevas distribuciones se produjeron cambios estructurales en las áreas de producción, calidad, ingeniería, proyectos y mantenimiento, entre otras.

Ilustración 2 Cambio del modelo lineal a procesos transversales



Fuente: Puerto, O. *Sistema de producción Corona* (2015)

La unidad de negocio de superficies de la Organización Corona tiene una capacidad instalada total para producir 3,5 millones de m² mensuales de baldosas, en cuatro plantas en el país distribuidas de la siguiente manera:

Tabla 3. Capacidad de producción en el año 2019

Planta	m ² (en millones)	Porcentaje de participación
Madrid	1,50	43
Sopó I	0,60	17
Sopó Prestigio	0,60	17
Girardota	0,80	23
Total	3,50	100

Fuente: elaboración propia

Las cuatro plantas tienen un total de 4.000 equipos productivos con operación y procesos diferentes. La disponibilidad alcanzada promedio (incluye solo las paradas por mantenimiento) de estos activos está alrededor del 90% y el costo de

mantenimiento es de cerca del 12% del costo de producción. Cada planta tiene definidas herramientas del modelo de gestión de activos con base en el Puerto, O. *Sistema de Producción Corona* (2015), que agrupa conceptos de TPM, *six sigma* y *lean manufacturing*, entre otras posibilidades, con los que ha conseguido muy buenos resultados.

En la actualidad, la gestión de mantenimiento de los activos productivos demanda gran importancia para lograr los objetivos de las empresas, con el fin de generar valor para asegurar la disponibilidad con el menor costo posible para así lograr ser competitivos en la industria (Mora Gutiérrez, 2008).

A través de los años, el mantenimiento ha evolucionado de manera muy significativa debido a que en la actualidad existen múltiples metodologías, técnicas y conceptos con los que se logran optimizar en forma adecuada los recursos y la disponibilidad de los activos productivos de las empresas. La implementación de herramientas y modelos para la gestión de mantenimiento para los activos productivos, como TPM, RCM, PMO y de clase mundial, entre otros, es la mejor opción para poder cumplir los objetivos de la compañía en cuanto a aumentar la disponibilidad, la confiabilidad y la mantenibilidad (CMD), con el fin de optimizar los planes de mantenimiento actuales y de mejorar los recursos para la operación de los procesos en general (Smith, 1998). El conocimiento de la situación actual del proceso de manera habitual se hace al compararla respecto con un estándar, con una calificación o con otras empresas del sector (*benchmarking*). De esta forma se determina la brecha que tiene y las áreas o asuntos que es necesario mejorar (Wireman, 2004).

En el desarrollo del presente documento se propuso hacer un *benchmarking* del proceso de mantenimiento que se lleva a cabo en la planta de producción de superficies de Madrid; de manera tal que permitiese generar un rediseño del modelo de mantenimiento para los activos productivos de la planta mediante la

agrupación de las mejores prácticas actuales por medio de las que se logre la optimización de la disponibilidad operacional y del costo de mantenimiento.

Para ello, se aplicaron conceptos de *benchmarking* presentados por Terry Wireman (2004), que planteó una metodología lógica paso a paso que le permite a toda empresa realizar un esfuerzo de evaluación comparativa rentable mediante un formulario detallado para el levantamiento y la "calificación" de la gestión de mantenimiento. El citado autor expuso en su metodología los siguientes pasos que se hacen necesarios para aplicar el benchmarking en una *empresa* o un proceso:

1. Determinar los aspectos que van a ser sometidos a *benchmarking*.
2. Seleccionar las empresas o los procesos que se van a analizar.
3. Determinar la información que se va a recolectar.
4. Recolectar la información.
5. Analizar la información.
6. Adaptar los mejores aspectos.

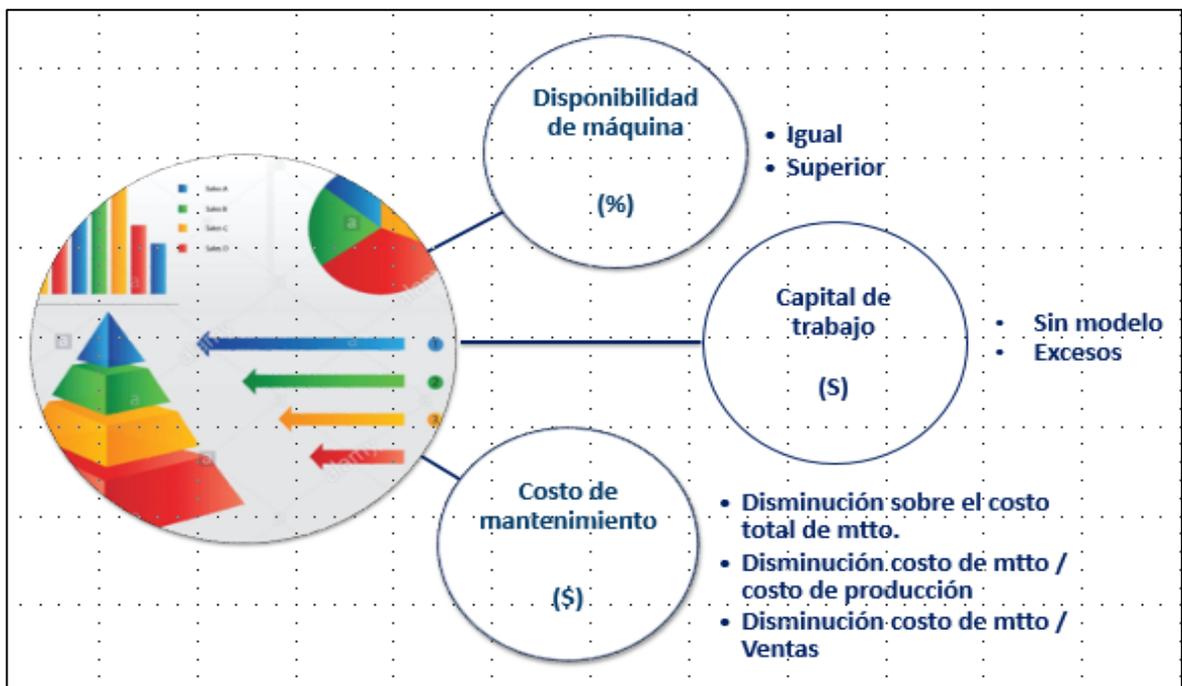
Con estas aplicaciones y metodologías se busca mejorar o sostener la disponibilidad de las máquinas y los procesos productivos con un costo razonable y con las métricas que deben analizarse para poder evaluar el comportamiento operacional de las instalaciones y de los equipos. De esta manera es posible implementar un plan de mantenimiento orientado a perfeccionar la labor de mantenimiento (Amendola, 2003) y así llevar a la toma de decisiones gerenciales respecto al uso de los recursos (Drucker, 2018) que se destinarán.

Kahn (2006) habló por primera vez de KPI para el mantenimiento con el fin de buscar una metodología que permitiese cuantificar las mejoras de los proyectos de innovación en la función de mantenimiento. Propuso que para visualizar los beneficios esperados se deben monitorizar en forma adecuada el proceso, las

variaciones y las tendencias, monitorear los KPI establecidos y tener implantado un adecuado programa de mejora continua.

De acuerdo con la norma UNE-EN 15341:2008 (UNE, 2008), los KPI son métricas trazables de procesos que permiten tomar decisiones en pro de un objetivo de negocio establecido y están estructurados en tres grupos: económicos, técnicos y organizacionales.

Ilustración 3. Indicadores claves de mantenimiento (KPI)

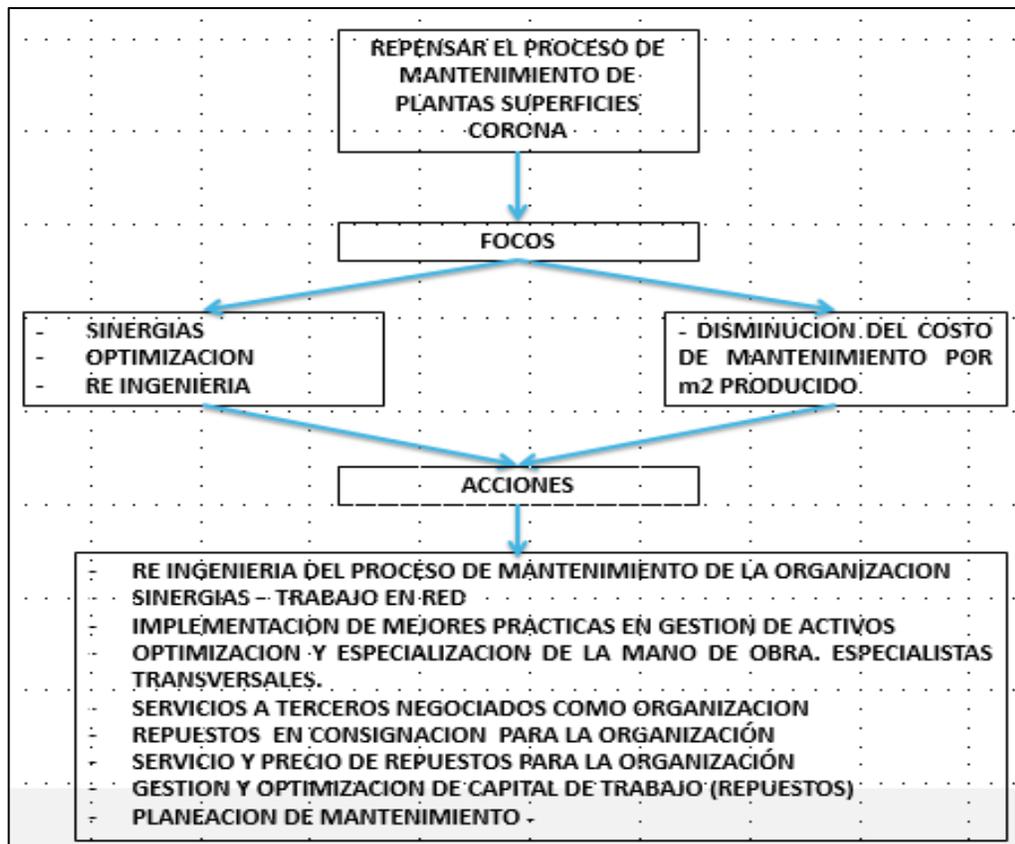


Fuente: Puerto, O. *Sistema de producción Corona* (2015)

El esquema para lograrlo se podría plantear y conseguir con un listado de acciones que permitan repensar o rediseñar los procesos y los modelos de mantenimiento aplicados en la actualidad en cada uno de los procesos de la planta de producción de baldosas de Madrid. Esta metodología se amplía en el marco conceptual y, una vez se aplique, se logrará evidenciar cómo se espera

desarrollar el enfoque del proceso de mantenimiento, que se muestra en la ilustración 4.

Ilustración 4. Enfoque del proceso de mantenimiento



Fuente: Puerto, O. *Sistema de producción Corona* (2015)

Las mejores prácticas y las oportunidades de mejora que se logren identificar para reforzar la gestión de mantenimiento se podrían presentar en el futuro a la gerencia de operaciones para que determine prioridad, tiempos, objetivos y recursos requeridos para su implementación, con el propósito de buscar mantener el liderazgo y la competencia en producción y ventas de la organización.

2. JUSTIFICACIÓN

Las cuatro plantas de la unidad de negocios de superficies tienen un total de 4.000 equipos productivos con operación y procesos diferentes. En la planta de Madrid se cuenta con 1.535 activos productivos distribuidos de la siguiente forma:

Tabla 4. Distribución de equipos productivos en la planta de Madrid

Proceso	Cantidad de equipos	Porcentaje de participación
Cocción	37	2
Empaque y revisión final	167	11
Ensamble	446	29
General	87	6
Laboratorio	66	4
Movimentación	246	16
Preparación del esmalte	119	8
Preparación de la pasta	367	24
Total general	1.535	100

Fuente: elaboración propia

Con los planes y las buenas prácticas actuales de mantenimiento se obtiene una disponibilidad alcanzada (incluye las paradas solo por mantenimiento) cercana al 90% y el costo de mantenimiento es de cerca del 12% del costo de producción.

Para atender la solicitud del gerente de operaciones y los jefes de planta se rediseñó o repensó el modelo de mantenimiento de la planta de superficies de Madrid con el fin de buscar el modelo más adecuado que tenga impacto en la

optimización del costo de mantenimiento y mantenga la disponibilidad, la calidad y la seguridad.

El mencionado modelo debe incluir prácticas de última generación en la gestión de activos y, con el fin de atender lo definido en el Comité de Mantenimiento de abril de 2019, no deben verse afectadas por la reducción del costo de mantenimiento (\$/m²), la disponibilidad de máquina, la calidad de producto y la seguridad de los operarios y de las máquinas, de modo que tenga como base que el costo de mantenimiento promedio del año 2018 fue de alrededor del 12% respecto al costo de producción de la planta de superficies de Madrid. Estos costos de mantenimiento están representados en rubros fijos, como repuestos, reparaciones y accesorios de maquinaria, y en rubros variables (que dependen de la cantidad de m² producidos) como refractarios, rodillos, cuerpos moledores, moldes y machos.

Con lo anterior se busca mejorar la eficiencia en términos de los costos de mantenimiento, con el fin de sostener los resultados y los estándares de CMD (confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad) y las políticas de control de inventarios que permitan el cumplimiento de los objetivos de seguridad, calidad y entregas y con apoyo en modelos o estrategias de gestión de mantenimiento industrial para equipos y procesos productivos en las gerencias de operación de empresas manufactureras con base en metodología de *benchmarking* (Wireman, 2004).

3. OBJETIVOS

Objetivo general

Rediseñar el modelo de gestión de mantenimiento para los activos productivos de la planta de superficies Corona de Madrid que agrupe las mejores prácticas actuales para optimizar la disponibilidad de los procesos y permita obtener un costo apropiado de acuerdo con los lineamientos de la organización.

Objetivos específicos

- Identificar las mejores prácticas de mantenimiento mediante un *benchmarking* interno para homologar un posible plan de mantenimiento que se pueda aplicar en los diferentes procesos productivos de superficies con el fin de optimizar recursos.
- Analizar los costos fijos de mantenimiento (repuestos, reparaciones y accesorios) para proponer su posible minimización, con el fin de sostener los resultados y los estándares de CMD (confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad) y las políticas de control de inventarios que permitan el cumplimiento de los objetivos de seguridad, calidad y entregas.
- Revisar y proponer la aplicación de herramientas del Sistema de Producción Corona (SPC), con inclusión de prácticas de última generación en la gestión de activos y con el propósito de aprovechar el uso del módulo PM de SAP.

4. MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL

4.1. Eficiencia operacional. Producción y mantenimiento

La eficiencia y la eficacia en los procesos operativos les permite a las empresas ofrecer a sus clientes internos y externos una proposición basada en la excelencia operativa, implementando para ello el *balanced scorecard* (BSC) o cuadro de mando integral como herramienta de gestión que permite monitorear mediante indicadores (financieros, operativos, productivos, de recursos humanos, de calidad, de rentabilidad, etc.) el cumplimiento de la estrategia desarrollada por la dirección, a la vez que tomar decisiones rápidas y acertadas para alcanzar los objetivos (Kaplan y Norton, 2000).

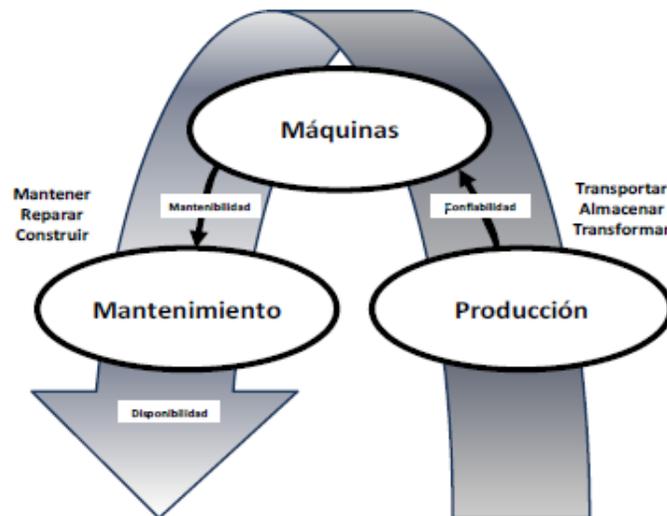
Porter (2013) hizo claridad en cuanto a la diferencia entre efectividad operativa y estrategia y relacionó el primer aspecto con la realización de actividades de tipo superior de mejor manera que la competencia y el posicionamiento estratégico con la realización de actividades similares o distintas de diferentes modos. Por otra parte, myABCM (s.f.) afirmó que el concepto de eficiencia operacional engloba la práctica de volver a los procesos, hacerles seguimiento con el objetivo de averiguar si se están realizando en forma correcta (es decir, si generan rentabilidad, con calidad y si evitan, por ejemplo, el desperdicio para la empresa) y para que, en caso de que se identifiquen fallas, se estudien las alternativas para solucionarlas.

En ese sentido, las compañías deben asegurar que los activos fijos continúen prestando el servicio para el que fueron diseñados, por lo que, para obtener una buena confiabilidad aplicada a los sistemas productivos, se hace necesaria una buena comunicación con el área de mantenimiento, puesto que sin la disponibilidad de equipos no hay producción (Mora Gutiérrez, 2007b); es así como el área de gestión del mantenimiento tiene gran relevancia (Moubray, 2004). Por

otra parte, los avances tecnológicos han influenciado las conductas gerenciales, lo que obligó al área de gestión de mantenimiento a ser un sector de permanente aprendizaje, tanto en el campo tecnológico como en el científico (Wireman, 2004).

En el sistema productivo se encuentran tres elementos: mantenimiento, producción y máquinas, que se relacionan entre sí a partir de premisas y normas de aceptación universal así: la relación entre productores (producción) y máquinas la establecen los principios de la confiabilidad, la que hay entre mantenedores (mantenimiento) y máquinas se define por las reglas de la mantenibilidad y la existente entre mantenedores y productores se presenta por una relación indirecta a través de los equipos y está soportada por el concepto de disponibilidad; a lo anterior se le denomina CMD (confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad) (Mora Gutiérrez, 2007 a). La confiabilidad se mide a partir del número y de la duración de las fallas (tiempos útiles, reparaciones, tareas proactivas, etc.), la mantenibilidad se cuantifica a partir de la cantidad y de la duración de las reparaciones o los mantenimientos planeados (tareas proactivas) mientras que la disponibilidad se mide (o se obtiene por cálculo y deducción matemática) a partir de la confiabilidad y de la mantenibilidad (Moubray, 2004).

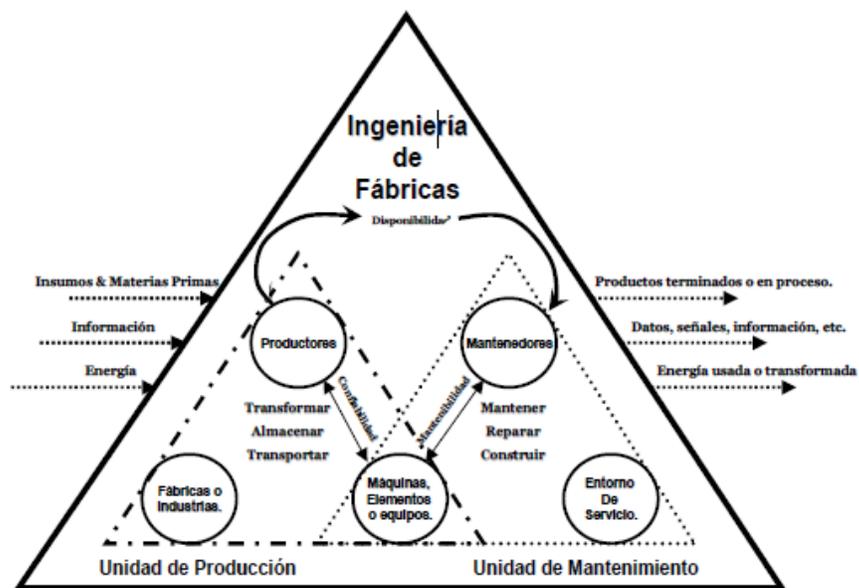
Ilustración 5. Elementos del sistema productivo



Fuente: Mora Gutiérrez (2008)

A continuación se presenta en forma gráfica la interrelación que existe entre los elementos del sistema productivo, según Mora Gutiérrez (2007b):

Ilustración 6. Sistema integral de mantenimiento y operación



Fuente: Mora Gutiérrez (2007b)

La unidad de mantenimiento se compone, a su vez, de tres elementos, pero con diferentes denominaciones: mantenedores (personas), sitios físicos en los que prestar el servicio de mantenimiento (entorno) y máquinas (artefactos). Para lograr la función propia de mantenimiento, el sistema ejerce tres acciones básicas: reparar, mantener y construir (Chiavenato, 2005).

4.2. Historia y modelos de gestión de mantenimiento

4.2.1. Historia del mantenimiento

A finales del siglo XVIII y comienzos del XIX, durante la Revolución Industrial, con las primeras máquinas se iniciaron los trabajos de reparación. El comienzo de los conceptos de competitividad y costo planteó en las grandes empresas las preocupaciones hacia las fallas o los paros que se producían en la producción. Hacia los años veinte aparecieron las primeras estadísticas sobre la tasa de fallas en motores y equipos de aviación (Molina, 2004).

Tavares (2001) analizó que con la llegada de la Primera Guerra Mundial y con la implantación de la producción en serie, instituida por Ford, las fábricas pasaron a establecer programas mínimos de producción y, como consecuencia, sintieron la necesidad de formar equipos que pudiesen efectuar reparaciones en máquinas en servicio en el menor tiempo posible, sin requerir una gran infraestructura ni personal altamente calificado. Así surgió un órgano subordinado a la operación, cuyo objetivo básico era la ejecución del mantenimiento, hoy conocida como mantenimiento correctivo o reactivo, que corresponde la primera generación del mantenimiento (1933-1938).

