

DISEÑO DE UN NUEVO MODELO DE MANTENIMIENTO, PARA EL
MÓDULO DE TELA ABSORBENTE, EN LA LÍNEA DE PRODUCCIÓN CB2 DE LA
PLANTA KIMBERLY CLARK TOCANCIPÁ.

CAMILO ANDRÉS HERRERA GORDILLO

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO
BUCARAMANGA

2018

DISEÑO DE UN NUEVO MODELO DE MANTENIMIENTO, PARA EL MÓDULO
DE TELA ABSORBENTE, EN LA LÍNEA DE PRODUCCIÓN CB2 DE LA PLANTA
KIMBERLY CLARK TOCANCIPÁ.

CAMILO ANDRÉS HERRERA GORDILLO

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

Director: DANIEL ORTÍZ PLATA
Ingeniero Mecánico

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICO MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO
BUCARAMANGA

2018

AGRADECIMIENTOS

A mi Dios santo vivo y todo poderoso, por permitirme cumplir este gran logro y mostrarme que solo un paso más, del largo camino que me tiene preparado.

A mi Hijita Silvia María, por motivarme cada día con su sonrisa y felicidad.

A mi Esposa, Padres y Hermana: Paola, Gustavo, María y Marcela por su apoyo y por ceder un poco de su tiempo conmigo, para hacer posible la elaboración de este proyecto.

A mi Director de Monografía Daniel Ortiz, por compartirme parte de su experiencia y orientarme durante este proceso.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	15
1. GENERALIDADES DEL PROYECTO	16
1.1 KIMBERLY CLARK.....	16
1.1.1 KIMBERLY CLARK TOCANCIPÁ.....	17
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	18
1.3 OBJETIVOS.....	19
1.3.1 Objetivo General	19
1.3.2 Objetivos Específicos.....	19
1.4 JUSTIFICACION DEL PROYECTO.....	20
2. MARCO TEORICO	21
2.1 Historia del Mantenimiento Industrial	21
2.2 Generaciones del Mantenimiento Industrial	24
2.3 Paradigmas del Mantenimiento de Clase Mundial.	25
3. MARCO CONCEPTUAL	31
3.1 Mantenimientos de tipo Proactivo	31
3.1.1 Mantenimiento Preventivo.....	32
3.2.2 Mantenimiento Basado en Condición (CBM)	36
3.3.3 Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM).....	42
3.3.4 Mantenimiento Productivo Total (TPM).....	47
3.4 Mantenimiento Reactivo.....	56
3.4.1 Mantenimiento Correctivo Programado	57
3.4.2 Mantenimiento Correctivo de Emergencia	58

4. TAXONOMIA DE LOS EQUIPOS	60
4.1 Definición ISO 14224	60
4.2 Modulo de tela absorbente (Surge).....	61
4.2.1 Desenrollador módulo del Surge.....	63
4.2.2 Empalmador módulo del surge	65
4.3.3 Aplicador módulo del Surge	66
5. DEFINICIÓN DE LA CRITICIDAD DE LOS EQUIPOS	69
5.1 Matriz de Criticidad del módulo de Tela absorbente	69
6. EVALUACIÓN DE TIPOS Y MÉTODOS DE MANTENIMIENTO	73
6.2 ASPECTOS A EVALUAR EN LA ORGANIZACIÓN	74
6.2.1 Optimización del recurso humano disponible.....	75
6.2.2 Mínimo stock y baja rotación de repuestos en el almacén.....	75
6.2.3 Reducción de paros no programados en equipos.....	76
6.2.4 Aporte a seguridad de personas y medio ambiente	76
6.3 EVALUACIÓN DE CADA TIPO DE MANTENIMIENTO.....	76
6.4 SELECCIÓN DEL TIPO DE MANTENIMIENTO	79
7. PLAN DE MANTENIMIENTO RESULTANTE	81
7.1 EQUIPO HUMANO INVOLUCRADO	82
7.2 DEFINICIÓN DE LOS EQUIPOS.....	83
7.2.1 Manguera de alta temperatura para adhesivo	83
7.2.2 Electroválvulas de aplicación rápida de adhesivo.....	84
7.2.3 Cabezal aplicador de adhesivo	85
7.3 DEMARCACIÓN DE FRONTERAS	86
7.3 DEFINICIÓN DE FUNCIONES	88

7.4 ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTO DE FALLA (AMEF)	89
7.5 SELECCIÓN DE TAREAS	95
7.5.1 Tareas Proactivas	95
7.5.2 Tareas a falta de	96
8. CONCLUSIONES	98
BIBLIOGRAFÍA.....	99

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Aplicación del Mantenimiento Preventivo por Sistemas	34
Tabla 2. Aplicabilidad del Pdm.....	40
Tabla 3. Comparación entre Mtto tradicional y RCM	43
Tabla 4. Las ocho pérdidas de las plantas - definiciones y ejemplos.	50
Tabla 5. Taxonomía Módulo Tela Absorbente	63
Tabla 6. Valoración de la probabilidad de ocurrencia	70
Tabla 7. Valoración de consecuencias Matriz Criticidad.....	70
Tabla 8. Matriz de Riesgos de la Organización	71
Tabla 9. Evaluación tipos de Mantenimiento.	77
Tabla 10. Aplicación de cada Tipo de Mantenimiento	80
Tabla 11. Tipo de Mantenimiento seleccionado para Equipos criticidad A.	80

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Productos fabricados por Kimberly Clark.....	16
Figura 2. Planta de Kimberly Clark Tocancipá.....	17
Figura 3. Línea de Tiempo Evolución del Mantenimiento	21
Figura 4. Mantenimiento en la década de 1910.....	22
Figura 5. Shigeo Shingo: Creador de Poka Yoke, Just In Time, Smed,	23
Figura 6. Matriz de Probabilidad Vs Consecuencia	28
Figura 7. Curva de la Bañera.....	30
Figura 8. Estrategias de Mantenimiento	32
Figura 9. Actividades del Mantenimiento Preventivo	33
Figura 10. Modelo estructural Mantenimiento Preventivo.....	36
Figura 11. Clasificación de los Tipos de Mtto en Curva P-F	37
Figura 12. Beneficios del Mantenimiento Predictivo	38
Figura 13. Procedimiento para Monitoreo de Condición.....	41
Figura 14. Actividades resultantes AMEF.....	44
Figura 15. Modelo práctico de AMEF.	45
Figura 16. Gráfica de Costos de Mtto Vs esfuerzo invertido.....	47
Figura 17. Significado de TPM.....	48
Figura 18. Pasos de implementación del TPM	49
Figura 19. Cálculo del OEE	51
Figura 20. Pilares del TPM	52

Figura 21. Clasificación y asignación de tareas de Mtto TPM	54
Figura 22. Iceberg de una falla.	55
Figura 23. Balance del Proceso de Mantenimiento	58
Figura 24. Taxonomía Norma ISO 14224	60
Figura 25. Secciones de una máquina pañalera	61
Figura 26. Módulo de Tela Absorbente.....	62
Figura 27. Ubicación del Desenrollador en el Módulo Surge.....	64
Figura 28. Componentes del Desenrollador del Surge.	64
Figura 29. Componentes del Desenrollador del Surge.	65
Figura 30. Ubicación del Desenrollador en el Módulo Surge.....	66
Figura 31. Empalmador del Surge	67
Figura 32. Aplicador del Surge	67
Figura 33. Aplicador del Surge.	68
Figura 34. Criticidad de equipos módulo surge	71
Figura 35. Matriz de criticidad módulo Surge	72
Figura 36. Disponibilidad, Mantenibilidad y Confiabilidad.....	73
Figura 37. Desde actividades hasta estrategias de Mantenimiento.....	78
Figura 38. Equipo involucrado en la creación de RCM.....	82
Figura 39. Componentes a implementar RCM.	83
Figura 40. Manguera para adhesivo caliente.....	84
Figura 41. Electroválvula de aplicación adhesivo	85
Figura 42. Cabezal aplicador de adhesivo.....	86

Figura 43. Fronteras de estudio.....	87
Figura 44. Detalle de las fronteras, entradas y salidas.	87

RESUMEN

TITULO:

DISEÑO DE UN NUEVO MODELO DE MANTENIMIENTO, PARA EL MÓDULO DE TELA ABSORBENTE, EN LA LÍNEA DE PRODUCCIÓN CB2 DE LA PLANTA KIMBERLY CLARK TOCANCIPÁ*

AUTOR:

CAMILO ANDRÉS HERRERA**

PALABRAS CLAVE:

MODULO DE TELA ABSORBENTE, MANUFACTURA, RCM,TPM, MBC, CRITICIDAD.

CONTENIDO:

Esta monografía muestra el desarrollo de un nuevo modelo de mantenimiento para el módulo de Tela absorbente de la línea de producción CB2 Kimberly Clark Tocancipá; con el objetivo de mejorar la disponibilidad de los equipos, reducir los costos de Mantenimiento, y desarrollo del Talento Humano involucrado. También, pretende evaluar la idoneidad de algunas de las metodologías de Mantenimiento más conocidas y de mejores resultados, para finalmente tomar elementos de una o varias de estas, que apliquen a la naturaleza de los equipos, contexto operacional, y necesidades del negocio.

El plan de Mantenimiento entregable de este proyecto surge como resultado de la clasificación y análisis de cada uno de los equipos que conforman el módulo de la máquina objeto de estudio, en función de su criticidad medida con base en una matriz que toma en cuenta diversos factores y que permiten medir el impacto que podría generar una situación inesperada. Basado en su resultado, se evalúan las metodología de Mantenimiento a aplicar, teniendo en cuenta los recursos disponibles en la organización y los objetivos corporativos.

Todo lo anterior, a la luz de la seguridad como elemento primordial dentro de la cultura de Kimberly Clark, salvaguardando el medio ambiente, y velando por la calidad del producto final.

*Monografía de grado

**Facultad de ingenierías Físico – Mecánicas. Especialización en Gerencia de Mantenimiento **

Director: Daniel Ortíz Plata

ABSTRACT

TITLE:

DESIGN OF A NEW MODEL OF MAINTENANCE FOR THE ABSORBENT CLOTH MODULE, AT THE CB2 PRODUCTION LINE OF THE TOCANCIPÁ KIMBERLY CLARK PLANT *

AUTOR:

CAMILO ANDRÉS HERRERA**

KEYWORDS:

ABOSRBENT CLOTH MODULE, MANUFACTURE, RCM,TPM, MBC, CRITICALITY.

CONTENTS:

This document shows the development of a new model of maintenance for the absorbent cloth module of the cb2 production line kimberly clark tocanipá; with the objective of improving the availability of the equipment, reduce maintenance costs, and development of human talent involved. it also aims to assess the suitability of some of the most well known maintenance methodologies and best results, to finally take elements in one or more of these, they apply to the nature of the equipment, operational context, and business needs.

The Maintenance Plan deliverable of this project will emerge as a result of the classification and analysis of each of the elements that make up the module of engine object of study, depending on their criticality measure through a matrix that takes into account various factors that allow to know the impact that could generate an unexpected situation, and based on its outcome will assess the Maintenance methodology to apply, taking into account the resources available in the organization and corporate objectives.

All of the above, within the framework of the safety as a primary element within the culture of Kimberly Clark, safeguarding the environment and ensuring the quality of the final product.

*Monography

** Physical – Mechanical Faculty. Maintenance Management Specialization **

Director: Daniel Ortíz Plata

INTRODUCCIÓN

El mantenimiento en una planta de producción debe estar totalmente alineado con los objetivos del negocio y las necesidades del consumidor. Las líneas de producción de Kimberly Clark Tocancipá, funcionan cada una en producción en serie, lo cual exige que los niveles de confiabilidad y disponibilidad sean altos, pues de lo contrario afectaría el OEE (eficiencia global de quipos) de la planta por pérdidas productivas, que a su vez tendría un impacto negativo en el cumplimiento de los objetivos financieros de la compañía, que en el mercado actual del negocio de productos para el cuidado personal, desembocaría en afectación a la imagen de las marcas, y pérdida de clientes actuales y potenciales.