Desde la Segunda Guerra Mundial y hasta los años sesenta, las presiones del período de guerra aumentaron la demanda de todo tipo de productos, al mismo tiempo que el contingente de mano de obra industrial, disminuyó en forma sensible

(Kardec y Nascif, 2002). Como consecuencia, hubo un fuerte aumento de la mecanización, así como de la complejidad de las instalaciones industriales. Comenzó a evidenciarse la necesidad de mayor disponibilidad y confiabilidad en la búsqueda de la máxima productividad y, como la industria era bastante dependiente del buen funcionamiento de las máquinas, surgió la idea de que las fallas de los equipos podían prevenirse, lo que generó el concepto de mantenimiento preventivo (Torres, 2010).

El mantenimiento preventivo o planeado trajo consigo un conocimiento amplio de la máquina y de su control histórico para luego llevar a cabo las actividades de planificación. El hecho de poder planificar los trabajos del departamento de mantenimiento permitió prever los recambios o medios necesarios y concretar acuerdos mutuos con los responsables de la producción para buscar el mejor momento para realizar el paro e, incluso, para planificar el tiempo de la intervención. Sin embargo, para la realización del mantenimiento preventivo se requirió invertir en la infraestructura y la mano de obra porque el hecho de proceder a los recambios cada cierto tiempo originó costos adicionales, pues en muchas ocasiones sucedía que se cambiaban piezas que aún disponían de vida útil. Esta etapa, caracterizada por la aplicación del mantenimiento preventivo, comprende la segunda generación del mantenimiento (1939-1966) (Roberts, 2009).

El incremento de la automatización significó que cada falla ocurrida afectara en más alto grado la productividad y los patrones de calidad del producto, además de las serias consecuencias que ella provocaba en la seguridad y en el medio ambiente, en momentos en que los patrones de exigencias en estas áreas crecían de manera acelerada. Entraron en acción, entonces, las técnicas de inspección desarrolladas en la década por los métodos de vibraciones y otras técnicas de inspección intensiva y sistemática, que se basaron en la predicción de la falla, antes de que ocurrieran, con el fin de seguir el comportamiento a través del

monitoreo de la condición del equipo, en intervalos de tiempo establecidos con anterioridad. Al mantenimiento que utiliza herramientas y técnicas de medición de parámetros físicos para la inspección a los equipos en intervalos regulares, mediante acciones de prevención de fallas antes de su ocurrencia, se le denomina predictivo (Moubray, 2001).

Con la aplicación del mantenimiento predictivo se comenzaron a utilizar, con determinado grado de importancia, los conceptos de disponibilidad y confiabilidad, trabajo que requiere conocimiento técnico especializado. Por tanto, la aplicación de este tipo de mantenimiento se justifica en máquinas o en instalaciones en las que los paros intempestivos ocasionan grandes pérdidas y las paradas innecesarias generan grandes costos (Molina, 2004). El mantenimiento predictivo también puede utilizarse mediante la aplicación las técnicas más sencillas posibles, empleadas por los técnicos habituales en forma constante y por medio del análisis constante de la evolución de las variables físicas medidas (García Garrido, 2009). La etapa caracterizada por la aplicación del mantenimiento predictivo estableció la tercera generación del mantenimiento (1967-1989).

Cuando la práctica del mantenimiento fue analizada como una parte del programa de gestión total de la calidad (TQM, por las siglas de la expresión en inglés *total quality management*), algunos de sus conceptos no parecían encajar en el proceso; sin embargo, en 1969, Seiichi Nakajima, un alto funcionario del Instituto Japonés de Mantenimiento de la Planta Nippon Denso KK del grupo Toyota, desarrolló por primera vez los conceptos de TPM (*total productive maintenance*, que en español equivale a mantenimiento productivo total) y después, en los años setenta, se inició su implementación por todo Japón (Roberts, 2009). El TPM incorporó nuevos conceptos en la aplicación práctica del mantenimiento comparados con las generaciones anteriores, pues se incluyó, en 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 de los

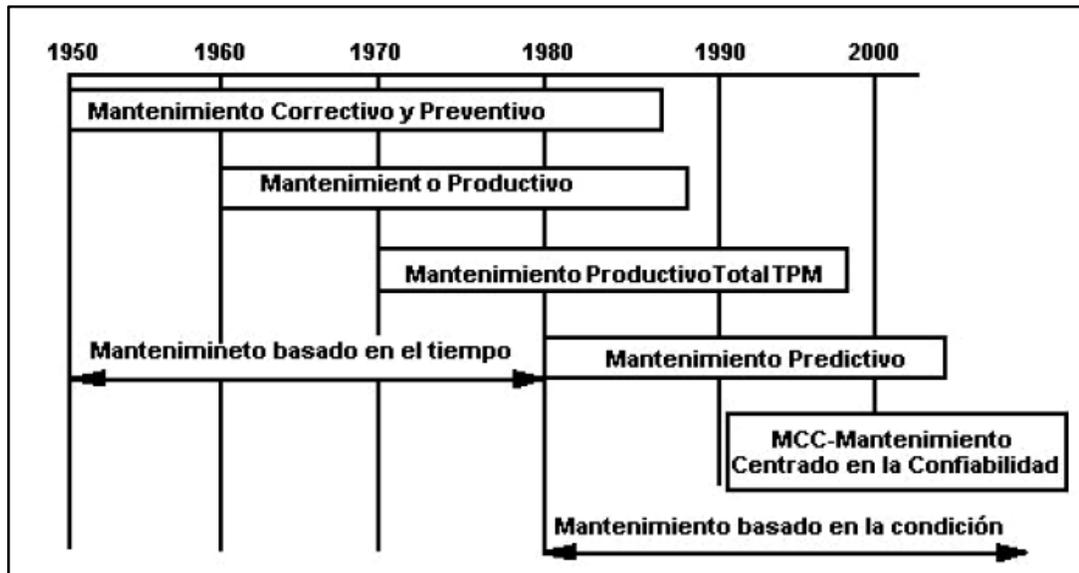
mantenimientos preventivo, correctivo y predictivo, al igual que las mejoras y la prevención del mantenimiento. El JIPM (Japan Institute of Plant Maintenance), definió el TPM como un sistema orientado a lograr cero accidentes, cero defectos y cero pérdidas (Nakajima, 1991).

El término confiabilidad en el mantenimiento, que en inglés es *reliability*, surgió de los análisis de falla en los equipamientos electrónicos para uso militar, durante la década de los cincuenta en los Estados Unidos (Kardec y Nascif, 2002). El ingeniero Takutaro Suzuki (1994) estudio, aplicó y publicó el concepto de mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) y planteó que, para optimizar la aplicación del TPM, es necesario la metodología RCM, que tuvo su aparición inicial en la industria aeronáutica con la intención de mejorar la seguridad y confiabilidad de las aeronaves. El primer documento conocido sobre el tema fue un reporte escrito por F. S. Nowlan y H. F. Heap publicado en 1978. Esta etapa, caracterizada por la aplicación de las técnicas del TPM y el RCM, se considera la cuarta generación del mantenimiento (1990-2002).

Desde los últimos años, la quinta generación del mantenimiento está centrada en la terotecnología. Esta palabra, derivada del griego, significa el estudio y la gestión de la vida de un activo o recurso desde el mismo comienzo (con su adquisición) hasta su propio final, con la inclusión de las formas de disponer de él y de gestionarlo para actualizarlo, reponerlo, desmontarlo, etc., mediante la integración de prácticas gerenciales, financieras, de ingeniería, de logística y de producción a los activos físicos, con la mira de buscar costos de ciclo de vida (CCV) económicos, soportados en software para la gestión del mantenimiento o CMMS (*computerised management maintenance system*) y alineados con la administración de clase mundial (*world class management*) (Mora Gutiérrez, 2009).

A continuación se presenta en forma gráfica el proceso evolutivo del mantenimiento desde su aparición hasta la actualidad.

Ilustración 7. Evolución de los tipos de mantenimiento



Fuente: Kardec y Nascif (2002)

4.2.2. Modelos de mantenimiento

La gestión y la aplicación del mantenimiento de máquinas o equipos ha evolucionado desde el correctivo (solo atender fallas) hasta el basado en confiabilidad (predicción de posibles fallas), para lo que se definieron e implementaron diferentes modelos y estrategias al respecto (Smith, 1998). Los modelos de mantenimiento que se usan con mayor énfasis en el mundo son TPM, RCM, proactivo, reactiva, de clase mundial, PMO, centrado en objetivos y basado en riesgos que fundamentan su establecimiento a partir de los indicadores de CMD (confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad) (Mora Gutiérrez, 2008), que proveen los principios básicos estadísticos y proyectivos de las dos manifestaciones de mantenimiento: fallas y reparaciones, hacia las que, en

términos generales, se enfoca la gestión de los diferentes modelos, tanto en disponibilidad como en costo (Smith, 1998).

4.2.2.1. Modelo de mantenimiento productivo total (TPM)

Es una filosofía de origen japonés que se enfoca hacia la eliminación de pérdidas asociadas con paros, calidad y costo de los procesos productivos industriales. Se contemplan en ocho pilares que apoyan al pequeño equipo; el mantenimiento planeado es uno de los pilares más relevantes puesto que permite alcanzar y obtener los mejores resultados, como la EGP (eficiencia global de producción) y los KPI (indicadores claves de desempeño). Para ello, cada uno de los ocho pilares tiene un ciclo proactivo y otro reactivo para apoyar al pequeño equipo (Nakajima, 1991).

El TPM se define como el conjunto de disposiciones técnicas, medidas y actuaciones que permiten garantizar que las máquinas, las instalaciones y la organización que conforman un proceso básico o línea de producción puedan desarrollar el trabajo que tienen previsto en un plan de producción en constante evolución por la aplicación de la mejora continua (Rey, 1996). El TPM tiene cuatro objetivos fundamentales, que son: satisfacción del cliente, dominio de los procesos y los sistemas de producción, implicar a personas a través del mantenimiento autónomo y el aprendizaje y la mejora continua (Smith, 1998).

A continuación se presentan los ocho pilares del TPM que permiten que la buena implementación en la empresa sea un éxito (Perez Verzini, 2006).

Ilustración 8. Pilares del TPM



Fuente: Perez Versini (2006)

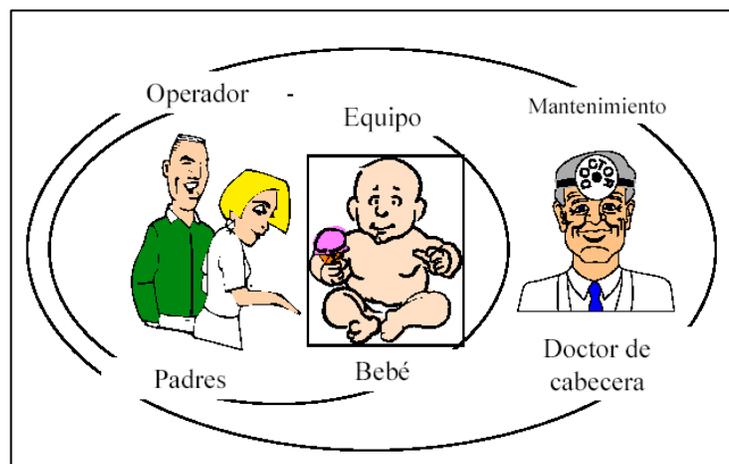
EL TPM tiene gran importancia en el momento de progresar del nivel 2 (operacional) al 3 (táctico); de igual manera, el TPM sirve como base fundamental para el desarrollo de otras tácticas de mantenimiento, como lo son el RCM y la proactiva, debido a que permite tener una organización con la suficiente preparación para afrontar el cambio. Además, se llevan a cabo cambios en la organización enfocados hacia el orden, el aseo y la seguridad y que sirven para facilitar la implementación de otras tácticas (Moblely et al., 2008).

El TPM es una táctica con perfil humano, lo que favorece la relación entre el recurso humano en producción y en mantenimiento. Además, utiliza acciones correctivas, modificativas y preventivas en la mayoría de las intervenciones, aunque en ocasiones se usan las predictivas (Mora Gutiérrez, 2007b).

LILA y las cinco eses del TPM. El mantenimiento autónomo juega un papel muy importante en la implementación de los pasos de TPM porque el principio de cero

averías empieza por exponer los defectos escondidos que previenen las averías antes de que ocurran y eso se logra con limpieza, inspección, lubricación y ajuste (LILA) adecuados de los equipos (Shinotsuka, 2003) puesto que el operador (padre) del equipo o la máquina productiva (bebé) es quien conoce la forma de manejarlo, ajustarlo y de atenderlo antes de requerir la ayuda o intervención de un técnico de mantenimiento (doctor).

Ilustración 9. Relación entre operadores y mantenimiento



Fuente: Shinotsuka (2003)

Otro aspecto fundamental de TPM por utilizar es el enfoque de las cinco eses (orden y aseo). Se le llama así debido a que representan acciones que son principios expresados en cinco palabras japonesas que comienzan con ese y cada una tiene un significado con respecto a la creación de un lugar digno y seguro de trabajar. La implementación de las cinco eses de TPM se hace por medio de pasos con los que se establecen unas metas para implementar y se efectúan actividades para su cumplimiento (Shinotsuka, 2003). A continuación se muestran los pasos para la implementación de este enfoque:

Ilustración 10. Enfoque de las cinco eses



Fuente: Shinotsuka (2003)

4.2.2.2. Modelo de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM)

El RCM es uno de los procesos desarrollados durante 1960 y 1970 con la finalidad de ayudar a las empresas a determinar las políticas para mejorar funciones de los activos físicos y manejar las consecuencias de sus fallas. El principal objetivo del mantenimiento centrado en la confiabilidad es reducir el costo de mantenimiento, para enfocarse en las funciones más importantes de los sistemas y de esta manera evitar o inhibir acciones de mantenimiento que no son estrictamente necesarias (Sainz y Sebastián, 2013).

El RCM se define como un proceso usado para determinar lo que debe hacerse para asegurar que cada recurso físico continúe realizando lo que sus usuarios desean que haga en su producción normal actual (Mora Gutiérrez, 2008). El RCM se inscribe, entre los procesos de mejora continua, como una herramienta de ciclo proactivo: las mejoras no se producen solamente a partir del aprendizaje de las fallas que ocurren, sino que se generan con la velocidad deseada por la organización por medio de la utilización de todo el conocimiento de sus

integrantes. El RCM es un procedimiento para identificar fallas potenciales y definir acciones de mejora de mantenimiento, operación y diseño de máquinas y equipos (Sainz y Sebastián, 2013).

4.2.2.3. Modelo de mantenimiento productivo total (TPM) y centrado en confiabilidad combinados (RCM)

Existe otra táctica de mantenimiento y es la de combinar el TPM con el RCM con la que se ofrecen más beneficios para alcanzar los intereses de la organización, puesto que se pueden extraer varias herramientas de cada una de dichas tácticas por parte de mantenimiento en busca de obtener la confiabilidad, la disponibilidad y la mantenibilidad. La combinación de RCM y TPM facilita el trabajo en equipo entre mantenimiento y producción, mejora la confiabilidad de las máquinas y reduce los costos de operación (Mora Gutiérrez, 2008).

4.2.2.4. Modelo de mantenimiento proactivo

El mantenimiento proactivo es una metodología que se encarga del diagnóstico y de las tecnologías predictivas con el fin de lograr aumentos significativos de la vida útil de los equipos, con lo que se disminuyen las fallas antes de que ocurran. Esta táctica es la evolución del departamento de mantenimiento, puesto que aplica planes de mantenimiento basados en estudios estadísticos y técnicas predictivas (Oiltceh Analysis S. L., 1995).

La táctica proactiva disminuye los elevados costos en el departamento de mantenimiento, tanto para la reposición de maquinaria como para su mantenimiento (Pirret, 1999).

Ilustración 11. Estructura proactiva

<i>Táctica de Mantenimiento Proactivo</i>		
Filosofía o Táctica de Mantenimiento		
Categorías del Mantenimiento	Acciones Preventivas	Correctivas
Divisiones categóricas del Mantenimiento – Acciones o Tareas	Planificado Predictivo Basado en Condición	Averías Reparaciones
Organización	Planeado	No planeado
Plan presupuestal	Normal	Gastos Extras

Fuente: Mora Gutiérrez (2008)

4.2.2.5. Modelo de optimización del mantenimiento planeado (PMO)

La optimización de mantenimiento planeado (PMO) es una táctica adicional que se puede implementar en situaciones en las que no se logra implementar en debida forma el RCM. Es muy importante para los equipos que están en operación continua. La PMO se basa en la criticidad de las máquinas, que se define y aplica con planes de mantenimiento preventivo a los sistemas, los subsistemas o los componentes. En general, se puede considerar la PMO como una opción seria e interesante frente a la robustez del RCM, dado que la PMO es más efectiva porque solo analiza las fallas y los modos de fallas relevantes (y no los insignificantes o indiferenciados), trabaja con equipos en funcionamiento y es mucho más fácil de implementar (Gulati, 2009).

4.2.2.6. Modelo de mantenimiento reactivo

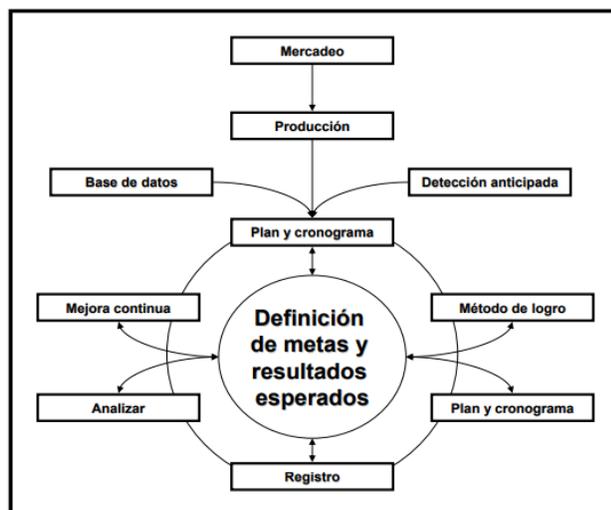
La táctica reactiva de mantenimiento es aplicable a organizaciones industriales y de servicios que no permanecen mucho tiempo con los equipos, que consumen o desarrollan tecnología, en empresas en las que sus productos y sus áreas de negocio cambian en forma permanente, razón por la que las empresas que se ven

obligadas a desarrollar competencias y habilidades que les permitan intervenir de manera oportuna las necesidades de mantenimiento (Idhammar, 1997). Es aquel mantenimiento que se lleva a cabo solo después de que la máquina falla o experimenta problemas. A primera vista es una táctica que podría considerarse como la más económica, pero las empresas pueden tener grandes dificultades a la hora de sustituir o reparar un equipo sin ninguna previsión. En dicha situación toma importancia asegurar la disponibilidad de los recursos necesarios para implementar el mantenimiento (Rius, 2006).

4.2.2.7. Modelo de mantenimiento orientado hacia los resultados

El mantenimiento orientado hacia los resultados lo utilizan las personas con mejores habilidades en la empresa, puesto que buscan soluciones para los problemas más recurrentes. El resultado (R) que se obtiene al implementar esta táctica se calcula o evalúa mediante la calificación la calidad de la idea (Q) y el nivel de aceptación de la línea o la mejora que permita minimizar la recurrencia de las fallas o los problemas.

Ilustración 12. Líneas de acción de la táctica por resultados



Fuente: Mora Gutiérrez (2007b)

4.2.2.8. Modelo de mantenimiento de clase mundial (WCM)

La manufactura de clase mundial (*world class manufacturing* o WCM) nació como un modelo de origen japonés para promover la mejora continua en los procesos de producción y logística automotriz y se ha ido modernizando como un sistema integrado de gestión para promover la total competitividad de las empresas. Está basado en la filosofía *kaizen* y toma en consideración varios modelos o programas como control total de la calidad o *total quality control* (TQC), mantenimiento productivo total o *total productive maintenance* (TPM), justo a tiempo o *just in time* (JIT), manufactura esbelta o *lean manufacturing* y seis sigma, entre otros (Monden, 1998).

WCM puede considerarse una ampliación del TPM, dado que a los pilares básicos del último se le incluyeron otros, que son: higiene y ambiente en el trabajo, servicio al cliente, control total de la calidad del producto, desarrollo del personal y reducción de costos, de modo que este nuevo modelo industrial está enfocado de manera directa hacia el cliente. Las fábricas, desde lo más básico hasta lo más avanzado en sus procesos, procuran alcanzar la total satisfacción del cliente (Asociación Española para la Calidad – QAEC, 2019).

La orientación de la gestión de mantenimiento hacia la manufactura de clase mundial requiere que se tenga un alto nivel de prevención y planeación, soportado en un adecuado sistema gerencial de información de mantenimiento (CMMS), que permitan la planeación, la prevención, la programación, la anticipación, la fiabilidad, el análisis de pérdidas de producción y de repuestos, la información técnica y los cubrimientos de los turnos de operación, con un cambio de actitud y cultura hacia el cliente (Mora Gutiérrez, 2008).

4.2.2.9. Modelo de mantenimiento centrado en habilidades y competencias

Se enfoca en que el recurso humano de la compañía gane habilidades y competencias en forma tal que se pueda prestar un mejor servicio en las áreas que componen la empresa, con un departamento de mantenimiento cada vez más reducido, pero con un mayor grado de habilidad, que logre tener un dominio extenso de las actividades de mantenimiento que afectan de manera más directa y notoria los equipos críticos y subcontratar actividades generales o básicas de mantenimiento o de equipos no críticos o que no paran el proceso productivo (Mora Gutiérrez, 2009). Lo anterior se basa en que “el eslabón más débil de un sistema de producción es el hombre, pero a su vez es quien tiene en sus manos la garantía y la confiabilidad de su funcionamiento” (Amendola, 2003).

En el anexo 1 se presenta un breve resumen de cada modelo o metodología de mantenimiento antes expuesta y se precisan sus ventajas y sus desventajas

4.2.3. Estrategia y táctica de mantenimiento

Según Parra Márquez y Crespo Márquez (2012), el proceso de definición de una estrategia para mantenimiento puede describirse mediante la utilización de métodos estándar bien conocidos de planificación estratégica que por lo común incluyen:

- Obtención, a partir de los objetivos corporativos del negocio, los objetivos y las políticas de mantenimiento de la máxima categoría. Estos objetivos pueden incluir valores estimados y realistas para la disponibilidad, la fiabilidad, la seguridad, el riesgo, el presupuesto de mantenimiento, etc. A su vez, estos objetivos deben ser comunicados a todo el personal que está involucrado en mantenimiento, con inclusión de terceras personas.

- Determinación del desempeño o rendimiento actual de las instalaciones productivas.
- Determinación de los medidores claves por considerar para la evaluación del rendimiento de las instalaciones (*key performance indicators* o KPI).
- Establecimiento de una serie de principios que conducen a la implementación de la estrategia, y que condicionan la posterior planificación, ejecución, evaluación, control y análisis para la mejora continua de las actividades de mantenimiento.

Por otra parte, las tácticas de mantenimiento son las actividades de gestión y operación que, organizadas en forma de secuencial y lógica, permiten determinar los objetivos asignados por el área de mantenimiento en una empresa, con el fin de alcanzar, tanto los más altos niveles de las estrategias definidas como los métodos de gestión y operación. La táctica es la gestión, no es la estrategia, del mantenimiento, que se utiliza para alcanzar dichas metas u objetivos y las responsabilidades en la gestión. Lo anterior permite luego, en el día a día, implementar estas estrategias mediante la planificación, la programación y el control la ejecución del mantenimiento para su realización y mejora, al tener en cuenta los aspectos económicos relevantes para la organización (Mora Gutiérrez, 2007b).

4.2.4. Indicadores de gestión de mantenimiento

Un indicador se define como “la relación entre las variables cuantitativas o cualitativas, que permite observar la situación y las tendencias de cambio generadas en el objeto o fenómeno observado, respecto de objetivos y metas previos e influencias esperadas” (Beltrán Jaramillo, 2000). Los indicadores permiten conocer si se están cumpliendo la misión, los objetivos y las metas, lo que conforma la filosofía de gestión de las organizaciones y por ello los indicadores permiten evaluarla.

Por su parte, Kaplan y Norton (2002) expresaron que un indicador es la medida gerencial que permite la evaluación del desempeño de las labores en los sistemas productivos frente a los objetivos y las metas, en la que se relacionan actividades, estrategias y responsabilidades. Es decir, los indicadores activan la medición en todo sistema de producción y ellos son la base para verificar la actividad económica y sus resultados en cuanto a los costos y la calidad del servicio o el producto.

Según Mora Gutiérrez (2009), para facilitar la interpretación de la información y la toma de decisiones, los indicadores de mantenimiento están estructurados en tres rangos, de acuerdo con el nivel de relacionamiento con los eslabones inmediatos en el proceso de mantenimiento, así:

- **KPI: indicadores claves de desempeño**

Son los indicadores que miden el desempeño interno del proceso de mantenimiento. Reflejan, en especial, el impacto de las decisiones tácticas y son de interlocución interna y en algunos casos, externas. Se destacan la confiabilidad (MTBF: *mean time between failures*, que en español equivale a tiempo medio entre fallas), la mantenibilidad (MTTR: *mean time through repair*, que en español equivale a tiempo medio para reparaciones), número de averías y número de máquinas con cero averías para el caso de la disponibilidad; además la productividad de los técnicos, la reserva y el inventario para el caso de los costos, entre otras posibilidades.

- **KMI: indicadores claves de gestión**

Son los indicadores que miden y sirven de interlocución con usuarios o benefactores del proceso de mantenimiento. Para el caso específico estudiado, la

disponibilidad de las máquinas con el área de manufactura y los costos con el área financiera representan los de mayor importancia.

- **KAI: indicadores claves de acción**

Son los indicadores primarios de actividades, que miden, en especial, el impacto de la ejecución operacional del sistema de mantenimiento. Son de interlocución netamente interna y se destacan el porcentaje de análisis de averías, el porcentaje de cierre de tarjetas *Fuguai*, el porcentaje de cumplimiento del programa de mantenimiento, el número de correctivos y el porcentaje de transferencia de conocimiento, entre otros.

Debe haber una estrecha relación desde los KAI hasta los KMI de manera que todas y cada una de las decisiones y las actividades tengan un enfoque adecuado con la estrategia.

Desde el punto de vista metodológico, existen conceptos filosóficos que facilitan estas definiciones, entre los que se destacan el TPM (mantenimiento productivo total), RCM (mantenimiento centrado en confiabilidad) y WCM (mantenimiento de clase mundial), entre otros. En la práctica se sugiere la combinación de dichas metodologías en un mismo sistema de gestión, de modo que se tengan en cuenta las posibles amalgamas de criticidad de los equipos de un proceso determinado.

4.2.5. Gestión de activos

La gestión de activos es una disciplina enfocada hacia la toma de decisiones a lo largo de la vida útil de un activo físico, en la que se ven implicadas diferentes áreas como la ingeniería, la tecnológica, la de mantenimiento y la financiera, entre otras, con el objetivo de optimizar dichos activos, con el fin de alcanzar sus objetivos estratégicos empresariales. El BSI (2008) definió la gestión de activos

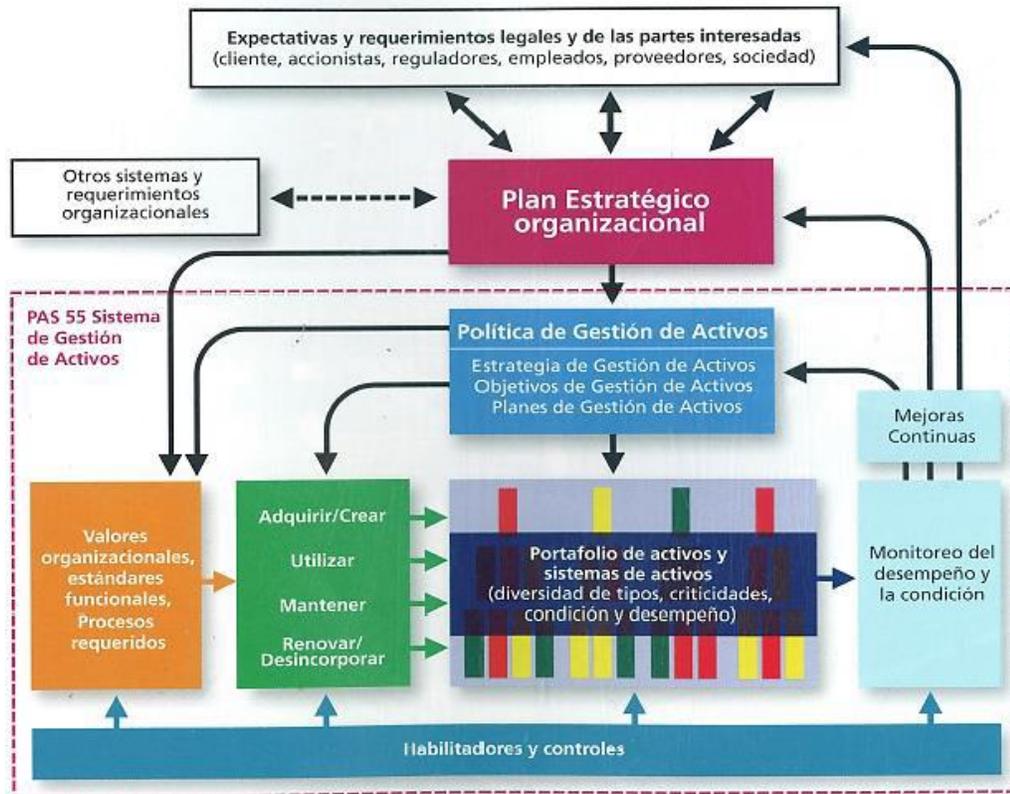
como las actividades y las prácticas coordinadas y sistematizadas a través de las que una organización maneja de manera óptima sus activos y sus sistemas de activos, su desempeño, sus riesgos y los gastos asociados a lo largo de sus ciclos de vida con el propósito de lograr su plan estratégico organizacional.

Entre sus beneficios se encuentran:

- Mejor satisfacción del cliente.
- Mejora en la salud, la seguridad y el desempeño ambiental.
- Optimización del retorno sobre la inversión y el crecimiento.
- Planificación de largo plazo, confianza y sostenibilidad del desempeño.
- Demostración del mejor valor para el dinero en un régimen restringido de fondos.
- Evidencia, en forma de procesos controlados y sistemáticos, para demostrar el acatamiento legal.
- Clara trazabilidad para auditar la idoneidad de las decisiones tomadas y los riesgos asociados.
- Mejora de la reputación corporativa.

Un sistema de gestión de activos está diseñado para apoyar el suministro de un plan estratégico organizacional y satisfacer las expectativas de una variedad de partes interesadas. Como se observa en la ilustración 13, el plan estratégico organizacional es el punto de partida de la política, la estrategia, los objetivos y los planes de la gestión de activos; dichos factores, a su vez, dirigen la combinación si se aplican a través del diverso portafolio de sistemas de activos y de activos de acuerdo con sus criticidades, su condición, su desempeño y su perfil de riesgo elegido (BSI, 2008).

Ilustración 13. Estructura sistémica de gestión de activos

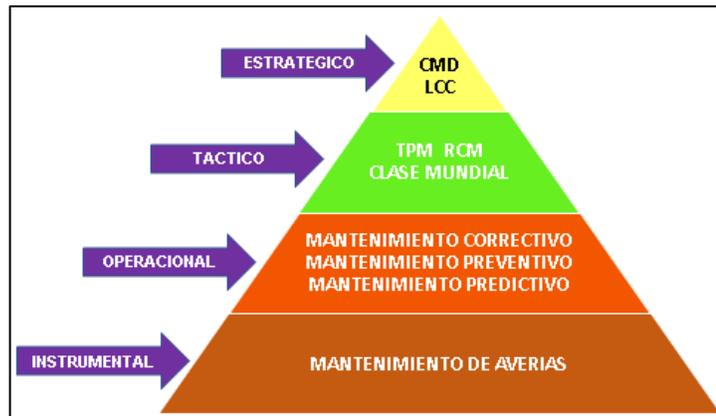


Fuente: traducción del autor de BSI (2008)

La gestión de activos en forma estratégica agrega valor a una organización porque aplica conceptos y enfoques de compañías de clase mundial que garanticen la CMD (confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad) que requieren sus activos, mediante la implementación de niveles tácticos y estratégicos de mantenimiento para cubrir las expectativas de sus clientes internos y externos (Rey, 1996).

En resumen, los diferentes modelos de mantenimiento han evolucionado, mediante su integración o su complementación de manera secuencial. Las empresas productivas han logrado su implementación de acuerdo con su direccionamiento estratégico, al ubicarse en diferentes niveles, como los que se muestran a continuación:

Ilustración 14. Niveles de mantenimiento



Fuente: Mora Gutiérrez (2009)

Los niveles de este enfoque integral del mantenimiento tienen las siguientes características:

Tabla 5. Niveles de mantenimiento

Nivel	Nombre	Características
1	Instrumental	<p>Funciones y acciones:</p> <p>Este primer nivel abarca todos los elementos físicos e intangibles que emplean los colaboradores de una empresa para realizar actividades concretas de mantenimiento sobre elementos o máquinas. Comprende todos los elementos necesarios para que exista un sistema de gestión y operación de mantenimiento en una empresa, tales como: herramientas, repuestos, máquinas, catálogos de máquinas, registros, codificación, inventario, análisis de fallas, cinco eses, mejoramiento continuo, pronósticos, trabajadores, personas, entrenamiento y programa de capacitaciones, entre otros</p>

2	Operacional	<p>Acciones mentales:</p> <p>El nivel operacional se desarrolla en el corto plazo y abarca todas las actividades planeadas o programadas para realizar en el mantenimiento de equipos, tales como las acciones correctivas, las preventivas, las predictivas y las modificativas. Es importante tener en cuenta las necesidades de los demandantes a la hora de programar dichas actividades</p>
3	Táctico	<p>Conjunto de acciones reales:</p> <p>Este nivel se desarrolla en el mediano plazo y comprende las actividades de mantenimiento que se aplican a un equipo, basadas en reglas y normas específicas. En este nivel aparecen diferentes metodologías de mantenimiento como: TPM, RCM, TPM y RCM combinados, PMO, reactiva, proactiva, de clase mundial y RCM con cuadro de mando integral, entre otras</p>
4	Estratégico	<p>Conjunto de funciones y acciones mentales:</p> <p>Es el último nivel, que se alcanza en el largo plazo. Es la guía que permite alcanzar el estado de éxito propuesto y deseado. Este nivel implica establecer índices, rendimientos e indicadores y contempla las metodologías desarrolladas para evaluar el grado de éxito alcanzado con las tácticas desarrolladas. Ejemplos de estas metodologías son: LCC (forma abreviada que proviene de la expresión en inglés <i>life cycle costing</i>, que en español equivale a costo del ciclo de vida), CMD, costos, terotecnología, etc.</p>

Fuente: elaboración propia con base en Mora Gutiérrez (2009)

Los modelos, las estrategias y las tácticas implementados para la gestión de mantenimiento en una compañía se pueden reforzar por medio de la aplicación de

un *benchmarking* interno o externo que permita identificar las mejores prácticas y las oportunidades de mejora para la optimización de resultados (Camp, 1993).

4.3. Benchmarking

Drucker (2017) señaló que una de las tareas de los líderes es evaluar cómo utilizar sus recursos y decidir dónde serán más provechosos utilizarlos y por ello es importante enfocarse y medir de manera permanente los resultados. Entre dichos recursos se encuentran los equipos de producción y las instalaciones, porque para cualquier sistema productivo su condición y su disponibilidad juegan un papel decisivo en el éxito de los negocios (Amendola, 2003).

El mantenimiento industrial contiene una serie de técnicas orientadas a preservar los equipos y las instalaciones con la mira de buscar su máximo rendimiento (García Garrido, 2009). En la actualidad, la función del mantenimiento es la búsqueda incesante de nuevas e innovadoras formas de incrementar la confiabilidad, la disponibilidad y la vida útil de plantas y los equipos industriales de los procesos productivos a través de un control eficiente de costos. Los indicadores de mantenimiento permiten evaluar el comportamiento operacional de las instalaciones y los equipos y de esta manera es posible implementar un plan de mantenimiento orientado a perfeccionar la labor de mantenimiento (Amendola, 2003).

Por otro lado, Drucker (2017) indicó que ninguna empresa puede sobrevivir o prosperar si no se encuentra a la altura de los estándares fijados por los líderes del ramo; esta declaración hace esencial conocer cuáles son los estándares o los indicadores que les permitan a las organizaciones aprender y tener la capacidad de modificar sus prácticas para conseguir el logro de sus objetivos.

Para ello es necesario medir y evaluar las prácticas del área de mantenimiento frente a las de los competidores, y realizar una evaluación comparativa, lo que permitirá determinar si la empresa está llevando a cabo las funciones y las actividades que desempeña de manera eficiente y se podrá determinar si los costos están en paralelo con los de los competidores; también se podrá determinar si sus actividades internas y los procesos empresariales necesitan mejoras (Bhutta y Huq, 1999).

Dahl (2007), señaló que en Europa la proporción de gastos de mantenimiento respecto a la facturación de la empresa en promedio fue de 6,2% dependiendo el sector, y que pueden estar desde un 6,2% hasta un 20%. Sin embargo, en estudios estadounidenses que el mantenimiento representa del 15 al 40% del costo total del producto (Wireman, 1997), en los países como Colombia, la cifra supera el 25% anual (Mora Gutiérrez, 2008). Ello significa que los costos del área de mantenimiento en el proceso de fabricación son considerables y por ello es importante que la empresa adopte las mejores prácticas desde perspectivas no solo internas, sino también externas (Youus et al., 2016).

Benchmarking es la búsqueda de las mejores prácticas de la industria que conducen a un desempeño excelente (Camp, 1993). Para David T. Kearns, director general de Xerox Corporation, citado por Actualidad empresa (2014), “el *benchmarking* es el proceso continuo de medir productos, servicios y prácticas propias contra los competidores reconocidos como líderes en su sector”. Por su parte, Spendolini (1992) definió el *benchmarking* como “un proceso sistemático y continuo de evaluación de los productos, servicios y procedimientos de trabajo de las mejores prácticas y el propósito es el mejoramiento organizacional”. Uno de los objetivos del benchmarking es medir procesos internos frente a un estándar externo e identificar los estándares de excelencia para productos, servicios o procesos, con la intención de hacer las mejoras necesarias para alcanzar dichos estándares (Bhutta y Huq, 1999).

Según Wireman (2004), en el proceso de *benchmarking* se utiliza la siguiente lista de verificación, que permite la evaluación comparativa del proceso para tener éxito. Si no se sigue un enfoque disciplinado, es poco probable que la evaluación comparativa produzca resultados de largo plazo.

- a. Elaboración de un plan
- b. Búsqueda
- c. Observación
- d. Análisis
- e. Adaptación
- f. Mejoramiento

Desarrollo de una estrategia de mantenimiento. Según Wireman (2004), el objetivo de la función de mantenimiento es asegurar que todos los activos de la compañía cumplan la función de diseño del activo. Las mejores prácticas, adaptadas al proceso de mantenimiento, le permiten a una empresa lograr una ventaja competitiva sobre sus competidores en el proceso de mantenimiento.

Las mencionadas prácticas (o procesos) en el mantenimiento caen en alguna o más de las siguientes once categorías:

1. Mantenimiento preventivo
2. Inventario y adquisiciones
3. Flujo de trabajo y controles
4. Uso del sistema de gestión de mantenimiento computarizado
5. Entrenamiento técnico e interpersonal
6. Participación operacional
7. Mantenimiento predictivo
8. Mantenimiento centrado en confiabilidad

- 9. Mantenimiento productivo total
- 10. Optimización financiera
- 11. Mejora continua

Ilustración 15. Pirámide administrativa de mantenimiento



Fuente: Wireman (2004)

Según Peters (2006), existen numerosas definiciones de *benchmarking* y en su forma más simple es "hacer mejoras aprendiendo de los demás". La evaluación comparativa también es el proceso de identificación, comprensión y adaptación del excelente mantenimiento de hoy para ayudar a una organización a mejorar su rendimiento. La evaluación puede ser global pero debe comenzar en forma local o interna en esa empresa mediante la definición y la identificación de los siguientes puntos de referencia para una medición:

1. El cuadro de indicadores para la excelencia en mantenimiento con el fin de maximizar en general mejores las prácticas.
2. El sistema de evaluación comparativa CMMS (software con módulo de mantenimiento) para optimizar su información y la inversión en tecnología.

3. El índice de excelencia en mantenimiento para validar los resultados finales.
4. El proceso de evaluación comparativa para desarrollar una planificación confiable de implementación de dichas mejores prácticas.
5. El servicio de mejores prácticas de mantenimiento global o local.

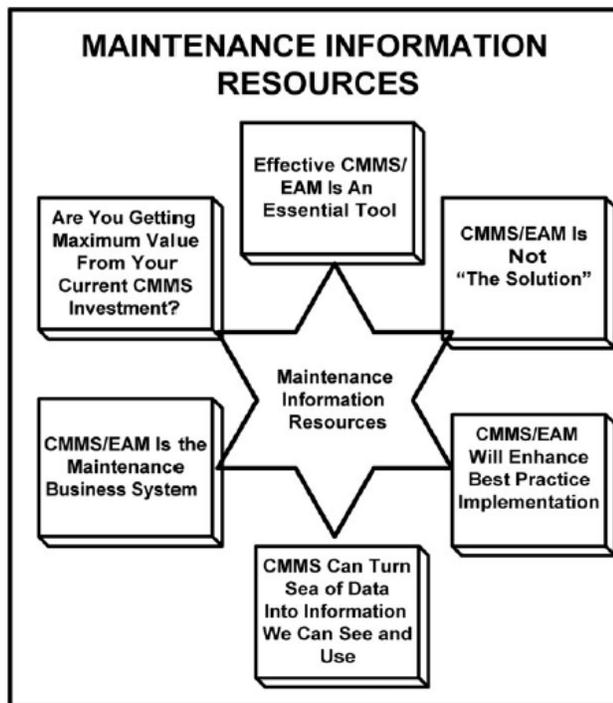
Según Peters (2006), la empresa debe comenzar con una filosofía personal de mejora continua. La evaluación comparativa también debe comenzar con un compromiso firme de implementar las mejores prácticas después de que haya "determinado dónde está". En cuanto a la evaluación comparativa externa o local, se trata de obtener el conocimiento y la comprensión de las mejores prácticas y luego aplicarlos en la operación de mantenimiento para ayudar a perseguir y a obtener una fabricación o un servicio de vanguardia.

Las mejores prácticas de mantenimiento de hoy se presentan en áreas como:

- Mantenimiento preventivo y predictivo
- Mejora continua de la confiabilidad
- Mantenimiento centrado en la confiabilidad
- Mantenimiento de piezas y control de materiales
- Operaciones de mantenimiento de almacén
- Orden de trabajo y control de trabajo.
- Planificación y programación de mantenimiento
- Presupuesto de mantenimiento y control de costos.
- Mantenimiento basado en el operador
- Mejora continua en equipo
- Mejoramiento y medición de la efectividad y la confiabilidad del equipo
- Desarrollo de habilidades artesanales
- Medición del rendimiento de mantenimiento
- Sistemas informatizados de gestión del mantenimiento.
- Mejora continua de mantenimiento

Con el *benchmarking* interno también se trata de evaluar cómo se está empleando o aprovechando el CMMS (software con módulo de mantenimiento) para mejorar las mejores prácticas de mantenimiento. El *benchmarking* del CMMS es una herramienta interna de evaluación comparativa para ayudar a obtener el máximo valor de un CMMS existente o de la implementación de un nuevo sistema para la gestión informatizada del mantenimiento (Peters, 2006).