La elaboración de un nuevo modelo de mantenimiento para el módulo de tela absorbente de la línea de producción CB2 de Kimberly Clark Tocancipá, basado en la comparación de diferentes tipos y filosofías de mantenimiento, permite que la compañía se asegure bajo criterios organizacionales, que el plan de mantenimiento para sus equipos sea el que más agregue valor al cumplimiento de sus objetivos estratégicos.

Este trabajo de grado ordena los pasos a seguir para plantear, evaluar y definir el tipo o filosofía de mantenimiento más adecuado para el módulo de estudio, siempre teniendo muy presente todo el entorno organizacional de la compañía, no solo desde la óptica de mantenimiento.

1. GENERALIDADES DEL PROYECTO

1.1 KIMBERLY CLARK.

Fundada en 1872 por John Kimberly y Charles Clark entre otros, en Wisconsin USA, con el propósito de procesar pulpa de papel, pero poco a poco fue desarrollando productos como: toallas higiénicas (Kotex), y pañuelos desechables (Kleenex) en la década de 1920, luego inició la producción de pañales desechables (Huggies) hacia la década los 70's, el 1995 inicia en el negocio del papel higiénico a través de la compra de la marca Scott. En los años posteriores amplía sus líneas de negocio con marcas como: Plenitud y Kc-Profesional.

Figura 1. Productos fabricados por Kimberly Clark.



Fuente: KIMBERLY CLARK. Página Web corporativa. [En Línea]. Buenos Aires.: Kimberly Clark. 2011.(Recuperado 12 Julio de 2018). Disponible en <http://www.kimberly-clark.com.ar/marcas.asp>

Hoy por hoy KC es una empresa líder en fabricación de productos para el cuidado personal de: adultos, niños y bebés, mujeres, familias, además de la línea KC-

profesional enfocada al cuidado del personal que labora. Con presencia en más de 174 países alrededor del mundo.

1.1.1 **KIMBERLY CLARK TOCANCIPÁ:** En el Departamento de Cundinamarca está la planta de Tocancipá, que junto a la de Antioquía y el Valle del Cauca, conforman el grupo de Fábricas de Kimberly Clark Colombia, en la cual se fabrican productos de protección Infantil y Femenina para consumo nacional y exportando a países Latinoamericanos.

Figura 2. Planta de Kimberly Clark Tocancipá



Fuente: EL EMPLEO. Página Web el empleo. [En Línea]. Colombia.: [empleo.com](http://www.empleo.com). 2018. (Recuperado 15 Julio de 2018). Disponible en <http://www.empleo.com/co/base-empresarial/kimberly/16704>.

A partir de materias primas como: productos especializados en absorción, pulpa de papel, telas tejidas y no tejidas, cubiertas plásticas, cintas elásticas, adhesivos y otros tantos materiales, la planta de Tocancipá produce el 100% de los pañales desechables y Toallas higiénicas marca Huggies y Kotex respectivamente que se consumen en Colombia, y un porcentaje menor pero importante en países como Perú, Ecuador y Bolivia. Desde su creación en los 90's, la planta de Tocancipá se ha concentrado en mejorar su capacidad productiva, sobre todo en la línea de protección infantil Huggies, donde progresivamente fue aumentando su cantidad

de líneas producción y abriendo las puertas a nuevos productos del mismo mercado.

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Las máquinas pañaleras, conforman los equipos productivos de la línea de negocio de protección infantil de Kimberly Clark Tocancipá, donde existen 5 de estas trabajando de forma simultánea e independiente. Cada una está compuesta por 4 secciones de máquina y proceso: formación, construcción, adhesivos y empaque; estas a su vez la conforman gran variedad de módulos que contienen equipos y sistemas tales como desarrolladores, bandas transportadoras y rodillos servo motorizados, aplicadores en línea de adhesivo, sistemas neumáticos y de vacío, sistemas de visión artificial, además de robustos sistemas de control electrónico.

Los equipos con un régimen de operación de 24 horas continuas con 28 días al mes, a pesar de tener una confiabilidad mayor al 90%, el tiempo productivo de módulos que manejan materiales primarios en la fabricación de pañales, como la tela absorbente, ha disminuido en el último año, por fallos inesperados que han afectado la disponibilidad de la línea de producción CB2 Kimberly Clark Tocancipá, y por lo tanto el OEE del negocio.


Eventos como fallos mecánicos intempestivos, condiciones eléctricas de fallo durante corrida o durante un arranque de máquina, avería de componentes neumáticos, mal funcionamiento de la instrumentación, fallos en sistemas de visión artificial, entre otros, han impactado negativamente en los indicadores claves de desempeño, evitando así cumplir con un OEE del 89% y un waste (desperdicio en producción) inferior al 2% (metas de la planta para 2018).


1.3 OBJETIVOS


1.3.1 Objetivo General


Diseñar un nuevo modelo de Mantenimiento, para el módulo de Tela absorbente en la línea de producción CB2 de la Planta Kimberly Clark Tocancipá.

1.3.2 Objetivos Específicos

-  Identificar todos los Sistemas y equipos asociados a la máquina productiva.

-  Definir criticidad de todos los equipos que conforman el módulo de tela absorbente, para la línea producción CB2 de la planta Kimberly Clark Tocancipá.

-  Evaluar aplicabilidad, de las diferentes metodologías del Mantenimiento (Preventivo, CBM, TPM, RCM), y seleccionar uno para implementar.

-  Generar un plan de Mantenimiento Integral para el módulo, de acuerdo con los sistemas, y tipos de equipos existentes.

1.4 JUSTIFICACION DEL PROYECTO.

El mantenimiento en una planta de producción debe estar totalmente alineado con los objetivos del negocio y las necesidades del consumidor. El plan actual del mantenimiento en Kimberly Clark Tocancipá, a pesar de basarse en este enfoque, aún no logra impactar de forma eficiente en todos los indicadores de la compañía, tales como: Desperdicio menor al 2%, y un OEE mayor al 80%.

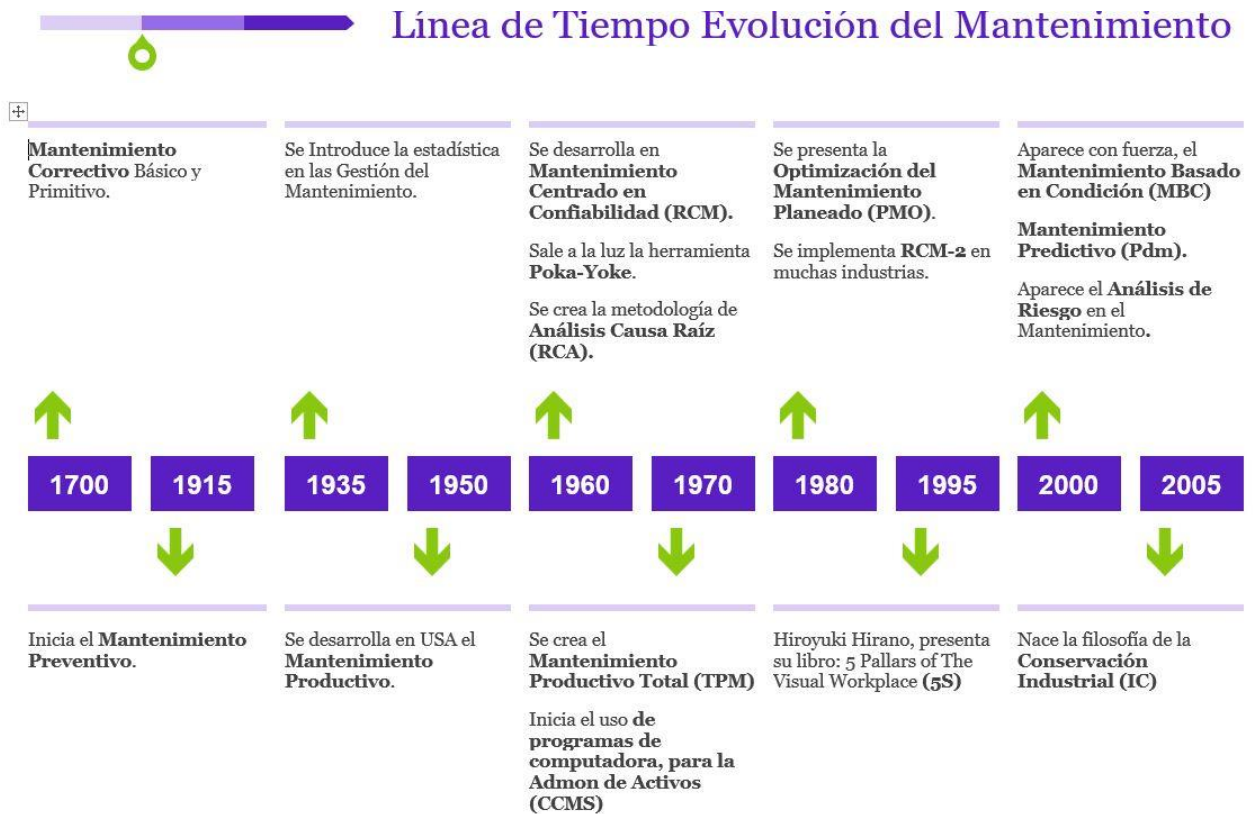
El planteamiento de un nuevo modelo de plan de mantenimiento para el módulo de tela absorbente en la línea de producción CB2 de Kimberly Clark Tocancipá, basado en la criticidad de sus equipos y garantizando una disponibilidad en estos no menor al 80%; permitirá que la Línea de producción CB2 cumpla con la disponibilidad requerida, aportándole al OEE, a través la gestión del mantenimiento, como uno de los pilares de este objetivo.

2. MARCO TEORICO

2.1 Historia del Mantenimiento Industrial

Prácticamente desde el comienzo de la humanidad, se vio la necesidad de mantener las herramientas y bienes que se poseían, con el propósito de preservarlos el mayor tiempo posible y tenerlos en buen estado en el momento de necesitar darles uso. Inicialmente, solo se intervenían de forma casi obligada para realizar reparaciones de tipo correctivo.

Figura 3. Línea de Tiempo Evolución del Mantenimiento



Fuente: Autor del Proyecto.

Sin embargo, en el siglo XIX empezó a notarse la necesidad de mejorar el proceso de manutención de aquellos bienes productivos o de gran valor económico, político y/o cultural de cada época, pues las reparaciones salían muy costosas, además del tiempo sin poder hacer uso de éste. Esta necesidad originó una serie de actividades orientadas a evitar algunos paros por fallos en los equipos que se consideraban de gran valor o importancia, como rutinas de chequeo visual, limpiezas, lubricaciones, y cambio de partes por tiempo de uso, que finalmente se convirtieron en lo que hoy conocemos como Mantenimiento Preventivo.

Figura 4. Mantenimiento en la década de 1910



Fuente: ENOVA LEVANTE. Página Web. [En Línea]. Madrid.: ENOVA. 2012. (Recuperado 18 Julio de 2018). Disponible en <http://www.enovalevante.es/mantenimiento>.

No tardó mucho en que surgieran conceptos de Mantenimiento mucho mas elaborados, donde no solo primaba la idea de evitar que algunos fallos aparecieran de la nada, sino que además se controlaban y estimaban recursos para esto. Es así, como entre los 60'S y 70'S nace el TPM (Mantenimiento Productivo Total) y RCM (Mantenimiento Centrado en Confiabilidad), filosofías que revolucionan la forma de ver y concebir el Mantenimiento para siempre, y que a lo largo del tiempo han comprobado que la eficacia y eficiencia de mantener uno o varios activos, depende de la alineación de todas las personas involucradas con éste: diseñador, constructor, operador, vendedor de repuestos, entre otros, y no solo del grupo de personas de Mantenimiento.