Ilustración 16. Recursos de información de mantenimiento



Fuente: Peters (2006)

En la actualidad, muchos *softwares*, como SAP y EAM, entre otros, ofrecen y facilitan la planeación de mantenimiento por el módulo que tienen para ello y en comunicación con las demás áreas, como compras, almacén, financiera, producción, etc., todo ello de la mano con la Cuarta Revolución Industrial, que abarca digitalización y robótica.

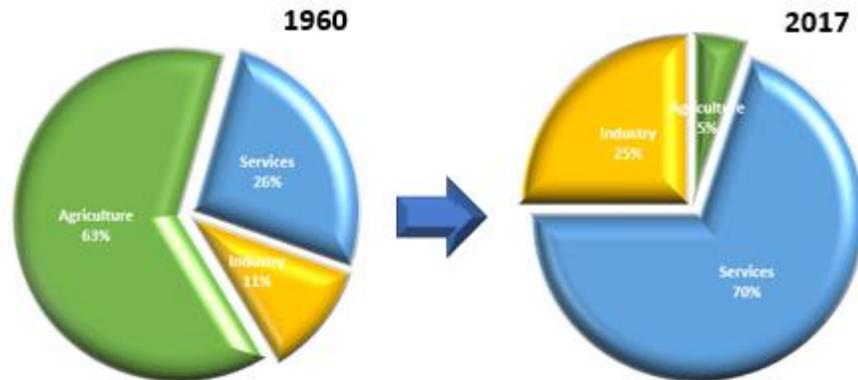
4.4. Cuarta Revolución Industrial. Robótica y CMMS

De acuerdo con lo expuesto por Carrera (s.f.), de la Primera Revolución Industrial a la Cuarta; de las máquinas de vapor, la fabricación en masa y la automatización de los sistemas productivos a la industria conectada: este es el nombre actual que recibe la Industria 4.0. para referirse a la “fábrica inteligente”. Una nueva manera de organizar los sistemas de producción, de modo que queden todos interconectados. De esta manera, las máquinas están conectadas con los sistemas y los últimos, a su vez, con las personas, lo que permite una gestión mucho más eficiente de la compañía, puesto que se refuerza la industria a través de seis tecnologías claves:

1. El internet de las cosas (IoT)
2. El desarrollo de la robótica colaborativa (Cobot)
3. La realidad aumentada y la realidad virtual
4. El estudio de los macrodatos y la analítica
5. La impresión en 3D
6. Los sistemas ciberfísicos (CPS)

A medida que avanza la industria 4.0, el modelo de negocio tradicional de fabricación está cambiando y están surgiendo nuevos modelos enfocados hacia servicios. Como tales, las empresas ya posicionadas en el mercado deben actuar con rapidez para reconocer y reaccionar ante estos nuevos desafíos competitivos de acuerdo con Sung en su publicación “*Cambios en la estructura de la industria*” (1976).

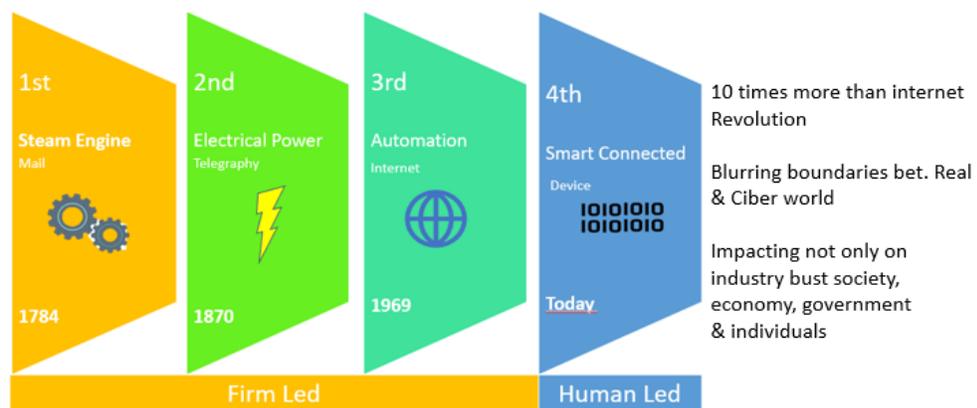
Ilustración 17. Cambios en la estructura industrial



Fuente: Kyung Hee University, Korea economic development (2019)

El mundo, de acuerdo con Rifkin (1994), se está polarizando con celeridad en dos fuerzas potencialmente irreconciliables: por un lado, una élite de la información que controla y administra la economía global de alta tecnología y, por otro, el creciente número de trabajadores desplazados de manera permanente, que tienen pocas perspectivas y reducidas esperanzas de empleo significativo en un mundo cada vez más automatizado.

Ilustración 18. Cuarta Revolución Industrial

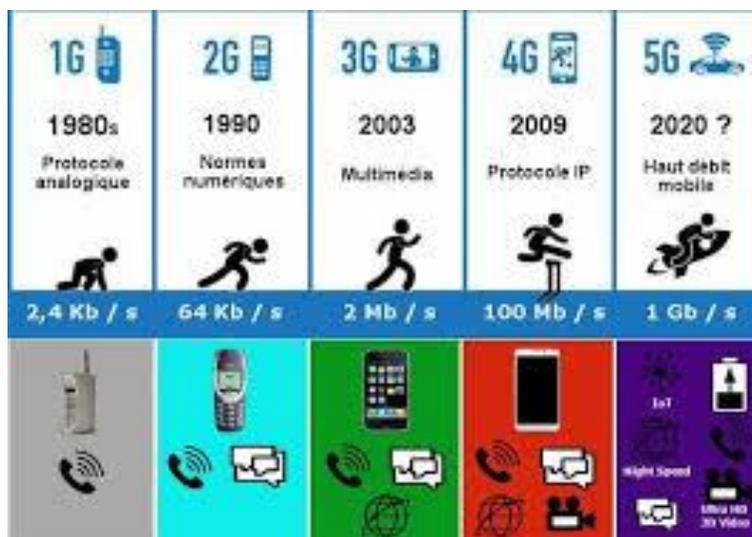


Fuente: Rifkin (1994)

En forma específica, los ejecutivos deben considerar las siguientes opciones, descritas por Sung en su publicación *“Cambios en la estructura de la industria”* (1976), y estar atentos a otras que puedan estar implementando sus potenciales competidores. Ello significa que las máquinas operarán de manera independiente o se coordinarán con los humanos para producir una fabricación orientada hacia el cliente que trabaje en forma constante para mantenerse.

Más bien, la máquina se convierte en una entidad independiente que puede recopilar datos, analizarlos y asesorar sobre ellos. Esto se hace posible al introducir la autooptimización, la autocognición y la autoperpersonalización en la industria, y los fabricantes podrán comunicarse con las computadoras por medios y redes de conexión virtual en lugar de solo operar máquinas de acuerdo con Sung en su publicación *“Cambios en la estructura de la industria”* (1976).

Ilustración 19. 5G, su guerra comercial y el 6G futuro



Fuente: Kyung Hee University, Korea economic development (2019)

5. APLICACIÓN DE *BENCHMARKING* AL PROCESO DE MANTENIMIENTO

Se aplicaron los conceptos de *benchmarking* presentado por Wireman (2004), que planteó una metodología lógica paso a paso que le permite a toda empresa realizar un esfuerzo de evaluación comparativa rentable mediante un formulario detallado para el levantamiento y la "calificación" de la gestión de mantenimiento.

La metodología o la secuencia de los pasos necesarios para aplicar el *benchmarking* en las plantas de producción de baldosas es la siguiente:

- Determinar los aspectos que van a ser sometidos a *benchmarking*.
- Determinar la información que se va a recolectar.
- Recolectar y analizar la información.
- Adaptar los mejores aspectos o prácticas actuales.

5.1. Descripción de la planta de superficies de Madrid

La unidad de negocio de superficies de la Organización Corona tiene una capacidad instalada total para producir 3,5 millones de m² mensuales de baldosas, en cuatro plantas en el país distribuidas como sigue:

Tabla 6. Capacidad de producción de baldosas de la Organización Corona

Planta	m ² (en millones)	Porcentaje de participación
Madrid	1,50	43
Sopó I	0,60	17
Sopó Prestigio	0,60	17
Girardota	0,80	23
Total	3,50	100

Fuente: elaboración propia

Las cuatro plantas tienen un total de 4.000 equipos productivos con operación y procesos diferentes.

La disponibilidad alcanzada promedio (incluye solo las paradas por mantenimiento) de los mencionados activos está en alrededor del 90% y el costo de mantenimiento es cercano al 12% del costo de producción.

La planta de Madrid de la empresa Colcerámica es un negocio que se dedica a la fabricación de revestimiento o baldosas para pisos y paredes a base de arcillas procesadas en vía seca. Se encuentra ubicada en el municipio de Madrid, Cundinamarca y tiene una capacidad instalada para producir 1,5 millones de m² mensuales.

Ilustración 20. Ubicación de la planta de pisos y paredes



Fuente: elaboración propia

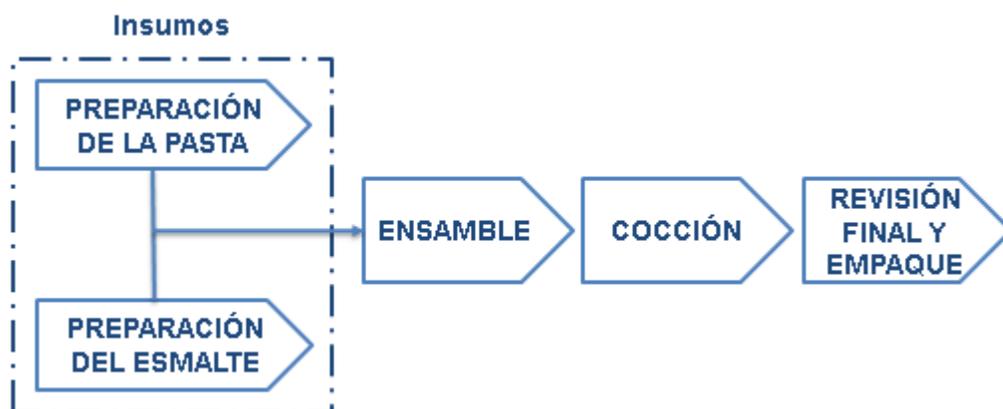
Colcerámica tiene la visión de ser más competitiva en el mercado y ser una compañía líder multilatina y multinacional, para lo que debe garantizar la fabricación de productos con excelentes estándares de calidad, ampliar su

portafolio y entregar sus productos al cliente final en el menor tiempo posible y con costos adecuados.

El departamento de mantenimiento, como aliado estratégico de la compañía, impacta de manera importante en el cumplimiento de la visión puesto que debe aumentar la confiabilidad de sus equipos, para que la disponibilidad del proceso esté por encima del 90% en la fabricación de la cantidad de metros cuadrados de revestimiento planeada cada mes y para que el costo unitario de fabricación no se incremente.

A continuación se muestra el diagrama de flujo de los principales procesos productivos en la fabricación de baldosas cerámicas:

Ilustración 21. Proceso de producción de superficies



Fuente: elaboración propia

5.2. Aspectos que se sometieron a *benchmarking*

Los aspectos más relevantes por mejorar son:

- Disponibilidad alcanzada.

- Costo de mantenimiento.
- Inventario de repuestos y materiales asociados con labores de mantenimiento.

5.3. Determinación de la información que se va a recolectar

A continuación se presenta un análisis comparativo de los principales indicadores de los tipos KPI, KMI y KAI.

- Indicadores de manejo clave (KMI): disponibilidad de los equipos del planta y costos de mantenimiento, como lo son los rubros de repuestos, reparaciones y accesorios.
- Indicadores de desempeño clave (KPI): mantenibilidad (MTTR), confiabilidad (MTBF), costos de mano de obra directa e indirecta y costos de inventarios.
- Indicadores de actividades claves (KAI): son los que hacen referencia a las actividades básicas que constituyen los procesos en la planta y son siete, que se enuncian en seguida:
 1. Número de averías.
 2. Análisis de averías.
 3. Gestión de tarjetas rojas.
 4. Gestión de tarjetas amarillas.
 5. Cumplimiento de MBT (mantenimiento basado en el tiempo).
 6. Número de días seguros sin accidentes.
 7. Número de accidentes.

5.3.1. Indicadores de orden táctico (KPI y KMI)

- **Disponibilidad alcanzada (solo por mantenimiento).** Se escoge la disponibilidad alcanzada puesto que con ella se van a medir y a tener en cuenta los tiempos y los números de averías y de mantenimientos preventivos para así tener una disponibilidad correcta de la planta.
- **Confiabilidad.** En la confiabilidad se tiene en cuenta el tiempo promedio mensual en que se mantienen operativas las máquinas.
- **Mantenibilidad.** En la mantenibilidad se considera el tiempo en que toma reparar una avería o paro no programado para que la máquina siga cumpliendo su función en forma correcta.
- **Número de averías.** En el capítulo de averías se tienen en cuenta todos los paros no programados de la maquinaria y del equipo de la planta de superficies, que miden cada mes y al final de cada año se sabe cuál fue el promedio mensual de las averías.
- **Costos de mantenimiento.** En los costos de mantenimiento se miden bajo rubros los cuales son repuestos, reparaciones, accesorios y otros materiales.
- **Inventarios.** Se escogieron también los inventarios debido a que en la actualidad se tiene una existencia importante en suministros de repuestos que se solicitaron y no se han retirado y para ello se tienen unas metas fijas mensuales que se hacen cumplir.

5.3.2. Indicadores de orden operacional (KAI)

- Revisión de los planes de mantenimiento definidos y cargados en el módulo PM de SAP.
- Porcentaje de cumplimiento de plan de mantenimiento.
- Análisis de averías y despliegue o transferencia de conocimiento.
- Estructura de mantenimiento.

5.4. Recolección y análisis de la información

De acuerdo con Wireman (2004), el objetivo es identificar las mejores prácticas de mantenimiento mediante un *benchmarking* interno para homologar un posible plan de mantenimiento que se pueda aplicar en los diferentes procesos productivos de superficies con el fin de optimizar recursos. La organización tiene definidas herramientas del modelo de gestión de activos con base en el Sistema de Producción Corona (SPC), que agrupa conceptos de TPM, seis sigma y manufactura esbelta, entre otras posibilidades, con la mira de buscar mejorar y optimizar sus buenos resultados

Es necesario analizar los costos de mantenimiento para proponer su posible minimización, con el propósito de sostener los resultados y los estándares de CMD (confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad) y las políticas de control inventarios, que permitan el cumplimiento de los objetivos de seguridad, calidad y entregas. También es indispensable revisar y proponer la aplicación de herramientas del Sistema de Producción Corona (SPC), con inclusión de prácticas de última generación en la gestión de activos y con el fin de aprovechar el uso del módulo PM de SAP.

5.4.1. Indicadores de manejo clave (KMI)

Luego de recolectar toda la información de los indicadores claves de manejo para el proceso de mantenimiento, los siguientes fueron los datos y los análisis de los años 2018 y 2019.

- **Costos de mantenimiento:**

Como se puede observar en la siguiente tabla, en el año 2019 el porcentaje de costos de mantenimiento estuvo por encima un 124,60% del presupuesto aprobado, mientras que en el año 2018 el porcentaje de mantenimiento estuvo en el 96,22% por debajo del presupuesto; con lo anterior se tiene una oportunidad de mejora para que algo similar no vuelva a suceder con los costos de mantenimiento de los siguientes años y para ello se debe incluir presupuesto para mantenimiento de tipo mejorativo (mejoras de equipos y procesos), adicional al costo de mantenimiento planeado.

Tabla 7. Costos de mantenimiento de superficies

INDICADORES CLAVES MANTENIMIENTO DE LA PLANTA DE SUPERFICIES DE MADRID									
ITEM		DESCRIPCIÓN	UNIDAD	META PARA 2018	REAL EN 2018	PORCENTAJE	META PARA 2019	REAL EN 2019	PORCENTAJE
KMI	COSTOS DE MANTENIMIENTO	TOTAL	\$	1.165.777	1.121.763	96,22%	1.340.176	1.669.801	124,60%
		REPUESTOS	\$	409.698	472.998	115,45%	520.716	656.288	126,04%
		REPARACIONES	\$	337.825	288.587	85,42%	404.356	678.897	167,90%
		MOLDES Y MACHOS	\$	318.534	308.864	96,96%	341.654	260.860	76,35%
		RODILLOS Y REFRACTARIOS	\$	42.155	31.683	75,16%	33.450	22.518	67,32%
		FORROS Y CUERPOS MOLEDORE	\$	57.565	19.631	34,10%	40.000	51.238	128,10%

Fuente: elaboración propia

- **Disponibilidad de planta:**

En el indicador de disponibilidad alcanzada, que incluye solo las paradas del proceso de producción por intervenciones de mantenimiento (tanto planeado como de averías), se puede observar que para los dos últimos años se alcanzó la meta propuesta. Estos buenos resultados fueron producto del refuerzo en la ejecución de inspecciones y de mantenimientos preventivos o planeados, además de la disminución en el número de averías y de sus tiempos de reparación y de la

puesta en marcha de los equipos, con los respectivos análisis de averías e identificación de causa raíz para disminuirlas.

Tabla 8. Disponibilidad de la planta de superficies

INDICADORES CLAVES MANTENIMIENTO DE LA PLANTA DE SUPERFICIES DE MADRID									
ITEM		DESCRIPCIÓN	UNIDAD	META PARA 2018	REAL EN 2018	PORCENTAJE	META PARA 2019	REAL EN 2019	PORCENTAJE
KMI	PRODUCTIVIDAD	DISPONIBILIDAD DE PLANTA	%	92,00%	92,59%	100,64%	92,00%	92,58%	100,63%

Fuente: elaboración propia

5.4.2. Indicadores de desempeño clave (KPI):

Luego de recolectar toda la información de los indicadores claves del proceso de mantenimiento, los siguientes fueron los datos y los análisis para los años 2018 y 2019.

- **Confiabilidad (MTBF):**

En el indicador de confiabilidad se puede observar que en el año 2018 la meta era que cada 5,25 horas alguna de las maquinas podría presentar alguna avería, pero se cerró este indicador con un resultado de que en 12,78 horas sucedió una avería en promedio del año; en 2019 el resultado fue mucho mejor porque la meta que se tenía era 5,27 horas y en realidad sucedió una avería cada 17,98 horas en promedio del año. Estos buenos resultados se lograron al reforzar la planeación y ejecución del mantenimiento planeado en los siguientes aspectos: ILR (inspecciones, lubricación y reparación), TBM (forma abreviada que proviene de la expresión en inglés *time-based maintenance* y que en español equivale a mantenimiento basado en el tiempo), CBM (forma abreviada que proviene de la expresión en inglés *condition-based maintenance* y que en español equivale a mantenimiento basado en la condición) y PBM (forma abreviada que proviene de

la expresión en inglés *performance-based maintenance* y que en español equivale a mantenimiento basado en el desempeño).

Tabla 9. Confiabilidad de la planta de superficies

INDICADORES CLAVES MANTENIMIENTO DE LA PLANTA DE SUPERFICIES DE MADRID									
ITEM		DESCRIPCIÓN	UNIDAD	META PARA 2018	REAL EN 2018	PORCENTAJE	META PARA 2019	REAL EN 2019	PORCENTAJE
KPI	PRODUCTIVIDAD	CONFIABILIDAD (MTBF)	HORAS	5,27	12,78	242,50%	5,27	17,98	341,18%

Fuente: elaboración propia

- **Mantenibilidad (MTTR):**

En el indicador de mantenibilidad en el año 2018 la meta era que, si se presentaba una avería, el equipo de mantenimiento tendría 2,20 horas para reparar y solucionarla. Como resultado, al finalizar el año se obtuvo que mantenimiento se demoró 2,03 horas en reparar las averías promedio año, de modo que se alcanzó un 92,27% como resultado sobre la meta propuesta, es decir se gastó menos tiempo para ello.

Para el año 2019 la meta era que se debía reparar una avería en 2,20 horas; sin embargo, el resultado al finalizar el año fue que mantenimiento se demoró en reparar 2,69 horas cada equipo, es decir, demandó un 22,27% más de tiempo, a lo que se le debe asociar la cantidad de técnicos para atenderlas por cada proceso o planta con su respectivo conocimiento y también la disponibilidad en almacén de los repuestos críticos para la reparación.

Tabla 10. Mantenibilidad de la planta de superficies

INDICADORES CLAVES MANTENIMIENTO DE LA PLANTA DE SUPERFICIES DE MADRID									
ITEM		DESCRIPCIÓN	UNIDAD	META PARA 2018	REAL EN 2018	PORCENTAJE	META PARA 2019	REAL EN 2019	PORCENTAJE
KPI	PRODUCTIVIDAD	MANTENIBILIDAD (MTTR)	HORAS	2,20	2,03	92,27%	2,20	2,69	122,27%

Fuente: elaboración propia

- **Gestión de inventarios:**

En la gestión de inventarios se ha realizado un trabajo importante, que se reflejó en los porcentajes de cierre en los años 2018 y 2019, dado que se planearon con antelación los materiales requeridos para que llegasen a tiempo para la ejecución del plan de mantenimiento. De otro lado, se llevó a cabo un plan para minimizar y retirar del almacén los repuestos sobrantes (excesos de pedidos) y también los obsoletos. De igual manera, se debe revisar y precisar la criticidad de equipos para detallar el inventario de seguridad de los repuestos para los equipos y las máquinas críticos.