Figura 5. Shigeo Shingo: Creador de Poka Yoke, Just In Time, Smed,



Fuente: BLOGGER. Maestros de la Calidad. [En Linea]. Lima.: Maestros Quality. 2015.(Recuperado 18 Julio de 2018). Disponible en http://maestrosquality.blogspot.com/p/blog-page_7232.html.

Herramientas de gran aporte, como el Poka Yoke (Ver Figura 5), SMED, 5S's y ACR (Análisis Causa Raíz), más la aplicación de modelos estadísticos para el análisis de datos, hicieron que la primitiva y básica labor de reparación que por

muchas décadas marcó la identidad del Mantenimiento, perdiera valor a lo largo del tiempo y dieran paso a técnicas no invasivas como CBM (Mantenimiento Basado en Condición), donde se logró conocer el estado actual de un equipo a través de la medición y monitoreo en línea de una variable física asociada a su funcionamiento, e incluso predecir su comportamiento en el tiempo Pdm (Mantenimiento Predictivo); permitiendo así el máximo aprovechamiento de la vida útil del activo, bajo un permanente registro y análisis de su estado (Ver Figura 3).

2.2 Generaciones del Mantenimiento Industrial

A lo largo del proceso industrial vivido desde finales del siglo XIX, el mantenimiento ha atravesado diferentes etapas. En los inicios de la Revolución Industrial, eran los propios operadores de los equipos los encargados de realizar las tareas de cuidado y conservación de las maquinas. El mantenimiento de la época era puramente correctivo y era el operador de maquina el encargado de solucionar los problemas y averías que esta sufría. De alguna manera fueron los precursores del mantenimiento productivo total (TPM).

Con el tiempo las maquinas empezaron a hacerse más complejas dadas las necesidades de la producción en serie, iniciada por Ford. Fue en este momento cuando se dividieron las tareas de producción y de mantenimiento. Aparece la figura del operario de mantenimiento. Que tiene como único objetivo reparar averías, dedicando todo el esfuerzo al mantenimiento correctivo.

Durante la segunda guerra mundial aparece la segunda generación del mantenimiento. La necesidad de una mayor continuidad en la producción obliga a desarrollar formas de aumentar el tiempo de disponibilidad de los equipos. Nace entonces el concepto de Mantenimiento Preventivo. Los departamentos de

mantenimiento tratan de evitar la aparición de averías realizando una serie de tareas periódicas de carácter preventivo, previamente programadas.

La tercera generación del mantenimiento nace tras la aparición del concepto “Fiabilidad”, en los años 80. Se desarrollan nuevos métodos de trabajo que avanzan las técnicas del mantenimiento, como: Predictivo, Rcm, TPM.

La cuarta generación del mantenimiento nace en los años 90. Esta tiene como objetivo la competitividad, y busca el desarrollo de métodos de trabajo eficientes¹.

2.3 Paradigmas del Mantenimiento de Clase Mundial.

Continuando con lo traducido y adaptado por Pérez, del libro de Moubray², estoy de acuerdo en la dominancia ejercida por el cambio en las tendencias administrativas a lo largo de la historia. Todas las disciplinas están exhortadas a adaptar cambios en el diseño de la organización, en tecnología, en capacidades de liderazgo, en comunicaciones; de hecho, en todos los aspectos de la vida laboral, siendo la administración de activos físicos el área que ha sentido más amplia y profundamente estos cambios.

Cada uno de los cambios en sí mismo es también suficiente para tomar el objeto de uno o varios estudios, así que un documento como éste no espera explorar todos los cambios en detalle. De hecho, va al extremo opuesto, reduciendo cada área de cambio hasta 2 máximas, seguidas por una corta explicación. En cada caso, una máxima intenta resumir la forma como las cosas solían hacerse,

¹ Fuente: VIÑALS, Joaquín. La evolución del Mantenimiento Industrial, Revista Digital Enova Levante. España, 2016.

² MOUBRAY, Jhon. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad RCM II Edición en español. Aladon. 2004.

mientras que la otra resume la forma como las cosas son, o deberían ser en estos tiempos.

Los siguientes conjuntos de creencias clásicas y tradicionales en el mantenimiento, con su respectiva nueva y en muchos casos probada afirmación, componen lo que se presentará como las “máximas” del Mantenimiento actual, cumpliendo los siguientes propósitos:

- ✚ Proveer un rápido análisis de lo que son los cambios.
- ✚ Proveer una base para comparar las diferentes herramientas de apoyo para la decisión de filosofías administrativas que exigen proveer una base para la acción (RCM, FMECA, MSG3, HAZOP, TMP, RCA, RBI, RCM2, y otras).

Máxima 1

Anterior: El mantenimiento es para preservar los activos físicos.

Actual: El mantenimiento es para preservar las funciones de los activos.

A medida que se logra un entendimiento más profundo acerca del papel de los activos en los negocios, se da comienzo a apreciar la importancia de que cualquier activo físico este puesto en servicio porque alguien quiere que este haga algo.

Cuando se da mantenimiento a un activo, la condición que se desea preservar es una en la cual el activo continúe haciendo lo que los usuarios desean que haga. Esto implica enfocar la atención en mantener lo que cada activo hace, en vez de lo que dicho activo es. Claramente, antes de hacer esto, hay que tener un entendimiento cristalino sobre las funciones de cada activo, junto con las normativas de rendimiento asociadas.

Máxima 2

Anterior: El mantenimiento rutinario es acerca de la prevención de las fallas

Actual: El mantenimiento rutinario es acerca de evitar, reducir o eliminar las consecuencias de las fallas.

Un análisis detallado de una empresa mediana del sector industrial produce entre cinco mil y diez mil posibles modos de falla. Cada una de estas afecta la organización en alguna forma; pero, para cada caso, los efectos son diferentes. Los efectos pueden afectar las operaciones, la calidad del producto, la seguridad o el medio ambiente. Todos ellos tomarán tiempo y repararlos costará dinero.

Estas consecuencias influyen fuertemente el alcance de prevenir cada falla. Si un modo de falla tiene consecuencias serias, probablemente se harán esfuerzos mayores para intentar prevenirlo, si tiene poco o ningún efecto se podrá decidir no emprender acciones preventivas. En otras palabras, las consecuencias de las fallas son mucho más importantes que sus características técnicas.

La principal razón para hacer cualquier tipo de mantenimiento proactivo es evitar reducir o eliminar las consecuencias de la falla. Una revisión formal de las consecuencias enfoca la atención en labores de mantenimiento que tengan mayor efecto en el rendimiento de la organización, y desvíe la energía lejos de aquellas, las cuales tienen poco o ningún efecto. Esto ayuda a asegurar que lo gastado en mantenimiento es gastado donde producirá el mayor beneficio.

No siempre es fácil determinar las consecuencias de uno o varios modos de fallo, y por tanto su priorización dentro del plan de mantenimiento. Afortunadamente y como se ilustra en la figura 6, bajo la matriz de criticidad, se puede encontrar la criticidad de un equipo o componente, en función de la probabilidad y la

consecuencia de evento no deseado, desde el aspecto de: seguridad, calidad, finanzas, productividad, imagen, entre otros.

Figura 6. Matriz de Probabilidad Vs Consecuencia

R = C x P			CONSECUENCIAS						
			Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3	Nivel 4	Nivel 5	Nivel 6	Nivel 7
			(1)	(3)	(10)	(30)	(100)	(300)	(1000)
P R O B A B .	Nivel 6	(10)	10	30	100	300	1000	3000	10000
	Nivel 5	(3)	3	9	30	90	300	900	3000
	Nivel 4	(1)	1	3	10	30	100	300	1000
	Nivel 3	(0.3)	0.3	0.9	3	9	30	90	300
	Nivel 2	(0.1)	0.1	0.3	1	3	10	30	100
	Nivel 1	(0.03)	0.03	0.09	0.3	0.9	3	9	30

A	Riesgo Alto
B	Riesgo Medio
C	Riesgo Bajo

Fuente: VIRULAZO. Enfoque estratégico de infraestructura crítica. [En Línea]. Buenos Aires.: 2016. (Recuperado 20 Julio de 2018). Disponible en <https://virulazo.wordpress.com/tag/analisiscriticidadautomatizacioncomplejidad-comunicacioncondiciones-confiabilidadconsecuenciasdanodesempenodestrucciondiseno-economiaecuacion-escalaestandaresevaluacionfrecuenciafunc/>.

Máxima 3

Anterior: La mayoría de los equipos tienden a fallar a medida que envejecen

Actual: La mayoría de las fallas no tienden a ocurrir a medida que los equipos envejecen.

Por décadas, la sabiduría popular sugirió que la mejor forma de optimizar el rendimiento de los activos físicos era repararlos y reemplazarlos a intervalos fijos. Esto basado en la premisa de que existe una relación directa entre la cantidad de tiempo (o número de ciclos) que el equipo pasa en servicio y la posibilidad de que

fallará. La mayoría de los activos físicos pueden operar confiablemente por un período “X” y, luego, ser inutilizados.

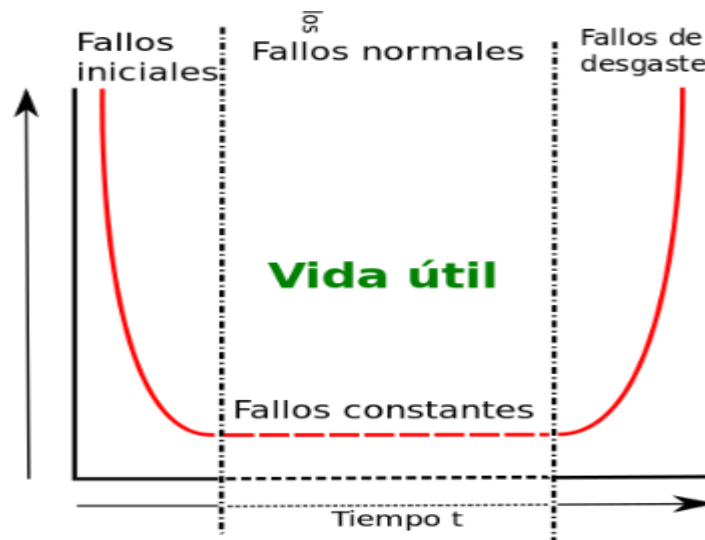
El pensamiento clásico sostuvo que “X” podría ser determinada a partir de registros históricos sobre las fallas de los equipos, facilitando a los usuarios tomar acciones preventivas antes de que el equipo deba fallar en el futuro. Esta predecible relación entre la edad y la relación de falla es cierta sólo para algunos modos de falla.

Tiende a ser encontrada (la relación) donde el equipo está en contacto directo con el producto, los ejemplos incluyen motores de bombas, hornos refractarios, válvulas, trituradores, porta tornillos, herramientas para máquinas, entre otros, las fallas relacionadas con la edad también son, a menudo, asociadas con la fatiga y la corrosión. Sin embargo, los activos en general son mucho más complejos de lo que fueron hace 15 años. Esto ha conducido a cambios sorprendentes en los patrones de fallas de los equipos. Ahora muestran la probabilidad condicional de falla contra la edad de operación para una amplia variedad de elementos eléctricos y mecánicos.

Estos hallazgos contradicen la creencia de que siempre hay una conexión entre la confiabilidad y la edad de operación. La creencia que condujo a la idea de que entre más se repara un elemento, menor será la probabilidad de que falle, no es del todo cierta. A menos que haya un dominante modo de falla relacionado con la edad, las reparaciones o reemplazos a intervalos fijos hacen poco o nada para mejorar la confiabilidad de equipos complejos. La mayoría de los profesionales de mantenimiento son conscientes de estos hallazgos, y deciden con la realidad aleatoria después de décadas en la bañera.

Un ejemplo de lo anterior es que en la mayoría de los textos de Mantenimiento y en gran parte del material de expositores colombianos, la curva de la bañera sigue siendo el modelo más popular para explicar la relación aparente entre la tasa de fallo y el tiempo que lleva en servicio un equipo o componente.

Figura 7. Curva de la Bañera



Fuente: TONIPERIS. Curva Bañera. [En Línea]. Buenos Aires. Wikipedia. 2014. (Recuperado 20 Julio de 2018). Disponible en: https://es.m.wikipedia.org/wiki/Archivo:Curva_ba%C3%B1era.svg.

Sin embargo, y de cara a contrarrestar el paradigma de esta máxima, es preciso realizar planes de Mantenimiento, capaces de prevenir un fallo y mitigar sus consecuencias en cualquier instante del tiempo de operación, y no solo creer que pueden ocurrir en tiempos cercanos a su puesta en marcha o luego de bastante tiempo de servicio.

3. MARCO CONCEPTUAL

3.1 Mantenimientos de tipo Proactivo

La mantención no correctiva (preventiva y predictiva) se aplica prioritariamente a los componentes críticos de la producción³, y abarca todas las técnicas o estrategias orientadas, a realizar labores que eviten la ocurrencia de una falla antes que esta aparezca. Resumida a groso modo, a través del Mantenimiento preventivo y predictivo, obliga tanto al equipo de profesionales, como al de técnicos del área de Mantenimiento y producción, al planteamiento, planeación, programación, y ejecución de actividades sobre los equipos, aun cuando estos están operando bajo condiciones óptimas.

Un claro ejemplo del mantenimiento proactivo aplicado, es el Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM) del cual se hablará en este capítulo, pues integra: mantenimiento preventivo, Mantenimiento Basado en Condición (CBM), pruebas funcionales y hasta el Correctivo programado (Run to Fail).

En muchos modelos de Mantenimiento en vía de maduración, el Mantenimiento Proactivo puede provocar desconcierto entre algunos de los interesados en el proceso; sobre todo si ellos, vienen de un sistema de Mantenimiento basado en la aparición de la falla. Por lo que se aconseja realizar una presentación formal al grupo de interesados (Gerencia, Mantenimiento, Producción, Calidad, Hse, Costos, entre otros...), acerca del objetivo de las nuevas actividades, y el riesgo de no hacerlas, antes de iniciar su implementación. Sin embargo, y orientado a los equipos que de acuerdo con su criticidad lo requieran, no tardará mucho en ser valorado por la organización debido a los aportes reflejados en bajos costos de Mantenimiento, reducción de incidentes de calidad y seguridad asociados a fallas,

³ PASCUAL, Rodrigo. Gestión Moderna del Mantenimiento. Dpto Ing. Mecánica Universidad de Chile. Santiago de Chile: 2002. Versión 2.0. p. 13.

menos trabajos no programados, y sobre todo mayor disponibilidad, aportando directamente al OEE del negocio.

Figura 8. Estrategias de Mantenimiento



Fuente: ORTIZ PLATA, Daniel. RCM. [CD_ROM]. Bucaramanga, 2017. Posgrado gerencia de Mantenimiento. Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Físico Mecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica.

3.1.1 Mantenimiento Preventivo⁴

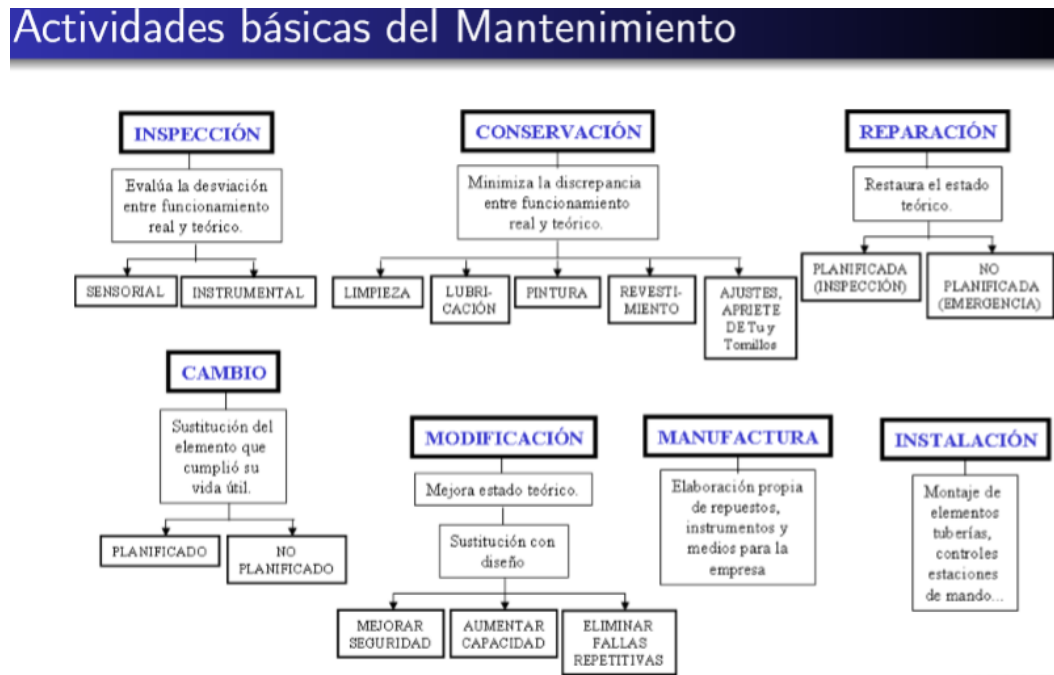
El mantenimiento preventivo es la ejecución planificada de un sistema de inspecciones periódicas, cíclicas y programadas y de un servicio de trabajos de mantenimiento previsto como necesario, para aplicar a todas las instalaciones, máquinas o equipos, con el fin de disminuir los casos de emergencias y permitir un mayor tiempo de operación en forma continua.

⁴ TORRES, Leandro. Mantenimiento su Implementación y Gestión. Universitas. Argentina: 2005. p.130.

El mantenimiento preventivo, se efectúa con la intención de reducir al mínimo la probabilidad de falla, o evitar la degradación de las instalaciones, sistemas, máquinas y equipos. Es la intervención de mantenimiento prevista, preparada y programada antes de la fecha probable de aparición de una falla.

En definitiva, se trata de dotar a la organización, de un sistema que le permita detectar y corregir el origen de las posibles fallas técnicas y no reparar las consecuencias de estas, una vez que éstas se han producido.

Figura 9. Actividades del Mantenimiento Preventivo



Fuente: BORRAS, Carlos. MANTENIMIENTO PREVENTIVO. Bucaramanga, 2017. Posgrado gerencia de Mantenimiento. Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Físico Mecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica.

En la figura 9 se observan las actividades básicas que conforman un plan mantenimiento preventivo, para los equipos que de acuerdo a su naturaleza y criticidad apliquen, bajo una frecuencia asignada. Lo ideal es que la selección de

actividades preventivas a realizar surja de alguna herramienta evaluativa de Modos de Fallo (Árbol de fallos, Amef, entre otros), la cual involucre la actividad directamente a la prevención de uno o varios modos de fallo que puedan ocurrir en el equipo.

Sin embargo, para algunas organizaciones empresariales, departamentos de Mantenimiento, que no tengan el recurso o tecnología para basar su Mantenimiento preventivo en modos de fallo, es posible crearlo a partir de los siguientes parámetros de fácil obtención:

- ✚ División por áreas de la línea de producción o equipo complejo.
- ✚ Clasificación de los equipos por sistemas según su naturaleza.
- ✚ Asignar actividades básicas estándar preventivas a cada sistema.
- ✚ Determinación de la frecuencia o condición de ejecución de cada actividad.

Tabla 1. Aplicación del Mantenimiento Preventivo por Sistemas

Sistema	Actividades Preventivas Básicas			
	Inspección	Conservación	Reparación	Cambio
Seguridad	✓	✓	✓	
Eléctrico	✓	✓		✓
Mecánico	✓	✓	✓	✓
Hidráulico	✓	✓	✓	✓
Control	✓	✓		
Neumático	✓	✓	✓	✓

Se puede partir de la Tabla 1, para la creación de un plan preventivo básico funcional, teniendo en cuenta la subdivisión de actividades principales, como se ilustra en la figura 9; además de la asignación de la frecuencia de cada tarea resultante.

Como herramienta primordial del mantenimiento preventivo, se encuentra la planeación, que conceptualmente no es otra cosa que la estimación de los

recursos necesarios para ejecutar una actividad: tiempo, recurso humano, equipos, repuestos y seguridad, con suficiente antelación. El modelo estructural de la figura 10, resume la estructura completa del preventivo como flujo, mencionando allí la planeación como uno de sus pasos; ahora si le hiciéramos un zoom a este círculo, entontaríamos figuras muy importantes como el planeador, persona que administra el proceso, la cual debe tener grandes aptitudes de liderazgo, asertividad e inteligencia emocional, además de una gran experticia en las labores planteadas en el plan.

El Mantenimiento Basado en Condición y luego el Predictivo, complementaron el Preventivo, mejorando algunas oportunidades en costos que usualmente tiene este, tales como: la pérdida de tiempo de vida útil de un componente reemplazando preventivamente por tiempo de uso, sin un criterio particular de dicho tiempo, el aumento de horas hombre y la pérdida de tiempo de producción de los equipos, necesarios para ejecutar las actividades programadas de naturaleza invasiva.

Figura 10. Modelo estructural Mantenimiento Preventivo



3.2.2 Mantenimiento Basado en Condición (CBM)

El origen del análisis del mantenimiento predictivo se inició allá por los años 30, motivado por una necesidad económica. Las paradas de las máquinas en algunos procesos de producción implicaban costos altos y evitarlos, significaba grandes ahorros de dinero. En esa época, se colocaba una moneda de canto o un vaso con agua sobre las máquinas en funcionamiento y en función de estos rudimentarios “análisis de aislación” se sabía a grandes rasgos si había que prever reemplazos de cojinetes.⁵

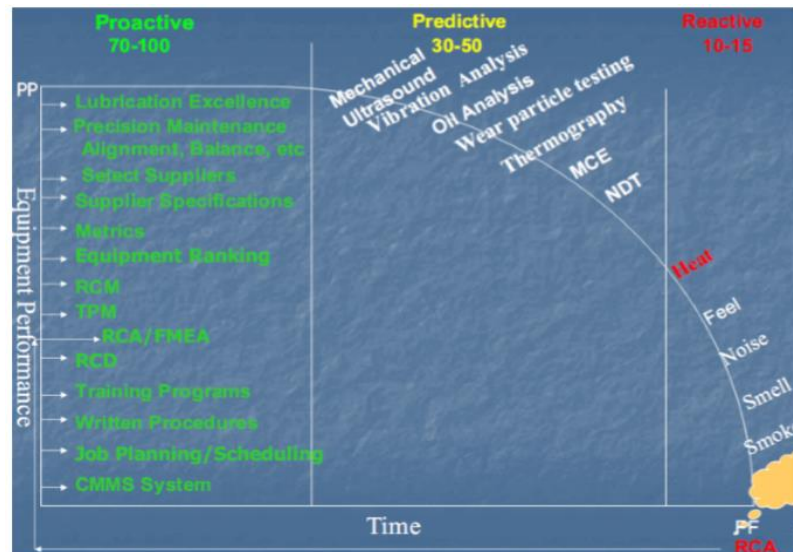
El mantenimiento Basado en condición se diferencia del predictivo, por no proyectar o predecir el comportamiento de una variable física asociada a un

⁵ MUSSO, Rodolfo, Beneficios del Mantenimiento Predictivo, Artículo, ACIEM.

componente o equipo, sino que se limita a la toma de mediciones de dicha variable, caracterizarla, evaluar su tendencia según histórico de mediciones, para finalmente diagnosticar su estado y asignar una acción. A menudo suelen confundirse ambos términos, a pesar que en la industria colombiana son muy pocos los planes de mantenimiento que utilizan técnicas de prospectiva para predecir el comportamiento en el futuro de algún elemento.