Tabla 11. Gestión de inventarios de mantenimiento de la planta de superficies

INDICADORES CLAVES MANTENIMIENTO DE LA PLANTA DE SUPERFICIES DE MADRID									
ITEM		DESCRIPCIÓN	UNIDAD	META PARA 2018	REAL EN 2018	PORCENTAJE	META PARA 2019	REAL EN 2019	PORCENTAJE
KPI	GESTIÓN DE INVENTARIOS	TOTAL INV. (REPUESTOS ERS - ZER1 - ZERS)	MM DE \$	\$ 6.613	\$ 6.651	100,57%	\$ 6.613	\$ 6.492	98,17%
		SOBRANTES DE INVENTARIO	MM DE \$	-	\$ 2.974		-	\$ 2.859	
		STOCK DE SEGURIDAD	MM DE \$	\$ 1.462	\$ 1.253	85,70%	\$ 1.462	\$ 1.400	95,76%

Fuente: elaboración propia

5.4.3. Indicadores de actividades clave (KAI):

- **Número de averías:**

Con respecto al indicador de número de averías en el año 2018, se tenía desde el principio de año cumplir una meta de 70 averías en promedio mensual y como resultado al finalizar el año se cerró con un promedio anual de 60 averías; la meta para el año 2019 era cumplir 70 averías en promedio y al finalizar el año se cerró con 71 averías en promedio por mes.

Se deben reforzar la atención de técnicos por turnos, la polivalencia y los conocimientos de diferentes procesos productivos; de igual manera, es necesario asegurar la adecuada ejecución de los planes de mantenimiento definidos y cargados en el módulo PM en SAP para así poder ejecutarlos de manera oportuna para cumplir este indicador en los siguientes años.

Tabla 12. Número de averías en el mantenimiento de la planta de superficies

INDICADORES CLAVES MANTENIMIENTO DE LA PLANTA DE SUPERFICIES DE MADRID									
ITEM		DESCRIPCIÓN	UNIDAD	META PARA 2018	REAL EN 2018	PORCENTAJE	META PARA 2019	REAL EN 2019	PORCENTAJE
KAI	PRODUCTIVIDAD	NÚMERO DE AVERÍAS	UNIDAD	70	60	85,71%	70	71	101,43%

Fuente: elaboración propia

- **Análisis de averías:**

En el análisis de averías, que busca identificar la cusa raíz de ellas y disminuir su recurrencia, para el año 2018 se realizó un buen trabajo en este sentido gracias a la buena gestión de los técnicos mecánicos y eléctricos puesto que hicieron los respectivos análisis y despliegue de la avería al pequeño equipo en el que sucedió la avería para así poder revisar planes de acción para que esta avería no vuelva a suceder y no se convierta en repetitiva.

Tabla 13. Análisis de averías en el mantenimiento de la planta de superficies

INDICADORES CLAVES MANTENIMIENTO DE LA PLANTA DE SUPERFICIES DE MADRID									
ITEM		DESCRIPCIÓN	UNIDAD	META PARA 2018	REAL EN 2018	PORCENTAJE	META PARA 2019	REAL EN 2019	PORCENTAJE
KAI	PRODUCTIVIDAD	ANÁLISIS DE AVERÍAS	%	100%	94,63%	94,63%	100%	66%	66,00%

Fuente: elaboración propia

- **Gestión de tarjetas rojas:**

En la gestión de tarjetas rojas se tenía una meta en 2018 del 90% y al finalizar el año se cerró con un 93,75%, que fue un muy buen resultado; en el año 2019 fue aún mejor la gestión en el cierre de tarjetas rojas ya que se tenía una meta del 90% y hubo un cumplimiento del 136,25% en la gestión de cierre de los problemas detectados por los operarios en producción en las máquinas, con lo que se logró alcanzar dicho resultado, que se debió a que se reforzó planeación de mantenimiento para evitar deterioro forzado de los equipos y se presupuestaron muchos mantenimientos mejorativos identificados y propuestos.

Tabla 14. Tarjetas rojas en el mantenimiento de la planta de superficies

INDICADORES CLAVES MANTENIMIENTO DE LA PLANTA DE SUPERFICIES DE MADRID									
ITEM		DESCRIPCIÓN	UNIDAD	META PARA 2018	REAL EN 2018	PORCENTAJE	META PARA 2019	REAL EN 2019	PORCENTAJE
KAI	TARJETAS "FUGUAI"	GESTIÓN DE TARJETAS ROJAS	%	90%	93,75%	104,17%	80,00%	136,25%	170,31%

Fuente: Elaboración propia

- **Gestión de tarjetas amarillas:**

En el indicador de gestión de cierre de tarjetas amarillas, que son aquellas cuyo peligro está asociado con problemas de seguridad y salud de los trabajadores en la planta, para 2018 se fijó una meta del 90% y al finalizar el año se cerró con un 99,16% de gestión de cierre; para el año 2019 la meta propuesta fue del 90% y se cerró con un 92,75%; el resultado obtenido se debió a que se reforzaron la ejecución y el cierre correspondiente, se les asignó presupuesto propio (hasta un millón de pesos) y las de valor más alto se presentaron cada mes al comité SISO para conseguir presupuesto adicional o inversión por medio de capex.

Tabla 15. Tarjetas amarillas en el mantenimiento de la planta de superficies

INDICADORES CLAVES MANTENIMIENTO DE LA PLANTA DE SUPERFICIES DE MADRID									
ITEM		DESCRIPCIÓN	UNIDAD	META PARA 2018	REAL EN 2018	PORCENTAJE	META PARA 2019	REAL EN 2019	PORCENTAJE
KAI	TARJETAS "FUGUAI"	GESTIÓN DE TARJETAS AMARILLAS	%	90%	99,16%	110,18%	80,00%	92,75%	115,94%

Fuente: Elaboración propia

- **Cumplimiento del mantenimiento basado en el tiempo (MBT):**

En el indicador del cumplimiento de MBT se hace referencia a que, según la programación, se cumpla la ejecución de los mantenimientos que estaban para la fecha acordada con producción, para la entrega, la limpieza, la intervención y el arranque de la máquina para su respectivo mantenimiento preventivo; la meta en 2018 fue de 95% y al finalizar el año se cerró con un 94%; en el año 2019 la meta era del 95% y se cerró con un 100%, que es un buen resultado porque lo que quiere decir es que todos los mantenimientos que estaban programados para el año se realizaron sin ninguna novedad por parte de producción o se reprogramaron en el plazo máximo de una semana.

Tabla 16. Cumplimiento de MBT en el mantenimiento de la planta de superficies

INDICADORES CLAVES MANTENIMIENTO DE LA PLANTA DE SUPERFICIES DE MADRID									
ITEM		DESCRIPCIÓN	UNIDAD	META PARA 2018	REAL EN 2018	PORCENTAJE	META PARA 2019	REAL EN 2019	PORCENTAJE
KAI	GESTIÓN DE MANTENIMIENTO	CUMPLIMIENTO MBT	%	95%	94%	98,95%	95,00%	100,00%	105,26%

Fuente: elaboración propia

- **Número de accidentes y número de días sin accidentes:**

Un indicador muy importante para mantenimiento es el de la accidentalidad y la meta para 2018 era tener, como máximo, dos accidentes en el año. Se cumplió con el excelente resultado de cero accidentes y lo mismo ocurrió en el año 2019 porque no hubo accidentes laborales. Los buenos resultados se deben al buen acompañamiento de seguridad y salud en el trabajo porque con diferentes metodologías se incentivó a que todos los trabajadores de la planta se sintiesen muy comprometidos con su salud y con la prevención de accidentes laborales, además de lo expuesto antes en el cierre de tarjetas amarillas.

Tabla 17. Número de accidentes en el mantenimiento de la planta de superficies

INDICADORES CLAVES MANTENIMIENTO DE LA PLANTA DE SUPERFICIES DE MADRID									
ITEM		DESCRIPCIÓN	UNIDAD	META PARA 2018	REAL EN 2018	PORCENTAJE	META PARA 2019	REAL EN 2019	PORCENTAJE
KAI	SEGURIDAD	NÚMERO DE ACCIDENTES	UNIDAD	2	0	100,00%	2	0	100,00%

Fuente: elaboración propia

Al igual que en el caso del anterior indicador de número de accidentes, el de número de días sin accidentes es igual de importante puesto que se refiere a cuántos días han transcurrido desde el último accidente sucedido en planta; este indicador también tuvo muy buenos resultados, asociados con los buenos trabajos ejecutados al respecto.

Tabla 18. Número de días sin accidentes

INDICADORES CLAVES MANTENIMIENTO DE LA PLANTA DE SUPERFICIES DE MADRID									
ITEM		DESCRIPCIÓN	UNIDAD	META PARA 2018	REAL EN 2018	PORCENTAJE	META PARA 2019	REAL EN 2019	PORCENTAJE
KAI	SEGURIDAD	NÚMERO DE DÍAS SIN ACCIDENTES	UNIDAD	182	434,88	238,95%	182	718,75	394,92%

Fuente: elaboración propia

En el anexo 2 se presenta un resumen del análisis de los indicadores detallados en las páginas anteriores.

5.5. Adaptación de los mejores aspectos o prácticas actuales

En términos generales, las buenas prácticas identificadas se podrían implementar en etapas y pasos deferentes, que le apuesten a alcanzar una nueva visión de la Dirección de Mantenimiento para transformarse en una sólida dirección de gestión de activos que, desde el punto de vista estratégico, le agregará valor a la organización mediante la aplicación de conceptos y enfoques de compañías de

clase mundial que garanticen la CMD (confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad) que requieren sus activos, de modo que se implementen niveles tácticos y estratégicos de mantenimiento para cubrir las expectativas de sus clientes internos y externos y se mejore el equipo de trabajo, procesos y tecnología.

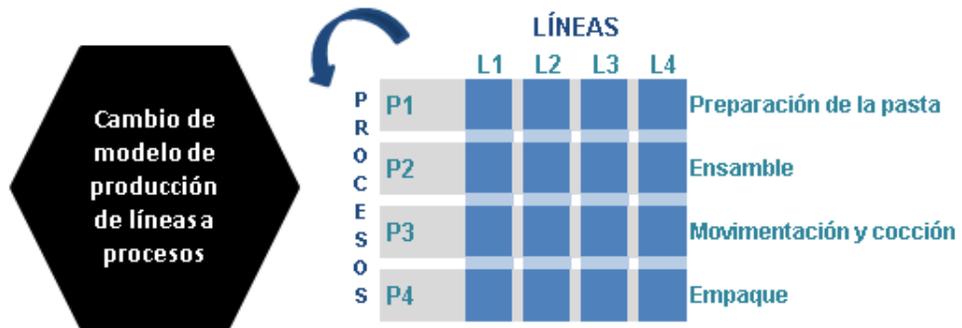
Ilustración 22. Enfoque de procesos integrados con el mantenimiento



Fuente: elaboración propia

Con lo anterior se buscó generar sinergias y trabajo en red de los equipos de mantenimiento y proponer la manera de implementarlas las nuevas estrategias. Se privilegiaron la especialización y el conocimiento profundo de cada proceso importante en la fabricación de productos cerámicos por encima de la generalidad con el fin de permitir una administración transversal, que mejore los resultados frente a los obtenidos en la atención del mantenimiento en el modelo de atención por líneas de producción mediante la disponibilidad de recursos flexibles y la ampliación del sistema de gestión y control.

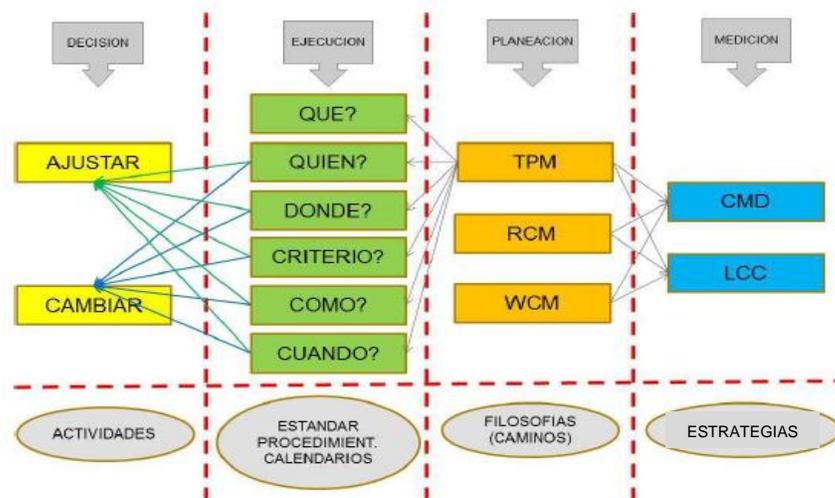
Ilustración 23. Cambio del modelo lineal al de procesos transversales



Fuente: elaboración propia

Con base en las teorías planteadas por Mora Gutiérrez (2009), se podrían integrar e implementar los diferentes modelos de mantenimiento para alcanzar los mejores resultados.

Ilustración 24. Visión operacional del proceso de mantenimiento

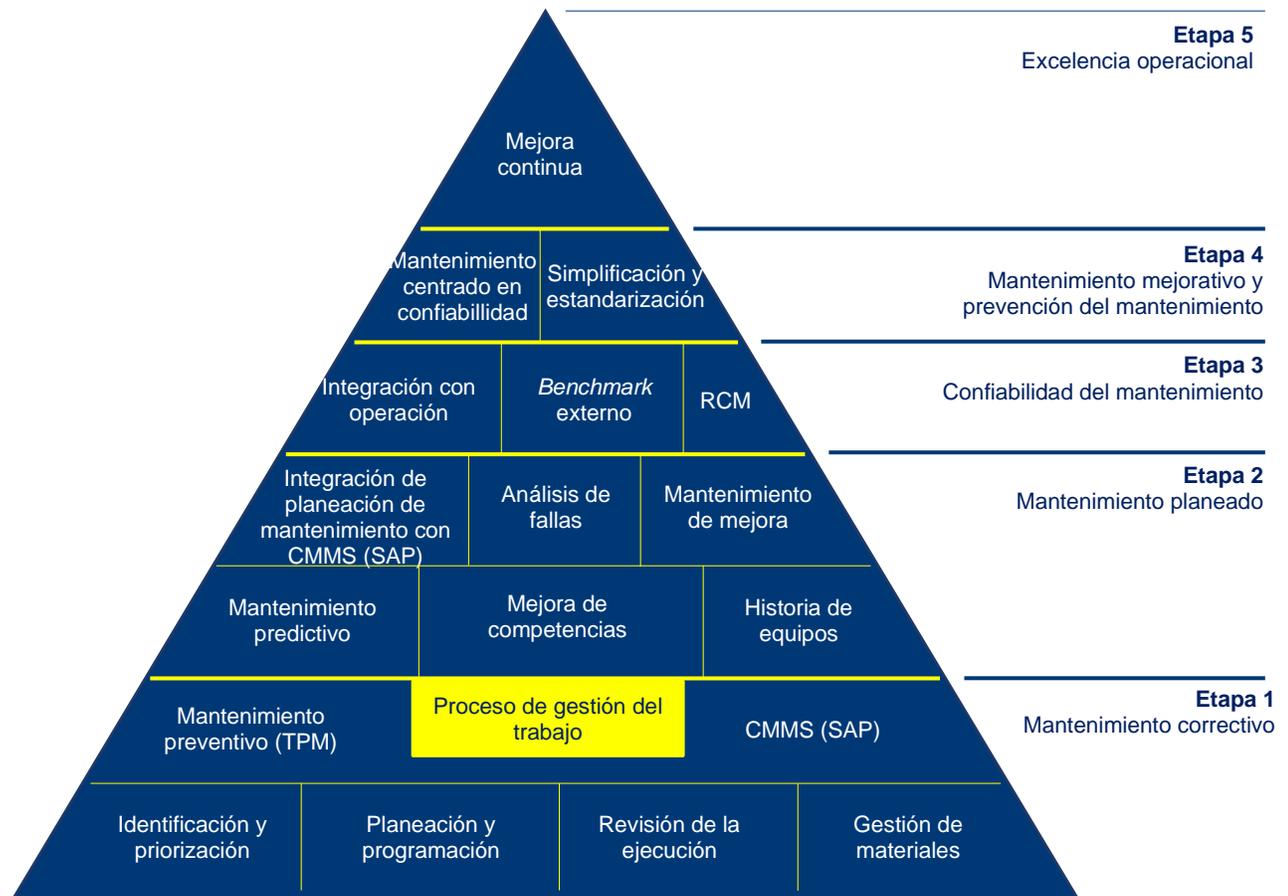


Fuente: Mora Gutiérrez (2009)

Se desarrolló un modelo de mantenimiento centralizado para maximizar la disponibilidad de los activos productivos por medio de la estandarización de las prácticas de gestión y optimización del costo en la planta.

Con base en una combinación de las propuestas de Peters (2006) y Wireman (2004), las etapas y los pasos podrían ser:

Ilustración 25. Etapas de implementación del modelo integral de mantenimiento



Fuente: elaboración propia

A continuación se plantea una propuesta de implementación de cada una de las etapas con su correspondiente objetivo de gestión, determinados en cada uno de

sus pasos o sus fases. Cada etapa requerirá al menos un año para su gestión y su implementación para que de esta manera se garantice la estabilización del proceso.

Ilustración 26. Plan de implementación del modelo de mantenimiento propuesto

Etapa 1. Mantenimiento correctivo	Etapa 2. Mantenimiento planeado	Etapa 3. Confiabilidad del mantenimiento	Etapa 4. Mantenimiento mejorativo y prevención del mantenimiento	Etapa 5. Excelencia operacional
Paso 1: evaluación de los equipos productivos Análisis de criticidad de equipos Desempeño actual (disponibilidad, costo e inventarios)	Atención de los paros mayores			
Paso 2: análisis de mantenimiento de averías ILR (Inspección, lubricación y reparación) Detección analítica de fallas	Mantenimiento correctivo. Análisis de diagramas de pareto de averías. Aplicar la metodología 5W1H			
Paso 3: definir planes de mantenimiento Definir planes de mantenimiento por proceso o equipos dependiendo de su criticidad Complementar procesos en SAP (CMMS), definir indicadores	Proceso de planeación y programación de mantenimiento centralizado TPM. Reforzar LILA y transferencia de conocimiento de mantenimiento planeado a mantenimiento autónomo Control de inventarios: obsoletos, sobrantes e inventario de seguridad			
	Paso 4: detener el deterioro y corregir fallas AMFE (Análisis de modos de falla) y análisis de fallas	Proceso de mejora enfocada y definición de planes de mantenimiento (ILR, TBM, CBM, PBM). Cargue de planes pilotos de mantenimiento en el módulo PM de SAP.		
	Paso 5: definir un sistema de mantenimiento planeado Análisis de criticidad (FMEA); definir plan de mantenimiento Definir planes de monitoreo de condiciones e integridad			
	Paso 6: definir un sistema de gestión de competencias Mapas de competencias Sistema gestión conocimiento (MTS) Planes de capacitación y evaluación	Planes de desarrollo basados en competencias. Técnicos polivalentes y atención transversal.		
	Paso 7: definir un sistema de mantenimiento mejorativo Definir un proceso de gestión de la mejora (confiabilidad y mantenibilidad)	Mantenimiento de mejora		
		Paso 8: definir un sistema de mantenimiento autónomo Definir plan de implementación de mantenimiento autónomo Desarrollar competencias requeridas en la operación	RCM	

Etapa 1. Mantenimiento correctivo	Etapa 2. Mantenimiento planeado	Etapa 3. Confiabilidad del mantenimiento	Etapa 4. Mantenimiento mejorativo y prevención del mantenimiento	Etapa 5. Excelencia operacional
			Paso 9: definir un sistema de mantenimiento basado en confiabilidad Identificar activos relevantes Ajustar y desarrollar planes de mantenimiento con base en RCM Estandarizar	Revisión planes de mantenimiento
			Paso 10: mantenimiento de clase mundial Ejecutar auditoría externa Identificar áreas de mejora	

Fuente: elaboración propia

Para la implementación de las diferentes metodologías de mantenimiento se debe estructurar el programa de mantenimiento que se pretende implementar o reforzar para que sea aprobado y apoyado por la gerencia, con la que se determinarán los tiempos, los objetivos y los recursos con los que se implementaría la metodología deseada.

5.5.1. Reestructuración del equipo de mantenimiento

En la reestructuración del equipo de mantenimiento para la planta de superficies de Madrid se revisaron tres temas importantes que son: la redistribución de procesos, la disponibilidad de la maquinaria y los costos de mantenimiento. Los cambios y las modificaciones de la atención de los procesos de la planta mencionada buscan ser más competitivos en la industria, por medio de la centralización de la planeación de mantenimiento y el refuerzo de la transversalidad de su ejecución.