Entre las muchas ventajas que ofrece el CBM para equipos críticos, se destaca la optimización de la Curva P-F del componente, aprovechando al máximo el tiempo de vida útil de este, sin descuidar su confiabilidad; a través de rutas periódicas no invasivas de medición y análisis, permitiendo reemplazarlo o intervenirlo justo en el momento necesario y de forma planeada, como se aprecia en la Figura 11.

Figura 11. Clasificación de los Tipos de Mto en Curva P-F



Fuente: BORRAS, Carlos. MANTENIMIENTO PREVENTIVO. Bucaramanga, 2017. Posgrado gerencia de Mantenimiento. Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Físico Mecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica.

Sin embargo, este tipo de Mantenimiento ofrece varios beneficios a las organizaciones que lo aplican, todas orientadas a ganancia o ahorro responsable de dinero a través de su correcta aplicación en los equipos críticos.

Figura 12. Beneficios del Mantenimiento Predictivo



Fuente: GARCIA, Alfonso. MANTENIMIENTO PREDICTIVO. Bucaramanga, 2017. Posgrado gerencia de Mantenimiento. Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Físico Mecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica.

En el mantenimiento predictivo y CBM aplica sobre todo para equipos rotativos, y si este tiene una variable física que cambie de valor en función de su estado, principalmente bajo las siguientes tecnologías, como menciona Castro.⁶

✚ Termografía: mediante un detector infrarrojo se exploran perfiles térmicos para detectar discontinuidades y cambios con respecto a un estándar o a una historia. Los perfiles son registrados a través de cámaras similares a las fotográficas y de video. Se utiliza en sistemas eléctricos como líneas de alta potencia, transformadores y controles, en algunos sistemas mecánicos de

⁶ GARCÍA CASTRO, Alfonso. Mantenimiento Predictivo Análisis de Vibraciones y Termografía. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga: 2017. p.16-17.

procesos industriales, en edificaciones, en sistemas de seguridad, en el área de salud y en medicina veterinaria entre otras aplicaciones.

✚ Ultrasonido: un emisor de ondas ultrasónicas es puesto en contacto con una superficie, para medir el tiempo de retorno del eco y de allí inferir el espesor de pared. Requiere conocer la velocidad del ultrasonido en el material o conocer de antemano un patrón del mismo material. Se aplica para evaluar el desgaste de tuberías y tanques, también para detectar fisuras internas u otras discontinuidades en ejes.

✚ Análisis de corriente y parámetros de calidad en sistemas eléctricos: mediante pinzas amperimétricas u otros elementos de medición que actúan como sensores, se capta y se registra la señal de corriente del sistema y mediante software se analiza la señal en tiempo y en frecuencia para evaluar amplitud, posición de las fases, bandas laterales alrededor de la frecuencia de línea y otros parámetros de calidad que permitan determinar eventuales problemas en sistemas eléctricos.

✚ Ensayos no destructivos (END): tales como rayos X, pruebas de impulso (para bobinados de motores y transformadores), resonancia magnética y dispersión de partículas metálicas.

✚ Análisis de aceite: consiste en determinar el estado de degradación del lubricante usado y el desgaste de la máquina, mediante la evaluación de las propiedades fisicoquímicas del lubricante y la determinación de la concentración de las partículas suspendidas en él (metálicas u orgánicas). Luego, mediante comparación con estándares de referencia según el tipo de lubricante y tipo de máquina se evalúa el estado o condición tanto del lubricante como de la máquina.

✚ Análisis de vibraciones: mediante transductores se convierte la vibración mecánica en una señal eléctrica que es sometida a procesamiento para presentarla en un formato interpretable. Se utiliza en maquinaria rotativa y en maquinaria reciprocante. Una de las tecnologías más utilizada en los programas de mantenimiento predictivo es el Análisis de Vibraciones debido a la gran cantidad de información que esta herramienta aporta acerca del estado o condición de las máquinas.

La tabla 2 brinda un buen ejemplo, acerca del uso de las anteriores tecnologías, en función de la naturaleza de los equipos o componentes y de su clasificación por sistemas.

Tabla 2. Aplicabilidad del Pdm

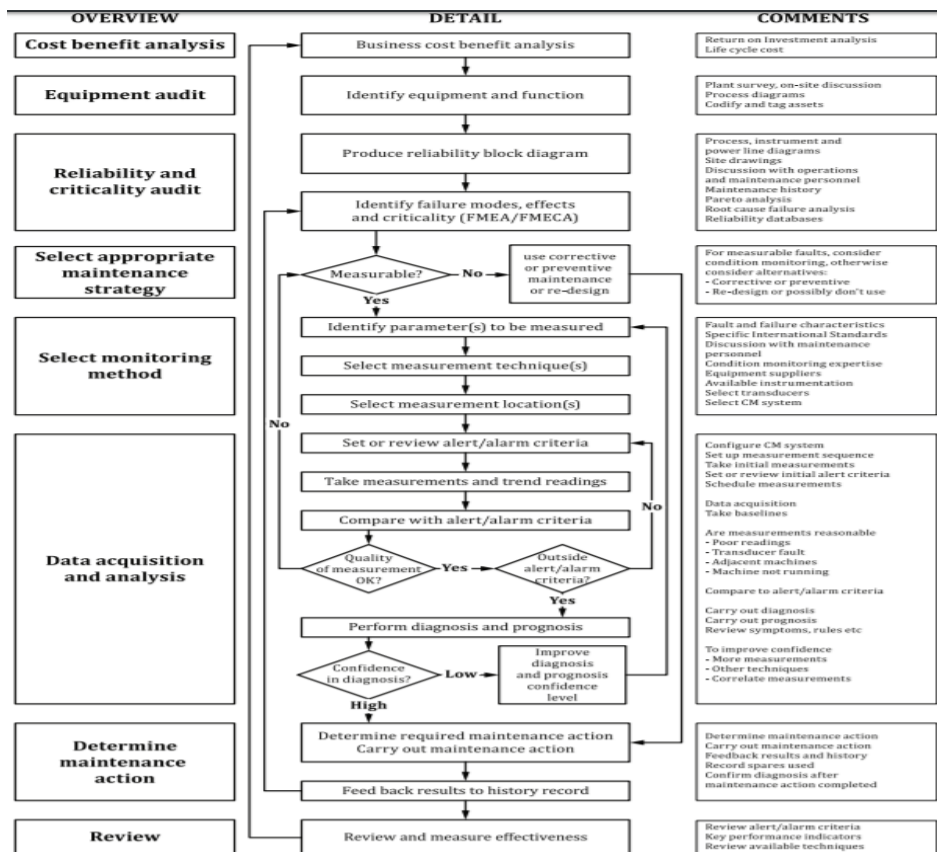
Técnicas de Pdm a aplicar

Equipment Type Versus Technology Application(s)	MECHANICAL				ELECTRICAL				STATIONARY			
	Vibration	Ultrasound	Infrared	Oil Analysis	MCA Online	MCA Offline	Infrared	Ultrasound	Visual Inspection	Ultrasonic Thickness	Dye Penetrant Testing	Eddy Current
Chiller	X	X	X		X	X		X	X			X
Centrifugal Pump	X	X	X	X	X	X	X		X	X	X	
Air Compressor	X	X	X	X	X	X	X	X	X			
Tank			X						X	X		
Evaporator			X				X		X			

Fuente: GARCIA, Alfonso. MANTENIMIENTO PREDICTIVO. Bucaramanga, 2017. Posgrado gerencia de Mantenimiento. Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Físico Mecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica.

En modelos de mantenimiento maduros, el CBM no se basa en rutas de medición de la totalidad de equipos, con intervalos de tiempo iguales; sino que la frecuencia de medición depende del estado salud del equipo; es decir, no se medirán con la misma periodicidad el equipo que resulto en estado normal, al que se encontró en estado de alerta. Lo anterior, aumenta la confiabilidad del plan y enfoca el recurso al equipo que más lo necesita. Sin embargo, la mejor forma de estimar la frecuencia de una ruta, es conociendo el tiempo de aparición del Punto P (fallo potencial), y ojalá del punto F (Fallo Funcional), del componente o equipo asociado al modo de fallo que sustenta la existencia de esta actividad. La norma ISO 17359 – Monitoreo de condición y Diagnóstico de máquinas, expone un diagrama de flujo del procedimiento para el monitoreo de condiciones.

Figura 13. Procedimiento para Monitoreo de Condición



Fuente: ESTANDAR INTERNACIONAL. ISO 17359. Condiciones de monitoreo y diagnóstico de máquinas. Preview. Barcelona, 2018, p.2.

3.3.3 Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM)

El Mantenimiento Centrado en Confiabilidad o RCM, se define simplemente como: “Sentido común, llevado a la práctica de forma organizada⁷. Silva⁸ lo explica con más detalle, cuando afirma que el RCM es un método basado en determinar y preservar la funcionalidad de los activos, entendiéndola no solo en lo productivo, sino también involucrando aspectos como seguridad, y medio ambiente, para luego pasar a un análisis riguroso de fallo potenciales, modos de fallo posibles, evaluación de las consecuencias que podrían suceder, y finalmente plantear acciones de mantenimiento a aplicar, pasando desde el preventivo, correctivo, predictivo, hasta el rediseño de elementos y equipos. Todo lo anterior a través de la herramienta principal del RCM, Análisis de Modos y Efectos de Fallo (AMEF o FMECA).

Según lo traducido y adaptado por Pérez⁹ del texto original de Moubray, a final de 1950, la aviación comercial mundial estaba sufriendo más de 60 accidentes por millón de despegues. Si actualmente se estuviera presentando la misma tasa de accidentes, se estaría oyendo sobre dos accidentes aéreos diariamente en algún sitio del mundo (involucrando aviones de 100 pasajeros o más). Dos tercios de los accidentes ocurridos al final de los 1950s eran causados por fallas en los equipos.

El hecho de que una tasa tan alta de accidentes fuera causada por fallas en los equipos implicaba que, al menos inicialmente, el principal enfoque tenía que hacerse en la seguridad de los equipos.

⁷ ORTIZ, Daniel, Apuntes de Clase RCM, Universidad Industrial de Santander.

⁸ SILVA ARDILA, Pedro – ORREGGO, Juan Carlos. Confiabilidad en la práctica. Barranquilla – Medellín: 2014. p.58.

⁹ PÉREZ, Carlos Mario, El camino hacia el RCM-Mantenimiento Centrado en Confiabilidad, Artículo, Soporte & Cia.

Todos esperaban que los motores y otras partes importantes se gastaran después de cierto tiempo. Esto los condujo a creer que las reparaciones periódicas retendrían las piezas antes de que gastaran y así prevenir fallas. En esos días, mantenimiento significaba una cosa: reparaciones periódicas.

Cuando la idea parecía no estar funcionando, cada uno asumía que ellos estaban realizando muy tardíamente las reparaciones; después de que el desgaste se había iniciado. Naturalmente, el esfuerzo inicial era para acortar el tiempo entre reparaciones. Cuando hacían las reparaciones, los gerentes de mantenimiento de las aerolíneas hallaban que en la mayoría de los casos, los porcentajes de falla no se reducían y por el contrario se incrementaban. De esta manera RCM tiene sus inicios a principios de 1960. El trabajo del desarrollo inicial fue hecho por la Industria de la Aviación Civil Norteamericana. La historia de la transformación del mantenimiento en la aviación comercial a ha pasado por un cúmulo de supuestos y tradiciones hasta llegar a un proceso analítico y sistemático que hizo de la aviación comercial “La forma más segura para viajar” es la historia del RCM.

Tabla 3. Comparación entre Mtto tradicional y RCM

Mantenimiento Tradicional	RCM
Busca cuidar Activo	Busca preservar las funciones del activo
Pretende prevenir fallas	Evita reducir o eliminar las consecuencias
Quiere evitar fallas a todo costo	Propone defensa costo-efectivas, aceptando algunas fallas.
Prioriza tareas preventivas	Prioriza Pm y CBM
Define frecuencia de pdm según frecuencia de falla y criticidad del equipo.	Define frecuencia de pdm, según evolución de la falla (Curva P-F).
Requiere amplia información sobre histórico de fallos para PM	Necesita información y personas que conozcan el equipo, para extraer modos de falla del equipo.
Considera que los equipo fallas mas con el tiempo.	Tiene en cuenta múltiples modos y patrones de falla.

Fuente: ORTIZ PLATA, Daniel. RCM. [CD_ROM]. Bucaramanga, 2017. Posgrado gerencia de Mantenimiento. Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Físico Mecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica.

Siguiendo con lo plasmado en la tabla 3, el RCM como filosofía, debe venir desde la alta dirección de la organización (no solo desde mantenimiento), y debe contar con un equipo multidisciplinario que conozca los equipos desde el punto de vista operativo y de manutención, sin olvidar que aporten también a la consideración de los riesgos a la seguridad, calidad y el cuidado del medio ambiente. Como información base puede utilizarse la hoja de vida del equipo, los manuales de operación y servicio, y el historial de fallas; sin embargo, y en caso de no tenerse disponible, no limita la implementación del RCM, puesto que, basados en la recopilación de experiencias del grupo humano involucrado, pueden plantearse las funciones de los equipos, los posibles modos de fallo asociados y sus efectos en el proceso al que hace parte el equipo.

Figura 14. Actividades resultantes AMEF

		Estrategia / Origen del mantenimiento				
		Predictivo	Preventivo	Correctivo	Detectivo	
Tipo de Actividad	Medición Externa	Monitorear	X		X	
	Medición Ext-interna	Inspeccionar	X		X	
	Intervención Externa	Reacondicionar	X	X	X	X
	Intervención Intrusiva	Cambiar	X	X	X	X

Fuente: GARCIA, Alfonso. MANTENIMIENTO PREDICTIVO. Bucaramanga, 2017. Posgrado gerencia de Mantenimiento. Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Físico Mecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica.

La herramienta FMECA o AMEF (Análisis de modos y efectos de falla), es la base metodológica del RCM, pues evalúa y analiza cada modo de falla, y pondera según el impacto de su efecto en la organización a nivel: productivo, de seguridad, calidad, económico, de imagen y medio ambiente, para finalmente llevar a la asignación de una tarea que permita evitar la ocurrencia de cada modo, la frecuencia de realización y los recursos necesarios para su ejecución. Al final del

AMEF, las tareas resultantes serían el plan de mantenimiento del equipo al que se le aplicó el RCM, y van desde: monitoreo de condición, hasta el reacondicionamiento, pasando por la inspección, correr a falla, cambio periódico, y a falta de que a menudo conducen a rediseños. Algunas se muestran y clasifican en la Figura 14.

Figura 15. Modelo práctico de AMEF.

Cód. Func.	Función	Cód. FF	Descripción Falla Funcional	Cód. MF	Modo de Falla	Descripción Efectos	FALLA OCULT A	R. Ambi ental	R. Huma no	R. Econó m	R. Image n	Valor económico del riesgo (\$)	TIPO DE DECISIÓN	DESCRIPCIÓN TAREA	FRECUENCIA (mes)	RECURSOS	Cod. Tarea
							NO	A1	A1	A1	A1	10	CAF				

Fuente: ORTIZ PLATA, Daniel. RCM. [CD_ROM]. Bucaramanga, 2017. Posgrado gerencia de Mantenimiento. Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Físico Mecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica.

La norma SAE JA1011 especifica los requerimientos que debe cumplir un proceso para poder ser denominado un proceso RCM. Según esta norma, las 7 preguntas básicas del proceso RCM son ¹⁰:

1. ¿Cuáles son las funciones deseadas para el equipo que se está analizando?
2. ¿Cuáles son los estados de falla (fallas funcionales) asociados con estas funciones?
3. ¿Cuáles son las posibles causas de cada uno de estos estados de falla?
4. ¿Cuáles son los efectos de cada una de estas fallas?
5. ¿Cuál es la consecuencia de cada falla?
6. ¿Qué puede hacerse para predecir o prevenir la falla?
7. ¿Qué hacer si no puede encontrarse una tarea predictiva o preventiva adecuada?.

¹⁰ FIBERTEL, Juan. RCM – Mantenimiento Centrado en Confiabilidad, Artículo, Gestipolis.

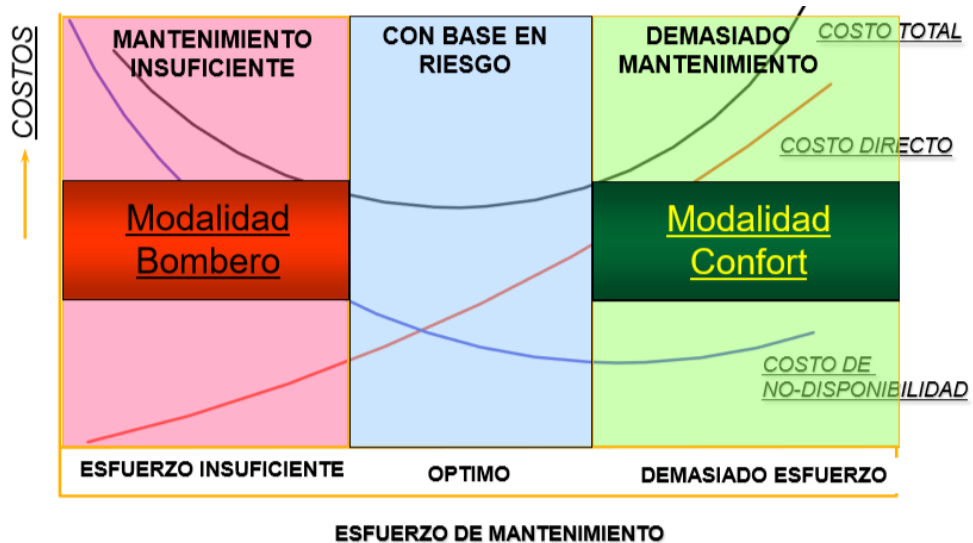
Según se ilustra en la figura 15, estas preguntas corresponden exactamente a cada una de las partes de un AMEF.

Como resultado de la aplicación de esta filosofía, la organización tiene la tranquilidad que todas las actividades del plan de mantenimiento resultante, tienen un propósito claro de prevención y/o mitigación de los modos de fallo y sus consecuencias, es decir no se plantearon al azar, ni tampoco se conservaron de un plan que ya venía aplicándose a equipos similares. Lo anterior permite ser muy asertivo en la administración de los recursos limitados usados en el mantenimiento, aplicando diferentes técnicas de mantenimiento según la necesidad de cada equipo y sus modos de fallo; sin duda lo anterior se ve reflejado a nivel organizacional en aspectos como:

- ✚ Aumento en la confiabilidad y disponibilidad de los equipos.
- ✚ Reducción de gastos de mantenimiento de hasta un 15%.
- ✚ Incentivo al trabajo en equipo entre mantenimiento y otros procesos.
- ✚ Comprender la relación costo – efectividad entre los distintos tipos de mantenimiento.
- ✚ Valor agregado integral a los diferentes procesos de la empresa (Hse, Calidad, producción, logística y repuestos, finanzas).

El RCM ha tenido muy buena acogida desde su aparición por lograr aportar a la mejora en la producción (por aumento de la disponibilidad) y en la reducción de costos de la organización donde se aplique a través del balance de actividades de mantenimiento (ver figura 16), a pesar que aún hay quienes consideran que requiere mucha inversión económica para su implementación.

Figura 16. Gráfica de Costos de Mtto Vs esfuerzo invertido



Fuente: Artículo el camino hacia el RCM - Ecopetrol. [citado Agosto 2018] Disponible en: C:\Users\Camilo Herrera\Documents\Información Varia_Mantenimiento\RCM\RCM.

3.3.4 Mantenimiento Productivo Total (TPM)

En acuerdo con la definición de Aguilar ¹¹, el TPM se orienta a crear un sistema corporativo que maximiza la eficiencia de todo el sistema productivo, estableciendo un proceso que previene las pérdidas en todas las operaciones de la empresa. Esto incluye “cero accidentes, cero defectos y cero fallos” en todo el ciclo de vida del sistema productivo. Se aplica en todos los sectores, incluyendo producción desarrollo y departamentos administrativos. Se apoya en la participación de todos los integrantes de la empresa, desde la alta dirección hasta los niveles operativos. La obtención de cero pérdidas se logra a través del trabajo de pequeños equipos.

Las siglas TPM, han adoptado diferentes significados, que van más allá del conocido (mantenimiento productivo total), mostrando que es una filosofía que

¹¹ AGUILAR, Mauricio, Mantenimiento Productivo Total, Apuntes de clase. UIS, 2018.

abarca todas las áreas de la organización, y a todos los niveles: Operativo, táctico y estratégico, como se resume en la Figura 17.

Figura 17. Significado de TPM



Fuente: AGUILAR, Mauricio. TPM. Bucaramanga, 2018. Posgrado gerencia de Mantenimiento. Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Físico Mecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica.

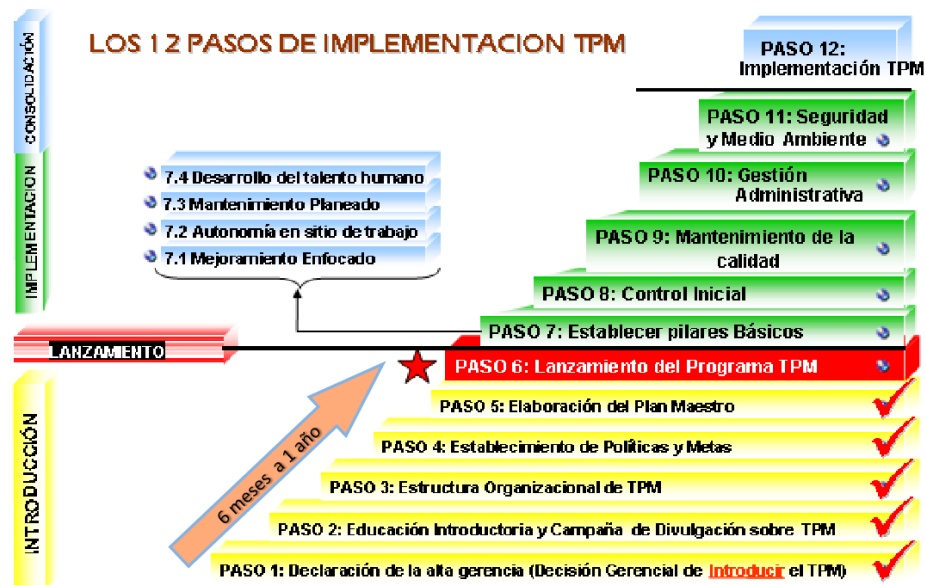
El TPM surgió y se desarrolló inicialmente en la industria del automóvil y rápidamente pasó a formar parte de la cultura corporativa de empresas tales como Toyota, Nissan, y Mazda, y de sus suministradores y filiales. Se ha introducido también posteriormente en otras industrias tales como electrodomésticos, microelectrónica, máquinas herramientas, plásticos, fotografía, etc: También las industrias de proceso, partiendo de sus experiencias de mantenimiento preventivo, han empezado a implantar el TPM. En los últimos años, han estado incorporando el TPM un creciente número de plantas de procesos de industrias de la alimentación, caucho, refinerías de petróleo, químicas, farmacéutica, gas, cemento, papeleras, siderurgia, impresión, etc ¹².