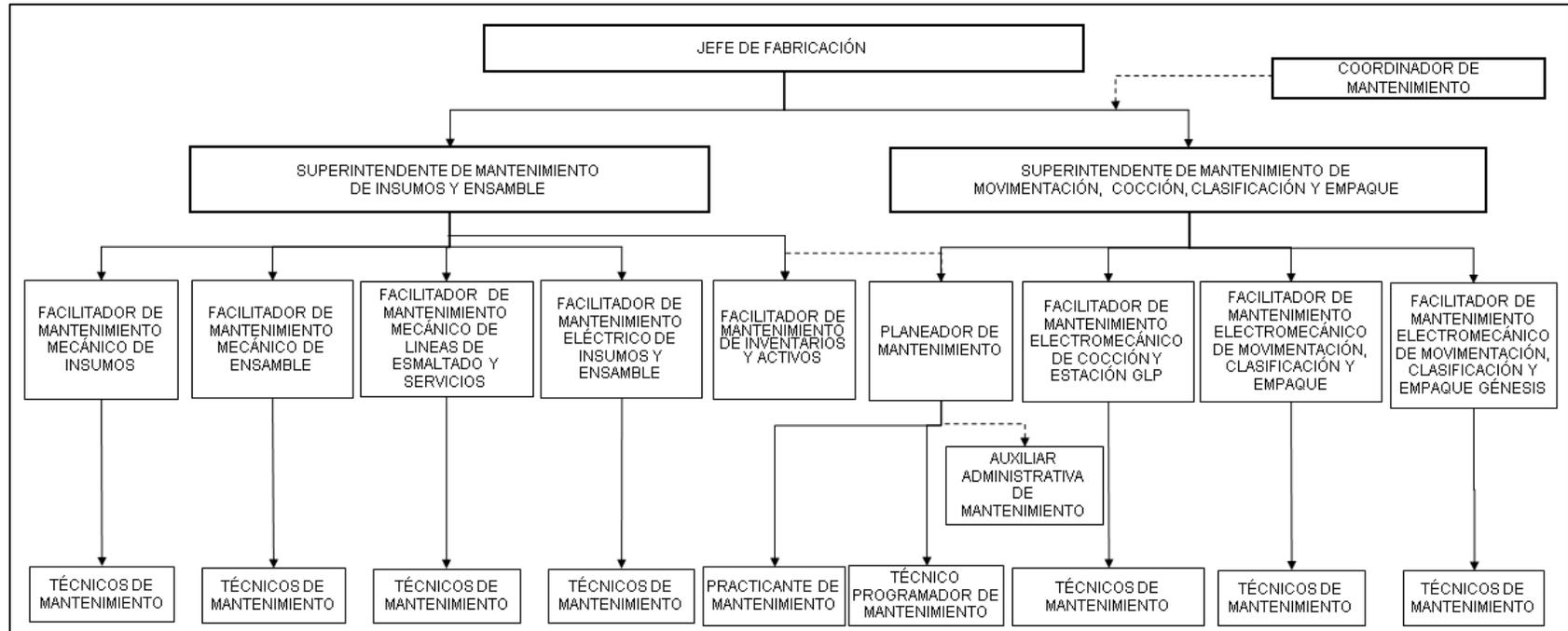
Estructura de mantenimiento. La estructura de mantenimiento de la planta de superficies de Madrid se encontraba distribuida en dos superintendencias de mantenimiento, que le reportaban al jefe de fabricación y atendían los procesos de la planta agrupados como sigue:

- Insumos y ensamble.
- Movimentación, cocción, clasificación y empaque.

También se cuenta con un coordinador de mantenimiento o asesor cuyo objetivo es el de homologar y gestionar el área de mantenimiento en todas las plantas en el país; sin embargo, cada planta gestionaba y programaba su propio mantenimiento.

En la ilustración 27 se presenta la estructura del área de mantenimiento actual.

Ilustración 27. Estructura del área de mantenimiento



Fuente: elaboración propia

Propuesta de reorganización de la estructura de mantenimiento

De acuerdo con lo planteado por Wireman (2004), se puede buscar la implementación de una estructura que esté integrada con ingeniería y que centralice la planeación del mantenimiento para toda la planta, en la que su ejecución se haga de manera transversal para todos los procesos productivos. De acuerdo con lo anterior, se propone una jefatura nacional de ingeniería y mantenimiento, que estará en el mismo nivel jerárquico que las jefaturas de producción y que, además, podría incluir:

- El área de ingeniería y proyectos se integrará con el equipo de mantenimiento en una sola área, que se llamará proyectos y gestión de activos.
- Se tendrán dos enfoques para la gestión del mantenimiento: correctivo (atención de emergencias o averías por cada turno) y planeado o preventivo (ILR, TBM, CBM y PBM).
- Se debe plantear un proceso de mantenimiento preventivo centralizado que estará alineado por procesos.

Alcances de ingeniería y proyectos integrados con mantenimiento:

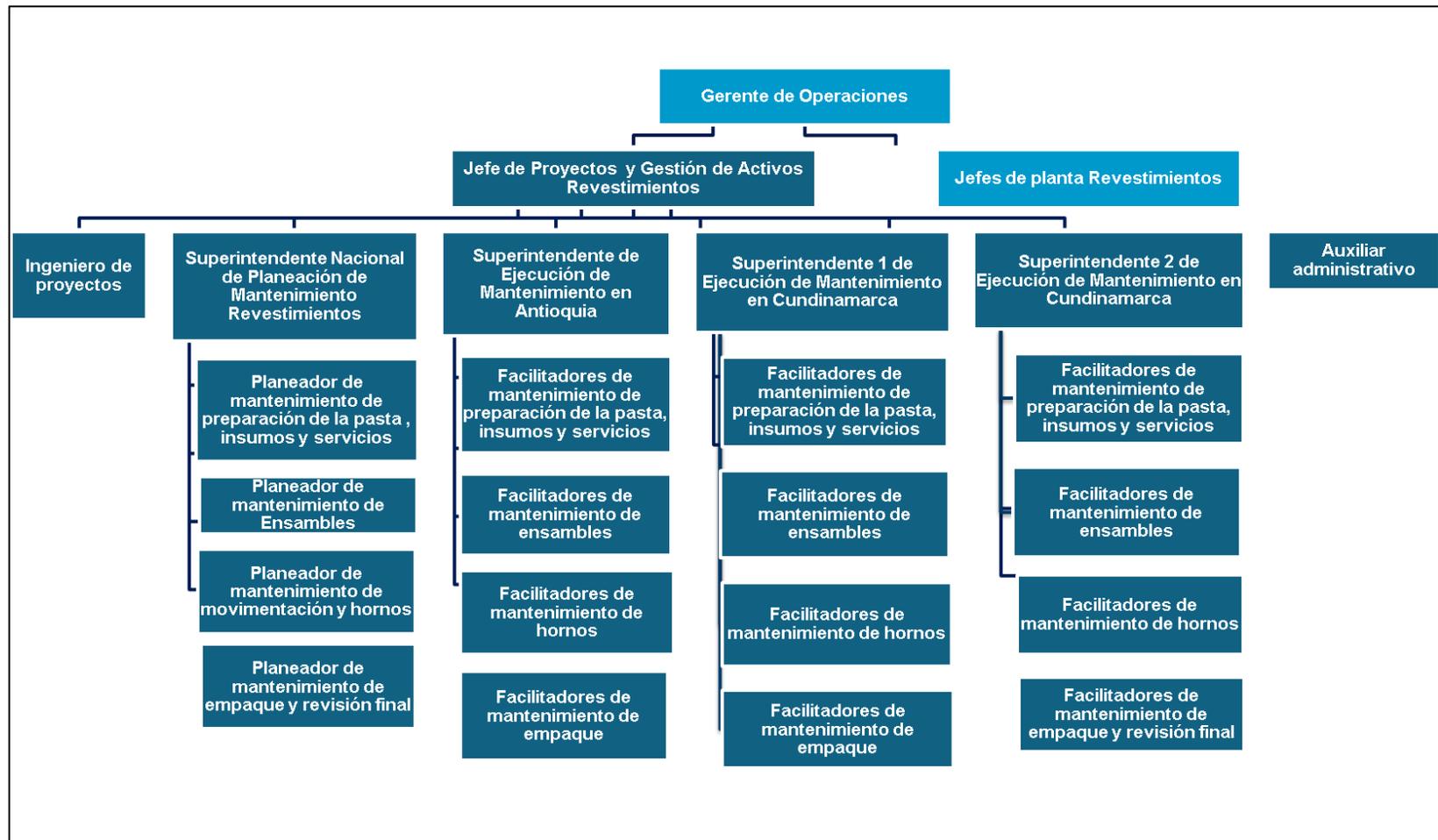
- La planeación del mantenimiento será ahora centralizada y por procesos. Será responsable de la gestión de activos, de la programación del mantenimiento, de la planeación de compras de repuestos y de la gestión del inventario de repuestos.
- La ejecución del mantenimiento será transversal a los procesos y se podrán disponer los recursos con base en las necesidades, con independencia del

proceso en el que estén ubicados los facilitadores y los técnicos de mantenimiento.

- Se tendrá un responsable de la ejecución de los proyectos por cada planta.
- Se podrá rotar el personal de técnicos de mantenimiento entre correctivos y preventivos dependiendo de las necesidades.
- La validación de las competencias y el entrenamiento se realizará al tener en cuenta la nueva organización. Incluye generar un plan de entrenamiento para entregarlo en todos los niveles.
- En el caso en el que aplique, los montajes y los proyectos se pueden realizar con personal de mantenimiento interno.
- Se mantiene la responsabilidad de este equipo en el manejo del pilar de mantenimiento planeado del SPC, de los indicadores y de los tableros de mantenimiento. Se harán ajustes en forma paulatina.
- Los jefes son responsables de acompañar a sus nuevos equipos en su desarrollo y en los grupos naturales o primarios.
- Se integran técnicos mecánicos y eléctricos bajo el liderazgo de un solo facilitador, que responderá de manera transversal (para toda la planta) por el proceso asignado.

En la ilustración 28 se presenta de forma gráfica la propuesta de una nueva estructura para el área de mantenimiento.

Ilustración 28. Propuesta de la estructura nueva de mantenimiento



Fuente: elaboración propia

5.5.2. Refuerzo de la aplicación LILA a partir del mantenimiento autónomo

La planta de superficies de Madrid se encuentra ubicada en paso 3 de la metodología de TPM y se deben reforzar las aplicaciones con LILA (limpieza, inspección, lubricación y ajuste) a partir del mantenimiento autónomo. En el taller de mantenimiento se tiene un cuarto adecuado para capacitar a los operarios en lo referente a la intervención como mecánica, neumática e hidráulica para que ellos conozcan cada vez más sus máquinas y así se pueda realizar un buen trabajo asociado con LILA. A principios del año 2020 se reasignaron los técnicos de mantenimiento en los pequeños equipos para poder responder y gestionar lo pertinente en cada máquina o subproceso con el fin de que el operario (papá) tenga claro quién es el médico (técnico) de su hijo (máquina).

Entre las funciones de cada técnico de mantenimiento está la de gestionar todo lo que tiene que ver con la metodología TPM y la planeación para poder solicitar con tiempo todo lo que se requiera para brindar la mejor intervención planeada de sus equipos. También se crearon acuerdos con mantenimiento autónomo para lograr avanzar y reforzar LILA:

1. Revisar los LILA actuales y su ejecución.

Responsables: Educación y Entrenamiento (E&E) y facilitadores de mantenimiento autónomo (MA) y mantenimiento planeado (MP) por máquina o por subproceso.

2. LILA con tareas nuevas o adicionales por transferir desde mantenimiento planeado hasta mantenimiento autónomo cumpliendo la evaluación desde SISO. Incluir herramientas.

Responsables: E&E, SISO y facilitadores de mantenimiento autónomo y mantenimiento planeado por máquina o por subproceso.

3. Actividades de operarios de mantenimiento autónomo para entrega de equipos para mantenimientos planeados o cambios de formato y su programación para recibir y arrancar equipo, en especial ensamble y movimentación. Definir cuál operario participa en ellos.

Responsables: facilitadores de mantenimiento autónomo.

4. Plan de intervención de mantenimiento y técnicos dueños de equipo programados para reforzar arranque. Como mínimo, una semana antes de la ejecución.

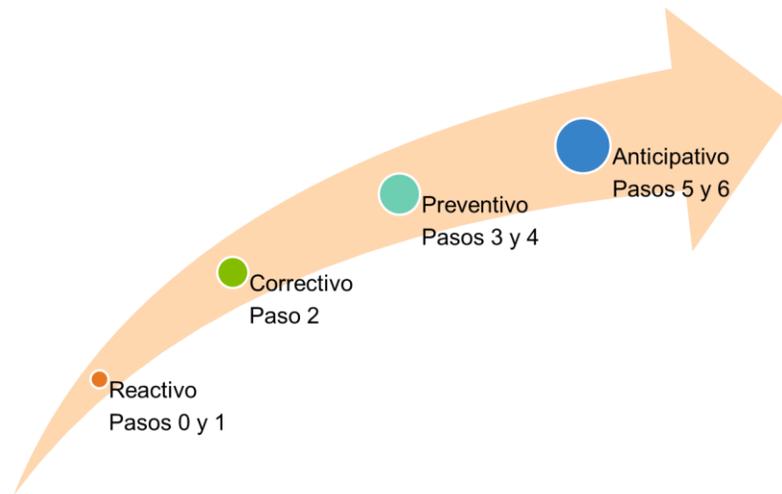
Responsables: facilitadores, planeador y superintendente de mantenimiento planeado.

5. Incluir seguimiento y cumplimiento de los estándares LILA en la bonificación de mantenimiento autónomo y reforzar su revisión y los acompañamientos del SPC.

Responsables: superintendentes de mantenimiento autónomo.

Desarrollo de habilidades en los pasos de mantenimiento autónomo:

Ilustración 29. Cambió de reactivo a anticipado



Fuente: elaboración propia

- **Reactivo:** se actúa en respuesta a lo que ya pasó y se espera a que se instruya sobre qué hacer.
- **Correctivo:** se actúa en respuesta a lo que ya pasó, pero no se esperan instrucciones porque se sabe qué se debe hacer.
- **Preventivo:** monitorear de manera permanente, se aprende de la experiencia, se interioriza el aprendizaje, se enseña lo aprendido y no se esperan instrucciones o que se presenten problemas.
- **Anticipativo:** también se puede decir que es preventivo, pero, además de ello, siempre busca mejoras de alto impacto con la mira de alcanzar siempre cero averías, cero accidentes y cero defectos.

5.5.3. Disciplinas modernas aplicadas al mantenimiento

LA CONFIABILIDAD, LA DISPONIBILIDAD Y LA MANTENIBILIDAD

Según Peters (2006), el mantenimiento se puede interpretar como el conjunto de acciones para que un componente, equipo o sistema se pueda mantener productivo de modo que cumpla las funciones para lo que fue creado. En mantenimiento existen tres ítems muy importantes y son la confiabilidad, la disponibilidad y la mantenibilidad y todos juegan un papel muy importante en la misión de mantenimiento, que es garantizar la disponibilidad de los equipos para poder cumplir los objetivos de la empresa, que son producir y prestar un servicio de calidad, la seguridad, el cuidado del medio ambiente y con un costo adecuado.

Lo anterior debe también reforzar la optimización de costos en la gestión de mantenimiento, puesto que el mantenimiento es un generador de utilidades y no una carga financiera para la empresa. Se deben optimizar los costos para contribuir a la rentabilidad del negocio, con el fin de lograr, desde la perspectiva de los departamentos de mantenimiento, un mayor desempeño operacional y financiero de los activos de la compañía.

En este sentido, los participantes claves en los aspectos fundamentales para tomar decisiones sobre los costos de mantenimiento aplicables a los activos para un mejor desempeño operacional y financiero de la compañía deben contemplar:

- Revisar los elementos del mantenimiento de acuerdo con conceptos de gestión de activos e ISO 55000.
- Reconocer los gastos imputados a mantenimiento.

- Analizar conceptos estratégicos del negocio y de mantenimiento a la luz del gasto y la rentabilidad.
- Revisar los indicadores de mantenimiento y el aporte a los objetivos de la empresa.
- Implementar mantenimiento basado en condición (CBM) y basado en desempeño (PBM). Aplicar técnicas de mantenimiento predictivo (termografía, ultrasonido, vibraciones y tintas penetrantes, entre otras).

Evaluar y priorizar los activos productivos. También como táctica se debe revisar y aplicar NPR (número de priorización del riesgo) para evaluar cada equipo en función de la seguridad, la calidad, la disponibilidad, el rendimiento, la mantenibilidad y los costos, entre otras posibilidades. Los equipos se clasifican en las categorías A, B y C para priorizarlos y para decidir sobre los tipos de actividades que se incluirán en el mantenimiento para obtener la mayor disponibilidad posible. Los criterios de clasificación variarán dependiendo del proceso, de modo que los departamentos de mantenimiento, producción, ingeniería y seguridad deben cooperar para evaluar cada atributo. La calificación resulta de sumar los valores individuales obtenidos de la multiplicación directa de la importancia, la frecuencia y el impacto en cada uno de los aspectos o frentes de evaluación (seguridad, calidad, costos etc.).

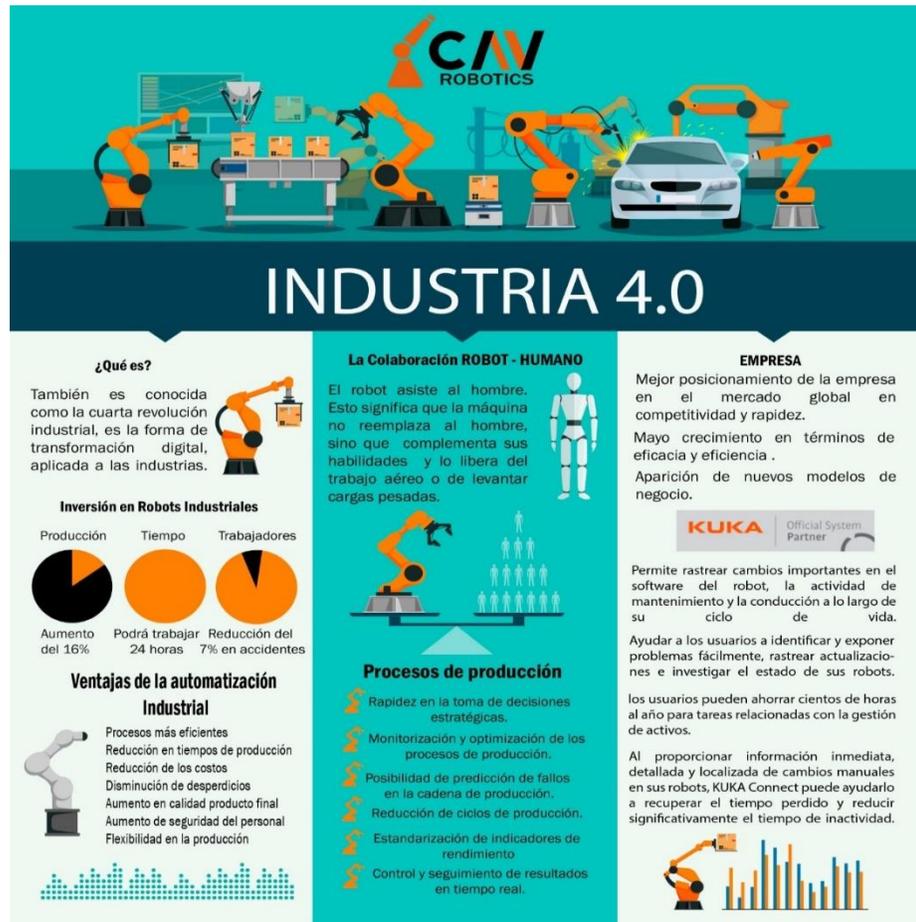
También se debe garantizar el inventario de seguridad de repuestos para los equipos clasificados como críticos para el proceso de producción, dado que, ante una avería, podrían parar el proceso.

5.5.4. Robótica y digitalización del mantenimiento

De acuerdo con la Cuarta Revolución Industrial, que busca organizar los procesos y los medios de producción mediante el desarrollo tecnológico e industrial, se podrían implementar o instalar en los procesos de empaque robots que permitan la clasificación, el empaque, el estibado y el zunchado automático o robotizado, que, incluso, diagnostican y ejecutan algunas de las actividades de su propio mantenimiento básico.

Un ejemplo notable de ello es la propuesta presentada por la empresa Cav Robotics Kuka, representante nacional de la marca alemana Kuka Robot, que se encarga de la venta de servicios a la industria especializados en robótica según sea la necesidad de la empresa. En la Organización Corona, esta firma suministra los robots que se utilizan para el empaque del producto Pegacor, fabricado en la unidad de negocio Materiales, y de allí la propuesta para que sea aplicada dicha tecnología en los procesos antes descritos, que debe incluir que el robot haga controles de su condición, reporte alarmas de su funcionamiento e informes de las intervenciones requeridas; incluso, puede el mismo robot ejecutarlas dependiendo el alcance de la operación.

Ilustración 30. Empresa Cav Robotics Kuka

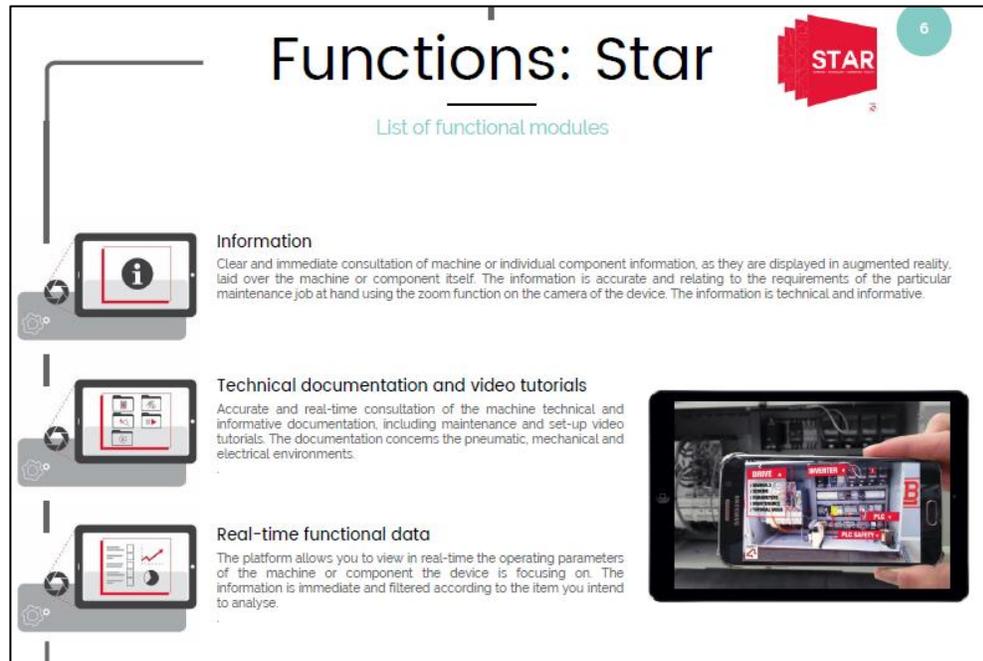


Fuente: elaborado por Cav Robotics Kuka, Hello Industrie 4.0_we conect you, (s.f.)