La implementación de TPM debe realizarse en un orden metodológico compuesto por tres fases: Introducción del que sin duda dependerá el éxito de la filosofía en la organización, pues es iniciado por la alta gerencia y sobre este se marcarán las para todas las áreas , implementación del sistema, con la participación masiva del

¹² SUZUKI, Tokutaro, TPM en Industrias de proceso versión en español. TGP-Hoshin. Madrid, España: 1995. p. 2.

personal realizando actividades según los pasos establecidos y por último consolidación donde se pretende complementar lo que se tiene ya estructurado y en funcionamiento, todas las fases constan de un total de 12 pasos (Ver figura 18).

Figura 18. Pasos de implementación del TPM



Fuente: AGUILAR, Mauricio. TPM. Bucaramanga, 2018. Posgrado gerencia de Mantenimiento. Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Físico Mecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica.

De los objetivos principales siempre mencionados, al momento de referirse a TPM, esta el aumento de la eficiencia de los sistemas productivos de la organización, Suzuki¹³ lo plantea como que la eficacia de una planta de producción depende de la eficacia con que se utilizan el equipo, materiales, personas y métodos. Por tanto, la mejora de la eficacia de la producción en las industrias de proceso arranca con los temas vitales de maximizar la eficacia global de la planta (equipo), la eficiencia de primeras materias y fuel (materiales), la de las tareas (personal), y la de la gestión (métodos), Esto se hace examinando los inputs del proceso de producción (equipos, materiales, personas y métodos) e identificando y eliminando

¹³ SUZUKI, Tokutaru, TPM en Industrias de proceso versión en español. TGP-Hoshin. Madrid, España: 1995. p. 21.

las pérdidas asociadas con cada input para así maximizar los outputs (productividad, calidad, costes, entregas, seguridad y entorno, y moral). Las plantas de proceso sufren fallos y problemas de proceso además de los fallos equipos individuales. La contaminación, las fugas, y las obstrucciones afectan al equipo por dentro y por fuera. Las propiedades de las sustancias que se manejan, la corrosión, o el polvo disperso pueden causar problemas que hacen necesario parar la planta.

Tabla 4. Las ocho pérdidas de las plantas - definiciones y ejemplos.

Pérdidas	Definición	Unidades	Ejemplo
1. Pérdidas de paradas programadas	Tiempo de producción perdido cuando para la producción para el mantenimiento planificado anual o el servicio periódico	Días	Trabajo en la parada, servicio periódico, inspecciones regimentarias, inspecciones autónomas, trabajo de reparación general, etc.
2. Pérdidas por ajustes de producción	Tiempo perdido cuando cambios en demanda o suministros exigen ajustes en los planes de producción	Días	Parada para ajuste de producción, parada para reducir stocks, etc.
3. Pérdidas de fallos de proceso	Tiempo perdido cuando el equipo pierde súbitamente sus funciones específicas	Horas	Fallos de bombas, motores quemados, cojinetes dañados, ejes rotos, etc.
4. Pérdidas de fallos de equipos	Tiempo perdido en paradas debidas a factores externos tales como cambios en las propiedades químicas o físicas de los materiales procesados, errores de operación, materiales defectuosos, etc.	Horas	Fugas, derrames, obstrucciones, corrosión, erosión, dispersión de polvo, operación errónea, etc.
5. Pérdidas de producción normales	Pérdidas de la tasa estándar y tiempo en arranques, paradas o cambios de utillaje	Reducción de tasa, horas	Reducciones de la tasa de producción durante período de calentamiento después del arranque; período de enfriamiento antes de parada y cambios de producto
6. Pérdidas de producción anormales	Pérdidas de tasa de prod. cuando la planta rinde por debajo de estándar debido a disfunciones y anomalías	Reducción de tasa	Operación con baja carga, o con baja velocidad, y operación con tasa de producción por debajo del estándar
7. Pérdidas por defectos de calidad	Pérdidas debidas a producción de producto rechazable, pérdidas físicas o producto rechazable, pérdidas financieras por baja graduación del producto	Horas, tons., dólares	Pérdidas físicas y de tiempo debidas a producir producto que no cumple los estándares de calidad
8. Pérdidas de reprocesos	Pérdidas de reciclaje debidas a tener que devolver el material a proceso anterior	Horas, tons., dolares	Reciclaje de producto no conforme para hacerlo aceptable

Fuente: SUZUKI, Tokutaro. TPM en Industrias de proceso versión en español. TGP-Hoshin. Madrid, España: 1995. p. 27. ISBN 84-87022-18-9.

Tales pérdidas constituyen una categoría diferenciada del tipo usual de averías de máquinas (indicadas en Tabla No. 4). En un gran complejo de equipos como

suelen ser las plantas de proceso, no es muy útil comparar equipo a equipo el rendimiento proyectado (estándar) con el actual.

Es más significativo usar como indicador de referencia el rendimiento global del proceso (la tasa de producción). Las caídas de producción que se producen durante los arranques, paradas o cambios de útiles se suelen considerar pérdidas de producciones normales; y las que resultan de defectos de la planta y anomalías son pérdidas de producción anormales. La reducción de los dos tipos de pérdidas de rendimiento mejora la eficacia global de la planta.

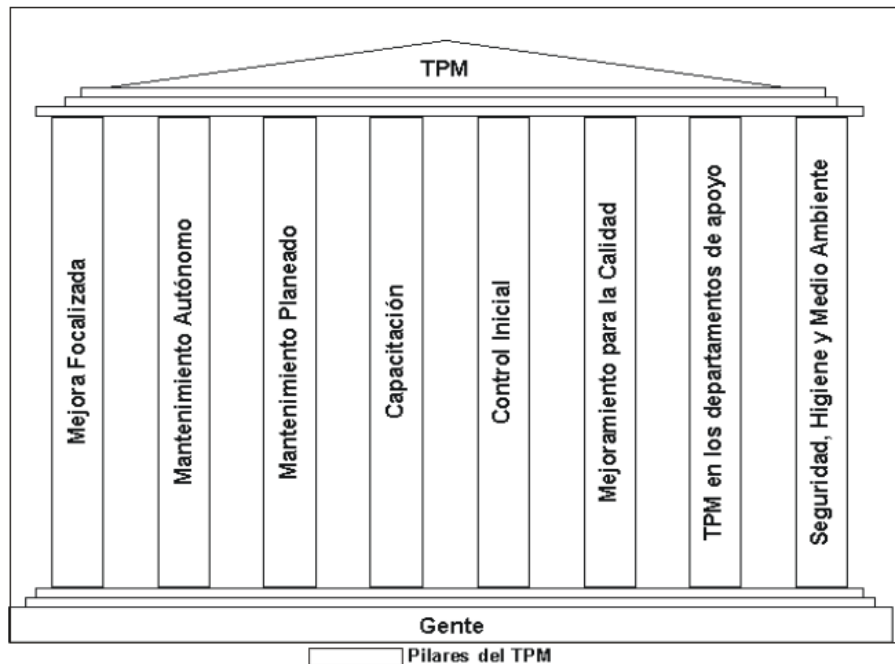
Los principales obstáculos a nivel de productividad que pretende vencer el TPM son todos aquellos factores o eventos que intervienen de forma negativa con posibilidad de que los equipos productivos estén produciendo de forma eficiente, y se concentran en la disponibilidad, rendimiento y calidad del proceso, que resultan siendo los tres factores que, multiplicados en porcentaje, calculan la eficiencia global de equipos (OEE) según se indica en la figura 19.

Figura 19. Cálculo del OEE



Fuente: FRANCISCO, Andrés. OEE. [En Línea]. Quito. Wikipedia. 2014. (Recuperado 10 agosto de 2018). Disponible en: <http://www.franciscoandres.com/oe-indicador-clave-del-lean-manufacturing/oe/>.

Figura 20. Pilares del TPM



Fuente: TORRES, Leandro. Mantenimiento su Implementación y Gestión. Universitas. Argentina: 2005. P181.

Soportado en estos ocho pilares, se constituye la filosofía del TPM, donde cada uno ellos tienen una serie de pasos de ejecución, y hace su aporte al objetivo general, a partir del cumplimiento de sus propios objetivos, que Aguilar¹⁴ resume así:

- ✚ Pilar de mejoras Enfocadas: Elimina pérdidas, mejora eficacia de global de equipos (OEE), trabaja en grupos de mejoramiento.
- ✚ Pilar de Mantenimiento Autónomo: Lleva y mantiene los equipos a su estado ideal a través de su restauración, mantiene las condiciones básicas de : limpieza, lubricación y ajuste, genera empoderamiento y un gran sentido de pertenencia en todo el personal interactúa con los equipos.

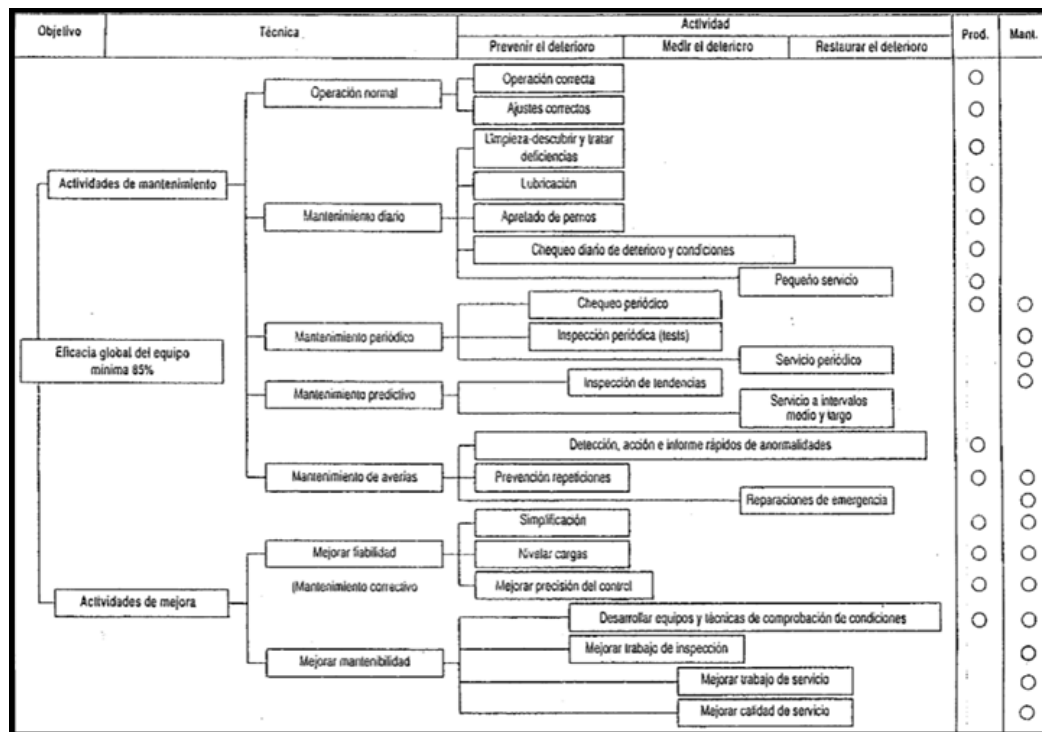
¹⁴ AGUILAR, Mauricio, Mantenimiento Productivo Total, Apuntes de clase. UIS, 2018.