En la actualidad, la empresa italiana Sacmi, que es el principal proveedor de tecnología cerámica de la Organización Corona, ofrece la solución Star (*superior technology augmented reality*), que es una aplicación diseñada para optimizar la gestión de plantas por medio de la utilización las ventajas de la realidad aumentada y de las redes de comunicación y que permite el uso claro e inmediato de los datos técnicos y operativos de la máquina o el componente que se analiza y transmite información precisa, en tiempo real, sobre los datos técnicos de la máquina y los parámetros del proceso. Con estas medidas logra mejorar el *know-how* de los operadores porque reciben la misma información para gestionar y

mantener las plantas, por lo que el *know-how* se distribuye en toda la organización.

Ilustración 31. Star (superior technology augmented reality)



Fuente: Sacmi (s.f.)

5.5.5. Diagnósticos de la disponibilidad y el costo de mantenimiento

Para reforzar el objetivo de mantenimiento y optimizar la disponibilidad y el costo correspondiente, se presenta a continuación un análisis general de la situación actual, en la que se identificaron las oportunidades de mejora aplicables en el proceso.

Tabla 19. Diagnóstico de la disponibilidad

VERTIENTE	SITUACIÓN ACTUAL	RESPUESTA DESDE EL PUNTO DE VISTA DEL PROYECTO	SITUACIÓN FUTURA	DIFERENCIA
TRATAMIENTO DE LA DISPONIBILIDAD	En algunos casos no existe un marco de referencia para tomar decisiones de tipo estratégico, táctico y operacional sobre la gestión integral de los activos (máquinas)	Definición de documentos BBP (estratégica, táctica y operacional) que permitan tener una visión sistémica y objetiva del proceso de mantenimiento adaptable a los diferentes negocios de la organización	los responsables del proceso en cada una de las plantas o negocios tendrán argumentos de mejor calidad para formular, ejecutar y monitorear el impacto de las decisiones en un rango competitivo	Documentos homologados para toda la organización
	En algunos negocios no se realiza, o se hace de diferentes maneras, el monitoreo del proceso de mantenimiento con indicadores de diferentes niveles (KAI, KPI Y KMI) suficientes para ilustrar su desempeño.	Definición de indicadores y compilación de un tablero	Ciertos usuarios podrán acceder al sistema para verificar de manera integral el desempeño de un equipo, una línea, una o varias plantas, frente a su nivel de "disponibilidad"	Formulación y homologación de indicadores relacionados con el tratamiento de la disponibilidad, tales como: confiabilidad, mantenibilidad, número de averías (RCA), cumplimiento del programa de mantenimiento, lista de tareas pendientes (backlog), etc.
	En algunos casos existe un déficit de planeación organizada y argumentada en conceptos filosóficos para la gestión de activos suficiente para satisfacer las necesidades productivas de cada una de las plantas o negocios.	Inclusión de elementos de las teorías de TPM (mantenimiento productivo total), RCM (mantenimiento centrado en confiabilidad) y CMD (confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad).	Las actividades y las decisiones parametrizadas en el sistema en el ámbito operacional tendrán un contenido metodológico más acertado.	Planes de mantenimiento con actividades consecuentes con las necesidades de disponibilidad de las plantas.

Fuente: elaboración propia

El mantenimiento preventivo o planeado no puede aplicarse por igual en todos los equipos pues depende de las condiciones de prevención de la falla que resulte, desde los puntos de vista técnico y económico, más viable para los resultados de la empresa. Si el costo de la prevención de la falla es mayor que el de la reparación, es mejor dejar fallar el equipo y aplicar el mantenimiento correctivo (ILR), si el costo de la prevención es inferior al de la reparación, se deberá aplicar el mantenimiento preventivo (TBM) y si no se cuenta con los medios para prevenir la falla para equipos críticos, se deben realizar inspecciones periódicas de mantenimiento predictivo (CBM y RCM), con ayuda de equipos de diagnóstico.

Tabla 20. Diagnóstico de los costos

VERTIENTE	SITUACIÓN ACTUAL	RESPUESTA DESDE EL PUNTO DE VISTA DEL PROYECTO	SITUACIÓN FUTURA	DIFERENCIA
TRATAMIENTO DE LOS COSTOS	Se dificulta el control de los costos (en los diferentes rubros) asociados al proceso de mantenimiento debido a la segregación de sistemas en los que se causan o controlan. Ejemplo: Algunas facturas de reparaciones se envían directamente a contabilidad y su movimiento solo se ve reflejado hasta el final del período.	En su concepción natural, el módulo PM de SAP maneja el concepto de "órdenes de trabajo" en las que, por cada una que se genere, se deben relacionar los costos de todos los rubros asociados con la ejecución, esto es, repuestos, reparaciones, accesorios para maquinaria, materiales varios y además, mano de obra.	Una vez que se realice el cierre de la orden de trabajo, ya existe una garantía de que los costos han sido causados. Se podrán monitorear en tiempo más real.	Manejo de costos por órdenes y no en cifras globales.
	El control del inventario de repuestos se pierde debido, entre otras cosas, a que los artículos que se solicitan en modalidad "bajo pedido" pueden permanecer en el almacén de forma indefinida porque la decisión queda en el criterio de algunos de los jefes del proceso.	Las órdenes de trabajo solo se podrán "liberar" una vez que todos los materiales necesarios están en el almacén. La liberación implica que estos deben ser retirados de manera automática y se causan de inmediato a las órdenes.	Los responsables del proceso de mantenimiento están obligados a hacer una mejor planeación de estos recursos. De lo contrario, sus presupuestos se van a ver afectados.	La gestión de inventarios se limitará al control de los repuestos exclusivamente del "modelo de inventario" y no a sobrantes, obsoletos y otras clases que no son características de un proceso de mantenimiento.
	No hay una optimización clara de los recursos asociados con el proceso. En algunas decisiones se incurre en "exceso de mantenimiento" para algunos de los equipos.	En los objetos de negocio (BO) se puede monitorear el estado del período de vida particular de cada uno de los activos (mortalidad infantil, madurez y obsolescencia)	La cantidad de recursos que se diagnostican a un activo dependerá del período de vida en que se encuentren	Movimiento de costos paralelo a la curva de tasa de fallas característica del activo y no en línea recta por todo el período de vida.

Fuente: elaboración propia

Con las mejores prácticas o las mejoras identificadas de las diferentes metodologías de mantenimiento y los resultados se deben reforzar la estructura y el programa de mantenimiento, con aprobación y apoyo de la gerencia de operaciones, con la que se determinarán los tiempos, los objetivos y los recursos con los que se implementaría la metodología deseada.

6. CONCLUSIONES

- En la actualidad, la gestión de mantenimiento de los activos productivos demanda una gran importancia para lograr los objetivos de las empresas, con el fin de generar valor para asegurar la disponibilidad con un costo apropiado para así lograr ser competitivos en la industria. La implementación de herramientas y modelos para la gestión de mantenimiento, como TPM, RCM, PMO y de clase mundial, entre otros, para los activos productivos de la planta de superficies es la mejor opción para poder cumplir los objetivos de la compañía en cuanto a aumentar la disponibilidad, la confiabilidad y la mantenibilidad por medio de la optimización de los planes de mantenimiento actuales y el mejoramiento de los recursos para la operación de los procesos en general.
- Las buenas prácticas identificadas con la aplicación del *benchmarking* se podrían implementar en etapas y pasos diferentes, que le apuesten a alcanzar una nueva visión de la Dirección de Mantenimiento para transformarse en una sólida dirección de gestión de activos que, desde el punto de vista estratégico, le agregará valor a la organización mediante la aplicación de conceptos y enfoques de compañías de clase mundial que garanticen la CMD (confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad) y que permitan mejorar el equipo de trabajo, los procesos y la tecnología por medio del desarrollo de un modelo de mantenimiento centralizado para maximizar la disponibilidad de los activos productivos, estandarizar las prácticas de gestión y optimizar el costo.
- La propuesta de implementación de las mejores prácticas identificadas abarca cinco etapas (mantenimiento correctivo o de averías, mantenimiento planeado, confiabilidad del mantenimiento, mantenimiento mejorativo y prevención del mantenimiento y excelencia operacional) y cada una de estas etapas tiene unos objetivos de gestión con unos pasos o fases de implementación o refuerzo.

Cada etapa requerirá al menos un año para su gestión e implementación para que de esta manera se garantice la estabilización del proceso y, en especial, la secuencia lógica de acciones propias de la gestión y la operación del mantenimiento.

- La propuesta y la estructura de gestión integra los departamentos de ingeniería y de mantenimiento, con el fin de centralizar la planeación del mantenimiento para toda la planta, de modo que su ejecución se haga de manera transversal para todos los procesos productivos. La planeación del mantenimiento será ahora centralizada y por procesos. Será responsable de la gestión de activos, de la programación del mantenimiento, de la planeación de compras de repuestos y de la gestión del inventario de repuestos.

La ejecución del mantenimiento será transversal a los procesos y se podrán disponer los recursos con base en las necesidades, con independencia del proceso en el que estén ubicados los facilitadores y los técnicos de mantenimiento.

- En la actualidad, muchos softwares (como SAP y EAM, entre otros) ofrecen y facilitan la planeación de mantenimiento por el módulo que tiene para ello y en comunicación con las demás áreas, como compras, almacén, financiera, producción, etc., de la mano con la Cuarta Revolución Industrial, que abarca digitalización y robótica. Por ello se debe cargar rutinas y planes de mantenimiento en el módulo PM de SAP, en especial mediante la priorización de la definición para equipos críticos del proceso productivo y el refuerzo de la comunicación y la programación semanal con planeación de producción para aplazarlos o reprogramarlos, como máximo, una semana y evitar deterioro y las fallas de elementos o repuestos críticos.

- En un mundo cada vez más automatizado, la máquina se convierte en una entidad independiente que puede recopilar datos, analizarlos y asesorar sobre ellos por medios y redes de conexión virtual, para lo que se deberían implementar aplicaciones, como las ofrecidas por Kuka y Sacmi, que permiten que las propias máquinas informen sus alarmas, sus diagnósticos y los desgastes de repuestos al equipo de mantenimiento e, incluso, al fabricante, lo que haría posible ajustar y configurar, prevenir y solicitarlos antes de su posible falla, con el propósito de optimizar la gestión del mantenimiento mediante el aprovechamiento de las ventajas de la realidad aumentada y las redes de comunicación, que permiten el uso claro e inmediato de los datos técnicos y operativos de la máquina o el componente que se analiza y transmiten información precisa, en tiempo real, sobre los datos técnicos de la máquina y los parámetros del proceso.
- La mejora en la disponibilidad de los equipos es producto del refuerzo en la ejecución de inspecciones y mantenimientos preventivos o planeados; además, de la disminución en el número de averías y sus tiempos de reparación y puesta en marcha, con los respectivos análisis de averías e identificación de causa raíz para disminuirlas; para ello se deben reforzar la planeación y la ejecución del mantenimiento planeado (ILR, TBM, CBM y PBM), todo ello asociado con la cantidad de técnicos para atenderlas por cada proceso o planta con su respectivo conocimiento y con la disponibilidad en almacén de los repuestos críticos correspondientes.
- En la medida que se aumente la disponibilidad de los activos productivos, el costo de mantenimiento disminuye, al tener menos averías y lograr ejecutar el mantenimiento planeado con las frecuencias y los presupuestos proyectados. También se debe incluir presupuesto para mantenimiento de tipo mejorativo (mejoras de equipos y procesos) y cierre de tarjetas amarillas, de modo adicional al costo de mantenimiento planeado.

- El mantenimiento preventivo o planeado no puede aplicarse por igual a todos los equipos, pues depende de las condiciones de prevención de la falla que resulte, desde los puntos de vista técnico y económico, más viable para los resultados de la empresa. Si el costo de la prevención de la falla es mayor que el de la reparación, es mejor dejar fallar el equipo y aplicar el mantenimiento correctivo (ILR), si el costo de la prevención es inferior al de la reparación se deberá aplicar el mantenimiento preventivo (TBM) y, si no se cuenta con los medios para prevenir la falla para equipos críticos, se deben realizar inspecciones periódicas de mantenimiento predictivo (CBM y RCM), con ayuda de equipos de diagnóstico.
- El análisis de indicadores de disponibilidad, confiabilidad, mantenibilidad y costo de mantenimiento, integrado con la disminución de los problemas o las fallas crónicas o frecuentes, implica la participación de todos los técnicos y los operarios en la gestión del mantenimiento y la práctica del programa de las cinco eses y de LILA a la luz de TPM, mediante la definición de la mejora continua de la gestión del mantenimiento de una empresa y de sus resultados económicos finales; no obstante, la inclusión en cada análisis de confiabilidad (RCM) de otros indicadores de gestión hará más profundo el conocimiento del diagnóstico del mantenimiento y más efectiva la toma de decisiones.
- El control de inventarios se debe gestionar para no afectar el flujo de caja de la compañía, con planes para minimizar y retirar del almacén aquellos repuestos como sobrantes (excesos de pedidos), o también repuestos obsoletos. De igual manera, se debe revisar y precisar la criticidad de equipos para detallar el inventario de seguridad de los repuestos para los equipos y las máquinas críticos.
- Se debe reforzar la atención de técnicos por turnos, con polivalencia o conocimientos de diferentes procesos productivos, al igual que asegurar la

adecuada ejecución de los planes de mantenimiento definidos y cargados al módulo PM en SAP para así poder ejecutarlos de manera oportuna.

Los técnicos mecánicos y eléctricos deben reforzar el respectivo análisis y despliegue de la avería al pequeño equipo en el que sucedió la avería con el fin de poder así revisar los planes de acción para que dicha situación adversa no vuelva a suceder y no se vuelva repetitiva.

- A la luz del TPM, el mantenimiento autónomo juega un papel muy importante en la implementación de sus pasos y niveles porque el principio de cero averías empieza por exponer los defectos escondidos que previenen las averías antes de que ocurran y eso se logra con buena limpieza, inspección, lubricación y ajuste (LILA) de los equipos, que debe ser reforzada con transferencia de conocimiento a partir del mantenimiento planeado a los operarios de los equipos para ejecutar mantenimiento autónomo.
- Las mejores prácticas o las mejoras identificadas de las diferentes metodologías de mantenimiento y resultados deben reforzar la estructura y el programa de mantenimiento, con aprobación y apoyo de la gerencia de operaciones, con la que se determinarán los tiempos, los objetivos y los recursos con los que se implementaría la metodología deseada.

REFERENCIAS

- Actualidad empresa (2014, 12 de febrero). *Benchmarking: historial, definiciones, aplicaciones y beneficios (1ª parte)*. Actualidad empresa. <http://actualidadempresa.com/benchmarking-historial-definiciones-aplicaciones-y-beneficios-1a-parte/>
- Amendola, L. (2003). *Indicadores de confiabilidad propulsores en la gestión del mantenimiento*. Departamento de Proyectos de Ingeniería, Universidad Politécnica de Valencia. <https://www.virtualpro.co/biblioteca/indicadores-de-confiabilidad-propulsores-en-la-gestion-del-mantenimiento>
- Asociación Española para la Calidad (QAEC). (2019). World class manufacturing. Recuperado el 28 de mayo de 2020 de [https://www.aec.es/web/guest/centro-conocimiento/world-class-manufacturing#:~:text=World%20Class%20Manufacturing%20\(WCM\)%20naci%C3%B3n,total%20competitividad%20de%20las%20empresas](https://www.aec.es/web/guest/centro-conocimiento/world-class-manufacturing#:~:text=World%20Class%20Manufacturing%20(WCM)%20naci%C3%B3n,total%20competitividad%20de%20las%20empresas)
- Associazione Nazionale dei Costruttori Italiani di Impianti, Macchine, Attrezzature e Prodotti Semi-lavorati, Materie Prime e Servizi per l'Industria Cerámica, Acimac (2019). World production and consumption of ceramic tiles. *Ceramic World Review*, 133, 48-67. http://www.mec-studies.com/filealbum/807_0.pdf
- Beltrán Jaramillo, J. M. (2000). *Indicadores de gestión. Herramientas para lograr la competitividad*. Global Ediciones.
- Bhutta, K. S., & Huq., F. (1999). Benchmarking - Best practices: an integrated approach. *Benchmarking: An International Journal*, 6(3), 254-268. <https://doi.org/10.1108/14635779910289261>

British Standard Institute, BSI (2008, septiembre). PAS 55:2008-1:2008. *Specification of the optimized management of physical assets*.
https://shop.bsigroup.com/ProductDetail/?pid=000000000030171836&creative=443668107352&keyword=&matchtype=b&network=g&device=c&gclid=EAlaQobChMIpPsxaOd6glVgY3lCh1x3gZPEAAAYASAAEgLIX_D_BwE

Camp, R. (1993). *Benchmarking*. Panorama editorial.

Carrera, E. (s.f.). *Estilos de liderazgo, ¿cómo debe ser un buen líder?* MichaelPage. Recuperado el 28 de mayo de 2020 de <https://www.michaelpage.es/advice/empresas/desarrollo-profesional-y-retenci%C3%B3n-de-talento/bienvenido-la-industria-40-la-cuarta>

Chiavenato, I. (2005). *Introducción a la teoría general de la administración*, 7ª ed. McGraw-Hill.

Corona (2020). *[Quiénes somos]*. Recuperado el 20 de enero de 2020 de <https://empresa.corona.co/nuestra-compania/quienes-somos>

Dahl, J. (2007). *Maintenance benchmarking instrument boliden zinc smelters*. Central Ostrobothnia University of Applied Sciences

Drucker, P. (2018). *La innovación por Peter Drucker*. Alta Dirección. Recuperado el 19 de mayo de 2020 de <http://altadireccion.com.ar/la-innovacion-por-peter-drucker/>

García Garrido, S. (2009). *Ingeniería de mantenimiento. Manual práctico para la gestión eficaz del mantenimiento industrial*. renovetec. Recuperado el 5 de mayo de 2020 de <http://www.renovetec.com/373-ingenieria-de-mantenimiento>

Gulati, R. (2009). *Maintenance and reliability best practices*. Industrial Press.

Idhammar, C. (1997). *Results oriented maintenance TM management book*. Idcon.

Jiménez Vergara, J. A. (2010). *Tácticas de mantenimiento* (trabajo de grado, Ingeniería Mecánica, Universidad EAFIT).
<https://repository.eafit.edu.co/handle/10784/427>

Kahn, J. (2006). *Applying six sigma to plant maintenance improvement programs*. JK Consulting Fayetteville.

Kaplan, R., y Norton, D. (2000). *The strategy focused organizations*. HBS Press.

Kaplan, R., y Norton, D. (2002). *Cuadro de mando integral (The balanced score card)*. Gestión 2000.

Kardek, A., y Nascif, J. (2002). *Mantenimiento. Función estratégica*. Rio de Janeiro: CIP.

Mobley, K., Higgins, L., & Wikoff, D. (2008). *Maintenance engineering handbook*. McGraw-Hill.

Molina, J. (2004). *Mantenimiento y seguridad industrial. Unidad gestión del riesgo - Universidad de San Luis*. Recuperado el 18 de mayo de 2020 de http://scholar.google.com.co/scholar_url?url=http://ugr.unsl.edu.ar/documentos/Mantenimiento%2520Industrial.doc&hl=es&sa=X&scisig=AAGBfm1phfs7yEh86AKg5cLkjp5RnZxHlw&nossl=1&oi=scholar

Mora Gutiérrez, L. A. (2007b). *Mantenimiento estratégico para empresas industriales o de servicios. Enfoque sistémico kantiano*. 2ª ed. AMG.

- Mora Gutiérrez, L. A. (2008). *Mantenimiento industrial efectivo*. Coldi.
- Mora Gutiérrez, L. A. (2009). *Mantenimiento. Planeación, ejecución y control*. Alfaomega.
- Moubray, J. (2001). *Introducción al RCM*. Aladon.
- Moubray, J. (2004). *RCM. Reliability centered maintenance*. Industrial Press. Inc.
- MyABCM (s.f.). *¿Qué es eficiencia operacional y por qué es importante?* My ABCM. Recuperado el 29 de mayo de 2020, de <https://www.myabcm.com/es/blog-post/que-es-eficiencia-operacional/>
- Nakajima, S. (1991). *Introducción al TPM: mantenimiento productivo total*. Productivity Press.
- Navarro Eola, L., Pastor Tejedor, A. C., y Mugaburo Lacabrera, J. M. (1998). *Gestión integral del mantenimiento*. Marcombo.
- Oiltech Analysis S. L. (1995). Mantenimiento proactivo de sistemas mecánicos lubricados. *Fluidos, Oleohidráulica, Neumática y Automación*, 24, 361-362.
- Parra Márquez, C. A. y Crespo Márquez, A. (2012). *Ingeniería de mantenimiento y fiabilidad aplicada en la gestión de activos. Desarrollo y aplicación práctica de un modelo de gestión del mantenimiento (MGM)*. Ingemán.
- Perez Verzini, R. A. (2006, 5 de agosto). *Los pilares del TPM*. Action Group. Recuperado el 28 de mayo de 2020 de <http://www.actiongroup.com.ar/los-pilares-del-mantenimiento-productivo-total-hoy/>

- Peters, R. (2006). *Maintenance benchmarking and best practices*. McGraw-Hill.
- Pirret, R. (1999). *Proactive calibration helps drive productivity higher*. Everett.
- Porter, M. (2013). *On competition*. Harvard Business School Publishing Corporation.
- Rey, S. F. (1996). *Hacia la excelencia en mantenimiento*. Tgp Hoshin.
- Rifkin, J. (1994). *The end of work. The decline of the global labor force and the dawn of the post-market era*. Tarcher.
- Rius, J. (2006, 15 de agosto). *Gestión del mantenimiento*. Canales sectoriales interempresas. Metalmecánica. Recuperado el 26 de mayo de 2020 de <http://www.interempresas.net/MetalMecanica/Articulos/14763-Gestion-del-mantenimiento.html>
- Roberts, J. (2009). *TPM Mantenimiento productivo total, su definición e historia*. Departamento de Tecnología e Ingeniería Industrial Texas A&M University-Commerce.
- Sacmi (s.f.). *Teleassistance with augmented reality*. Sacmi. <https://spareparts.sacmi.com/en-US/TELEASSISTANCE-WITH-AUGMENTED-REALITY.aspx>
- Sainz, J. A., & Sebastián, M. A. (2013). Methodology for the maintenance centered on the reliability on facilities of low accessibility. *Procedia Engineering*, 63, 852-860. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2013.08.279>
- Shinotsuka, S. (2003). *Total productive maintenance*. (Pm system)
- Smith, K. (1998). *Modern concepts and methods in maintenance*. (s.n.)

- Spendolini, M. (1992). The benchmarking process. *Compensation and Benefits Review*, 24(5), 21-29. <https://doi.org/10.1177/088636879202400505>
- Suzuki, T. (1994). *TPM in process industries*. CRC Press.
- Tavares, L. A. (2001). *Administración moderna del mantenimiento*. Novo Polo Publicaciones. <https://es.slideshare.net/CarlosAlbertoZiga/administracion-moderna-de-mantenimiento-lourival-tavares>
- Torres, L.D. (2010). *Mantenimiento: su implementación y gestión*. Córdoca Universitatis.
- UNE, Normalización Española (2008, 24 de septiembre). *UNE-EN 15341: 2008. Mantenimiento. Indicadores clave de rendimiento del mantenimiento*. UNE. <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma/?c=N0041745>
- Wireman, T. (1997). How to calculate return on investment for maintenance improvement projects. En *ASME Citrus Engineering Symposium, CEC1997-4303* (pp. 27-43). <https://www.econbiz.de/Record/how-to-calculate-return-on-investment-for-maintenance-improvement-projects-wireman/10006476118>
- Wireman, T. (2004). *Benchmarking best practices in maintenance management*. Industrial Press.
- Youus, J., Fahad, M., & Khan, M. (2016). Evaluation and benchmarking of maintenance organization and planning/scheduling at automotive industries of Pakistan. *Procedia CIRP*, 40, 711-715. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.01.159>

ANEXOS

ANEXO 1. COMPARATIVO DE MODELOS O METODOLOGÍAS DE MANTENIMIENTO

MODELO O METODOLOGÍA	APROBACIÓN DE LA GERENCIA	DISMINUCIÓN DE PAROS DE EQUIPOS	DISMINUCIÓN EN COSTOS DE PRODUCCIÓN	SEGURIDAD INDUSTRIAL Y MEDIO AMBIENTE	AUMENTO EN CALIDAD DEL PRODUCTO FINAL	VENTAJAS	LIMITACIONES
MANTENIMIENTO PRODUCTIVO TOTAL (TPM)	El mantenimiento productivo total (TPM) es una metodología que busca la mejora continua de sus procesos productivos, en donde interactúan todas las personas de la empresa para obtener buenos resultados. (TPM, 2009).	El TPM como función principal busca la disminución de paros no programados utilizando: -Mantenimiento planificado. -Mantenimiento autónomo. Mejoramientos. -Capacitación y entrenamiento. (SUZUKI, 1996).	Con el TPM aseguramos una buena planeación de las paradas de mantenimientos preventivos y se tiene un buen control en los recursos y efectividad. Asimismo, se busca afrontar y corregir la falla en vez de convivir con ella, generando mayor eficiencia, mejores estándares de calidad y mayores niveles de utilidad. (WILLMOTT, 2001).	El TPM le da prioridad a la disminución de riesgos creando una cultura de seguridad en todo el personal de la empresa mediante herramientas visuales y capacitación adecuada. Esta táctica a través de las 5S busca crear un cambio de mentalidad en el personal de la empresa con la finalidad de disminuir riesgos	La calidad del producto mejora a partir del incremento en la eficiencia de las máquinas, el entrenamiento de los operadores y personal de planta, mejorando las relaciones con los proveedores y entregando al cliente lo que necesita, en el tiempo en que lo necesita. (WILLMOTT, 2001).	* Con el TPM y su técnica de 5S se obtiene que los equipos estén limpios y se puedan identificar, intervenir en las fallas fácilmente. * Como resultado del TPM se obtiene unos buenos mantenimientos con menor costo y mayor utilidad. * Al adquirir los operadores mayor conocimiento del principio de operación de la	* La implementación del TPM se traduce en un alto costo y un cambio total de actitud organizacional. * Los resultados no se van a ver al instante ya que su implementación es larga por lo cual los resultados no se pueden ver reflejados al instante.

				y emisiones al ambiente. (WILLMOTT, 2001).		máquina, cualquier anomalía que pudo derivar en un problema mayor, será detectada y resuelta en sus etapas iniciales.	
MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD (RCM)	<p>El RCM es una metodología muy técnica y no logra un impacto importante en la empresa. Su nivel de gestión solo se limita al impacto real del RCM en la mejora de la confiabilidad de los equipos y en los recursos utilizados para ello. (Moubray, 1991)</p>	<p>El RCM en su función principal es buscar los requerimientos de mantenimiento que tiene un activo físico en su etapa operativa utilizando unos procedimientos de ejecución que busquen disminuir los modos de falla, optimizar los recursos y realizar las tareas de forma segura. (Moubray, 1991)</p>	<p>* La optimización y planeación de los recursos para realizar acciones de mantenimiento genera un ahorro en el presupuesto. * Permite prolongar la vida útil de máquinas altamente costosas y disminuye el tiempo de ejecución en labores de mantenimiento hasta en un 70%. (Moubray, 1991)</p>	<p>El RCM busca mayor seguridad en la realización de tareas por parte de los operadores y los técnicos de mantenimiento y logra unificar el trabajo en equipo y una gran disminución en el impacto ambiental a través de la estandarización de procesos. (Mora, 2008)</p>	<p>Debido a que se escoge el mejor tipo de mantenimiento para cada uno de los activos, se puede tener un mejor comportamiento de los equipos durante la producción por lo cual los estándares de calidad serán más altos. (Moubray, 1991)</p>	<p>* Logra crear un lenguaje sencillo para todas aquellas personas involucradas en la prestación de servicios de mantenimiento dentro de la organización. * Puede disminuir la cantidad de tiempo invertido en un mantenimiento rutinario entre un 40% y un 70% en empresas que ya tengan definido un plan</p>	<p>* La buena selección del grupo de RCM es altamente importante ya que puede resultar falta de objetividad y de alcance ocasionando un análisis muy extenso que posiblemente no está dentro de los objetivos del mantenimiento de la empresa.</p>

						de mantenimiento preventivo. * El RCM en empresas que no tienen un plan de mantenimiento preventivo establecido puede disminuir la cantidad de horas hombre requeridas en comparación si se utilizara un método convencional.	
MEDODOLOGÍAS TPM Y RCM COMBINADAS	Estas dos metodologías combinadas deben tener el respaldo por un nivel de gestión que logre comprometer y empoderar a toda la organización en su implementación.	El TPM se enfoca principalmente el uso del mantenimiento preventivo mientras que el RCM complementa el mantenimiento preventivo haciendo uso del	La combinación de ambas tácticas evita crisis y fallas en el proceso productivo, se minimizan considerablemente los costos y se mejoran los procesos de planta.	Crea una cultura de prevención de riesgos a través de análisis soportados en las técnicas del RCM.	La combinación de ambas tácticas estriba en que sus principios claves de organización y confiabilidad se combinan para garantizar una excelente operación y gestión del mantenimiento, mejorando	* La combinación de ambas tácticas fortalece las debilidades de cada una.	* Su implementación representa un alto costo, cambió de actitud en el recurso humano y sus resultados son a largo plazo.

		mantenimiento predictivo ayudando a identificar como y cuando actuar a través del análisis del modo de falla.			consigo los procesos de planta y por ende el producto final.		
MANTENIMIENTO PROACTIVO	Los directivos de la empresa deben estar enterados del avance de la implementación de la metodología. El estado del proceso debe llevarse una vez por semana mientras empieza a marchar bien táctica proactiva. Asimismo, deben realizar estrategias de motivación a los empleados para que adquieran sentido de pertenencia y de	Se designará un grupo proactivo el cual será el encargado de prevenir las fallas en los equipos de la planta mediante acciones totalmente planeadas y acciones predictivas. En el caso en el que se presenten fallas, este grupo de encontrar en el menor tiempo posible el componente	La reducción en costos de producción se empieza a obtener a partir de la relación costo beneficio al momento de ejecutar acciones predictivas y preventivas, las cuales buscan como fin el prevenir las fallas que tengan un mayor nivel de criticidad e impacto económico en la compañía. (Mora, 2008)	El mantenimiento proactivo tiene como fin general buscar fortalecer el entrenamiento y la capacitación de todo el personal en análisis y detección de fallas y en la ejecución de acciones de mantenimiento de manera segura y eficaz.	Aunque no está enfocado directamente con el área de producción el objetivo de la táctica es detectar y controlar las fallas potenciales antes que el equipo entre en modo de falla, con el fin de aumentar la vida útil de componentes y disminuir costos de mantenimiento, asimismo mejorar la imagen frente a los clientes y la confiabilidad de	* Eliminar las fallas de las máquinas a través del tiempo y como resultado final alcanzar una prolongación importante de la vida útil del equipo. Asimismo evitar la compra de repuestos y maquinas con altos costos de inversión. * Sus técnicas son una extensión del programa de	* No genera buenos resultados si no está acompañado por un plan de mantenimiento predictivo. * Inversión importante en capacitación y en entrenamiento en análisis de fallas en el personal encargado de las tareas de mantenimiento.

	participación dentro de la implementación. (Mora, 2008)	afectado para evitar el aumento de la criticidad del problema. (Mora, 2008)			los equipos. (Mora, 2008)	mantenimiento predictivo y se pueden agregar fácilmente al programa establecido en la empresa.	
PLANNED MAINTENANCE OPTIMIZATION (PMO)	<p>La revisión y aceptación de la implementación por parte de la alta dirección juega un papel importante ya es fundamental para la ejecución.</p> <p>Sin embargo no se recomienda implementar en personal con alta rotación y en organizaciones conservadoras. (Mora, 2008)</p>	<p>Steve Turner afirma que el PMO facilita la planeación y programación de acciones de mantenimiento bajo una política revisada. (Turner, 2009)</p>	<p>El PMO es más flexible y efectivo que el RCM por lo tanto permite tener mejor control de los costos del mantenimiento sin afectar los costos de producción. (Mora, 2008)</p>	<p>Busca actuar frente a equipos críticos en la empresa los cuales son aquellos que atentan contra la seguridad, la productividad y el medio ambiente.</p>	<p>Permite obtener un control estadístico de los procesos a partir de los monitoreos por condición. (Turner, 2009)</p>	<p>* Según Steve Turner el PMO puede implementarse en una sexta parte del tiempo que el RCM.</p> <p>* Es una táctica ágil, por lo cual los resultados pueden ser visibles en un corto periodo de tiempo.</p> <p>* Busca analizar solo los modos de falla significativos para la organización teniendo equipos en funcionamiento, facilitando la</p>	<p>* La buena selección del grupo de PMO es altamente importante ya que debe buscar los modos de falla verdaderamente importantes y no contemplar los insignificantes.</p>

						labor.	
MANTENIMIENTO REACTIVO	Desde el punto de vista operativo el mantenimiento reactivo es muy cómodo ya que no considera la prevención y monitoreo de las fallas y los costos que esto implica, por lo tanto la administración adquiere la mentalidad de Run to fail.	No busca reducir los paros de máquinas, solo reacciona al momento en que se presenta la falla. (Mora, 2008)	Esta táctica debe considerarse en organizaciones de alta tecnología que necesiten estar a la vanguardia y que les permita reaccionar rápidamente ante situaciones adversas. (Mora, 2008)	La protección del medio ambiente no es considerada debido que no puede anticiparse a fallas que atenten contra el mismo. Los correctivos deben ser realizados contemplando un análisis de riesgo (Mora, 2008)	No busca mejorar la calidad del producto terminado.	<p>* Necesita que el equipo de trabajo este lo suficientemente capacitado para actuar rápido y corregir las fallas que se presenten en el menor tiempo posible.</p> <p>* Evita los costos generados por la prevención de fallas, es decir mano de obra excesiva, análisis predictivos y preventivos debido a que permite que la maquina funcione hasta que falle.</p>	<p>* No se anticipa a danos que puedan causar lesiones al personal de mantenimiento o al medio ambiente.</p>
MANTENIMIENTO O ORIENTADO A RESULTADOS	Esta metodología es de gran utilidad para aquellas empresas que no	La relación con el cliente debe ser mejorada a través del mercadeo y de	El mercadeo de la empresa mejora debido a buen comportamiento de la producción y el	El mantenimiento orientado a resultados busca mejorar la ejecución de	Uno de los objetivos es "hacer las cosas que se deben, como	* La táctica busca que el mantenimiento siempre se encuentre en un	* No posee bases cognitivas importantes ya que se basa en la intuición de los

	tienen suficiente tiempo y recursos para organizarse. Debido a que es una solución temporal, facilita la planeación integral.	un mejoramiento continuo de las actividades de mantenimiento.	mantenimiento (Satisfacer necesidades del cliente)	procedimientos para que sean amables con el ambiente y la integridad del equipo de mantenedores.	se deben". Mantenimiento mundial.	proceso de mejora continua, orientado siempre a las necesidades del cliente.	mantenedores más experimentados dentro de la organización.
WORLD CLASS MANUFACTURING	Se orienta hacia las metas y objetivos fijados previamente y busca desarrollar las acciones de mantenimiento bajo la mayor profundidad científica. (Mora, 2008)	A través de los índices de mantenimiento se trazan metas y objetivos para ser cumplidos en un periodo de tiempo estipulado. Esto ayuda a fomentar mejores prácticas de mantenimiento y prevención de fallas. (Carvajal Brenes, 2003)	Se implanta un sistema de control de costos de manera que sea un sistema de análisis de las actividades para determinar los verdaderos costos de operación y mantenimiento. (Carvajal Brenes, 2003)	A través de la identificación de las maquinas críticas se puede controlar y prever las fallas que atenten contra la seguridad de los empleados al igual que contra el medio ambiente bajo el cumplimiento de estándares de seguridad y protección ambiental internacionales. (Carvajal Brenes, 2003)	El objetivo principal es satisfacer todas las necesidades del cliente, por lo cual el mantenimiento busca satisfacer los requerimientos de producción.	* El mantenimiento reactivo es mínimo y se involucra el mantenimiento con el departamento de diseño. * Utiliza el benchmarck como una herramienta para disminuir costos, mejorar productividad y competitividad. * Es una táctica que se centra en	* Es una táctica que arroja resultados a largo plazo. * Debe ser aplicada en organizaciones con un buen CMMS.

						las normas internacionales para la solución de problemas.	
HABILIDADES Y COMPETENCIAS	Se debe tener un buen clima organizacional ya que busca centrar el mantenimiento en pocas personas con altos niveles de capacitación y ejecución. (Mora, 2008)	La insistencia se enfoca en la prestación del servicio y no en equipos específicos sino en conocimientos y habilidades enfocadas alrededor de las ciencias que imperan en el servicio de mantenimiento. (Mora, 2008)	Utiliza la subcontratación para realizar las actividades que no son claves dentro de la empresa, disminuyendo costos en mano de obra. (Mora, 2008)	Debido a las frecuentes capacitaciones se crea un ambiente de competencia basado en principios científicos y en normalizaciones internacionales. (Mora, 2008)	Los mantenedores deben ser capacitados en habilidades para prestar servicios particulares del mantenimiento (lubricación, electricidad, hidráulica, etc.) con la intención de fomentar competencias profesionales que mejoren los estándares de calidad de la organización. (Mora, 2008)	* Busca que los mantenedores se especialicen en un área de mantenimiento específico, brindando mayor calidad en el servicio. * Busca preservar el conocimiento y el buen servicio de mantenimiento.	* La falta de motivación por parte del recurso humano puede afectar el buen desarrollo de la táctica.

Fuente: Jiménez Vergara, 2010)

ANEXO 2. ANÁLISIS DE INDICADORES CLAVES DE MANTENIMIENTO EN LA PLANTA DE SUPERFICIES DE MADRID

ÍTEM		DESCRIPCIÓN	UNIDAD	META PARA 2019	REAL EN 2019	PORCENTAJE	META 2018	REAL 2018	PORCENTAJE	BUENAS PRÁCTICAS Y OPORTUNIDADES DE MEJORA IDENTIFICADAS
KMI	COSTOS DE MANTENIMIENTO	TOTAL	\$	\$1.340.176	\$1.669.801	124,60%	\$1.165.777	\$1.121.763	96,22%	Incluir presupuesto para mantenimiento de tipo mejorativo (mejoras de equipos y procesos), adicional al costo del mantenimiento planeado
		REPUESTOS	\$	\$520.716	\$656.288	126,04%	\$409.698	\$472.998	115,45%	
		REPARACIONES	\$	\$404.356	\$678.897	167,90%	\$337.825	\$288.587	85,42%	
		MOLDES Y MACHOS	\$	\$341.654	\$260.860	76,35%	\$318.534	\$308.864	96,96%	
		RODILLOS Y REFRACTARIOS	\$	\$33.450	\$22.518	67,32%	\$42.155	\$31.683	75,16%	
		FORROS Y CUERPOS MOLEDORES	\$	\$40.000	\$51.238	128,10%	\$57.565	\$19.631	34,10%	
	PRODUCTIVIDAD	DISPONIBILIDAD DE PLANTA	PORCENTAJE	92,00%	92,58%	100,63%	92,00%	92,59%	100,64%	Mantener refuerzo en la ejecución de inspecciones y mantenimientos preventivos o planeados, además de la disminución en el número de averías y sus tiempos de reparación y puesta en marcha de los equipos, con los respectivos análisis de averías e identificación de causa raíz para disminuirlas
KPI	PRODUCTIVIDAD	CONFIABILIDAD (MTBF)	HORAS	5,27	17,98	341,18%	5,27	12,78	242,50%	Reforzar la planeación y ejecución del mantenimiento planeado (ILR, TBM, CBM y PBM)
		MANTENIBILIDAD (MTTR)	HORAS	2,20	2,69	122,27%	2,20	2,03	92,27%	Revisar cantidad de técnicos para atenderlas por cada proceso o planta con su respectivo conocimiento y de acuerdo con la disponibilidad en almacén de los repuestos críticos para ello
	GESTIÓN DE INVENTARIOS	TOTAL DE INVENTARIOS (REPUESTOS ERS, ZER1 Y ZERS)	MILES DE MILLONES DE \$	\$6.613	\$6.492	98,17%	\$6.613	\$6.651	100,57%	Se planearon con antelación los materiales requeridos para que llegasen a tiempo para la ejecución del plan de mantenimiento. De otro lado, se elaboró un plan para minimizar y retirar del almacén los repuestos sobrantes (excesos de pedidos) y también los obsoletos. De igual manera, se debe revisar y precisar la criticidad de equipos

		SOBRANTES DE INVENTARIO	MILES DE MILLONES DE \$	-	\$2.859		-	\$2.974		para detallar el inventario de seguridad de los repuestos para esos equipos o maquinas críticos
		INVENTARIO DE SEGURIDAD	MILES DE MILLONES DE \$	\$1.462	\$1.400	95,76%	\$1.462	\$1.253	85,70%	
KAI	PRODUCTIVIDAD	NÚMERO DE AVERÍAS	UNIDAD	70	71	101,43%	70	60	85,71%	Se debe reforzar la atención de técnicos por turnos, polivalencia o conocimientos de diferentes procesos productivos, al igual que asegurar la adecuada ejecución de los planes de mantenimiento definidos y cargados al módulo PM en SAP para así poder ejecutarlos de manera oportuna para cumplir este indicador en los siguientes años
		ANÁLISIS DE AVERÍAS	PORCENTAJE	100%	66%	66,00%	100%	94,63%	94,63%	Gestión de los técnicos mecánicos y eléctricos en la que se llevan a cabo el respectivo análisis y el despliegue de la avería al pequeño equipo en el que sucedió la avería para así poder revisar planes de acción para que esta avería no vuelva a suceder y no se vuelva repetitiva
	TARJETAS FUGUAI	GESTIÓN DE TARJETAS ROJAS	PORCENTAJE	80,00%	136,25%	170,31%	90%	93,75%	104,17%	Se reforzó planeación de mantenimiento para evitar deterioro forzado de los equipos y se presupuestaron muchos mantenimientos mejorativos identificados y propuestos
		GESTIÓN DE TARJETAS AMARILLAS	PORCENTAJE	80,00%	92,75%	115,94%	90%	99,16%	110,18%	Se reforzaron la ejecución y cierre de las mencionadas tarjetas, se les asignó presupuesto propio (hasta un millón de pesos) y las de valor más alto se presentaban mensualmente al comité SISO para conseguir presupuesto adicional o inversión por medio de capex
	GESTIÓN DE MANTENIMIENTO	CUMPLIMIENTO DE MBT	PORCENTAJE	95,00%	100,00%	105,26%	95%	94%	98,95%	Todos los mantenimientos que estaban programados para el año se realizaron sin ninguna novedad por parte de producción o se reprogramaron en un plazo máximo de una semana
	SEGURIDAD	NÚMERO DE ACCIDENTES	UNIDAD	2	0	100,00%	2	0	100,00%	Acompañamiento de seguridad y salud en el trabajo en el que, con diferentes metodologías, se incentivó a que todos los trabajadores de la planta se sintieran muy comprometidos con su salud y la prevención de accidentes laborales, además del refuerzo de cierre de tarjetas amarillas
		NÚMERO DE DÍAS SIN ACCIDENTES	UNIDAD	182	718,75	394,92%	182	434,88	238,95%	

Fuente: elaboración propia