- ✚ Pilar de mantenimiento planeado: apoyo del proceso productivo, a través de cero fallos y anormalidades, aumento de vida útil de los equipos, gestiona la transferencia de conocimiento técnico y su permanencia en el tiempo.
- ✚ Pilar de educación y capacitación: identifica junto a los líderes de pilares, las necesidades de formación y entrenamiento del personal de la organización. Traza planes de formación y entrenamiento a partir de la matriz de competencias y pérdidas identificadas.
- ✚ Pilar de control inicial: Lidera el nuevo desarrollo de productos y procesos garantizando su cumplimiento dentro de los costos y plazos programados al inicio.
- ✚ Pilar de mejoramiento de la calidad: Velar porque al final de la implementación de este pilar, se tengan cero defectos de calidad en toda la organización, a través de un sistema que concientice, capacite y apique los conceptos de inocuidad.
- ✚ Pilar de TPM en los departamentos de apoyo: reducir costos y aumentar eficiencia en los sistemas administrativos, gestionar la información óptimamente con personal capacitado. Aportar al clima organizacional.
- ✚ Pilar de seguridad, higiene y medio ambiente: cumplir con el objetivo de cero accidentes, con la generación cultural de reporte, y análisis de incidentes, así como la efectividad de las acciones resultantes.

TPM está constituido por estos ocho pilares que trabajan metodológicamente para la eliminación o reducción de las pérdidas. Todos los pilares, a excepción del de

mejora enfocada, están referidos a las diferentes áreas de la cadena de abastecimiento (Supply Chain), por lo que no se trata de duplicar o aumentar funciones, solo es trabajar bajo el mismo enfoque de eliminación de pérdidas, pues TPM es un programa de ahorro principalmente, soportado en la gente y en 5S.

Figura 21. Clasificación y asignación de tareas de Mtto TPM



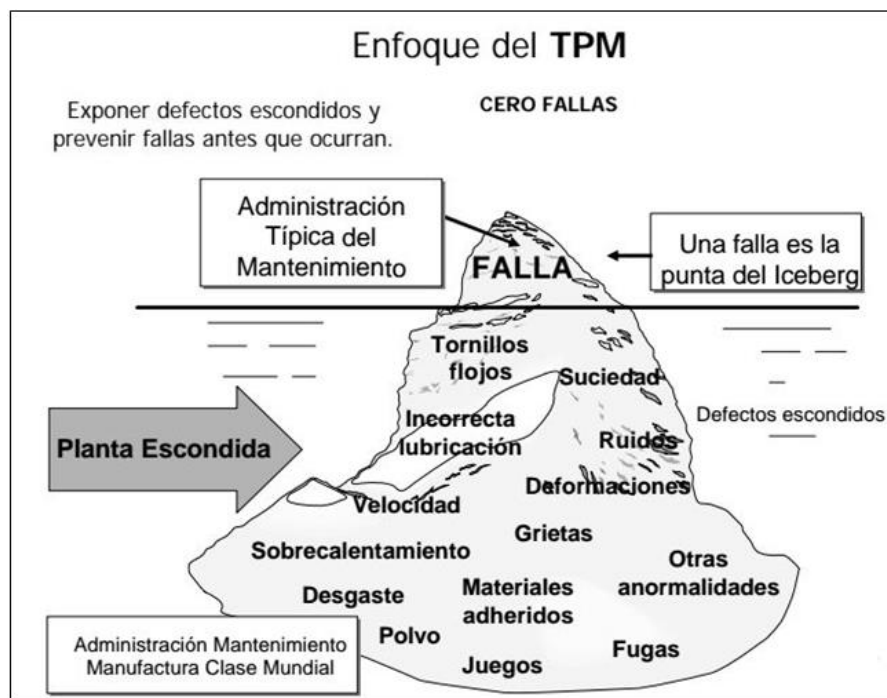
Fuente: SUZUKI, Tokutaro. TPM en Industrias de proceso versión en español. TGP-Hoshin. Madrid, España: 1995. p 91. ISBN 84-87022-18-9.

Los pilares: educación y capacitación, mantenimiento autónomo, planeado, y mejoras enfocadas, componen los denominados pilares de confiabilidad y son el grupo de pilares de obligatoria y mínima implementación, que debe tener una organización, cuando pretenda aplicar TPM.

En la figura 21 se ve la clasificación de actividades por objetivo, y su responsable de ejecución (mantenimiento y/o producción). Sin duda este es de los conceptos

de autónomo, que rompe paradigmas tradicionales en las organizaciones, donde mantenimiento y producción tenían trazados roles muy diferentes, y cada uno desde su lugar creían hacer su mejor esfuerzo para que el factor común que tenían (los equipos productivos) dieran su mejor resultado; sin darse cuenta, que habían actividades que cada uno desde su alcance podían realizar, de forma alineada hacia el mismo objetivo de cero fallas y por tanto una mayor productividad.

Figura 22. Iceberg de una falla.



Fuente: AGUILAR, Mauricio. TPM. Bucaramanga, 2018. Posgrado gerencia de Mantenimiento. Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Físico Mecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica.

Usualmente y aplicado en varias situaciones de la vida, solo percibimos el efecto final, lo visible, más no lo que provocó este, y que no es perceptible a simple vista. En el caso de los fallos se expone en la figura 22, su iceberg que deja ver todos los factores “ocultos” que llevan a una falla en caso de no identificare a tiempo. TPM las clasifica como anomalías dentro del pilar de mantenimiento autónomo, y

son el propósito de la realización de las tarjetas; pues cada una de estas debe identificar de una forma visible en el equipo productivo, una o más anomalía detectada, así como la asignación de su responsable de ejecución (mantenimiento o producción).

El TPM al tratarse de una filosofía organizacional, no es comparable directamente con ninguna de las técnicas o métodos de mantenimiento existentes. Mas bien, puede complementarse y ponerlos a su servicio, puesto que, desde los pilares de mantenimiento autónomo y planeado, el TPM gestiona la manutención de los activos productivos, con el uso de las técnicas conocidas, y conceptos como la criticidad, desde su identificación y aplicación, enfocado en cero fallas, cero accidentes, y cero problemas de calidad.

3.4 Mantenimiento Reactivo

De forma antagónica al mantenimiento proactivo, el reactivo o más conocido como correctivo se aplica una vez existe la falla en los equipos, con el propósito de corregirlas y reestablecer el equipo a condiciones operativas.

Silva y Orrego lo definen así¹⁵: son todos los servicios de reparación ejecutados en los equipos con falla o efecto y que requieren una intervención generada por el mal funcionamiento, detención del equipo, daño visible o falla detectada por alguna tecnología. Generalmente las fallas se presentan de improviso, ocasionando paros en la producción, reducción de la eficiencia del equipo o calidad del producto que pueden ser costosos, pero que, con un buen análisis, estos costos pueden llegar a ser la mejor alternativa.

¹⁵ SILVA, Eliseo y ORREGO, Juan Carlos, Confiabilidad en la práctica primera edición. B/quilla-Medellín, Colombia: 2014. p. 55.

Básicamente, el mantenimiento reactivo tiene dos opciones de gestión aplicables según la criticidad del equipo a analizar, los recursos disponibles, la capacitación, entre otros factores, y estos son:

3.4.1 Mantenimiento Correctivo Programado

Se incluye en el capítulo de reactivo por llevar el termino correctivo, pero su gestión inicia antes de la falla, difiere del correctivo de emergencia, pues sus actividades son planeadas y no eventos no esperados.

Muchas veces este tipo de tareas, resultan de rutas de inspección o chequeos que detectan fallas, que en el momento no afectan las funciones básicas operacionales del equipo. Dichas tareas deben planearse de inmediato, por lo que los recursos necesarios incluyendo el tiempo de máquina detenida (Contará como tiempo de paro no programado), deben obtenerse con premura.

En sistemas de mantenimiento maduros y de acuerdo a la matriz de criticidad, puede aplicarse el correr a fallo como estrategia de mantenimiento correctivo programado a algunos equipos, permitiendo de una manera responsable, que un equipo o componente de este llegue a falla, pero con un plan trazado previamente, y listo para aplicar cuando llegue ese momento. Un buen stock de repuestos, gran cantidad de personal, y poca importancia a impactar la disponibilidad del equipo, son algunos de los factores que deben evaluarse, antes de optar por este tipo de mantenimiento.

3.4.2 Mantenimiento Correctivo de Emergencia

El mantenimiento correctivo consiste en ir reparando las averías a medida que se van produciendo. El personal encargado de avisar de las averías es el propio usuario de las máquinas y equipos, y el encargado de realizar las reparaciones es el personal de mantenimiento. El principal inconveniente con que nos encontramos en este tipo de mantenimiento es que el usuario detecta la avería en el momento que necesita el equipo, ya sea al ponerlo en marcha o bien durante su utilización¹⁶.

Figura 23. Balance del Proceso de Mantenimiento



Fuente: SILVA, Eliseo y ORREGO, Juan Carlos, Confiabilidad en la práctica primera edición. B/quilla-Medellín, Colombia: 2014. p. 35.

Este mantenimiento básico, no requiere ninguna planeación, y en ocasiones ni stock de repuestos, dependiendo la criticidad de equipo, que generalmente es baja para los equipos que se gestionan de esta forma.

¹⁶ TORRES, Leandro. Mantenimiento su Implementación y Gestión. Universitas. Argentina: 2005. p.122.

Al ser de emergencia, conlleva una serie de desventajas para toda la organización, tales como:

- ✚ Afectación de la disponibilidad de los equipos
- ✚ Altos costos por impacto total
- ✚ Cargas de Trabajo excesivas
- ✚ Necesidad de tener herramientas especializadas
- ✚ Grandes grupos de trabajo calificados
- ✚ Mentalidad netamente reactiva
- ✚ Riesgos a la seguridad de las personas, medio ambiente, y equipos.
- ✚ Cantidad de repuestos excesiva.

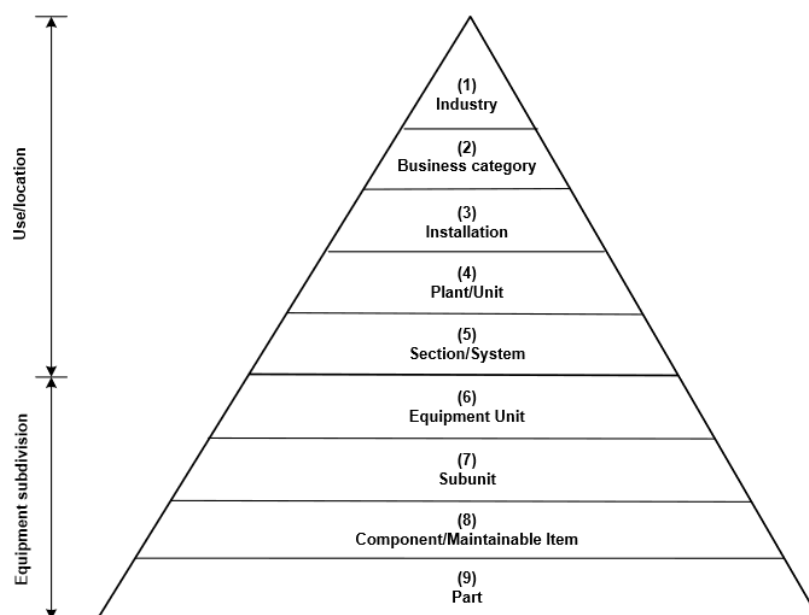
Sin embargo, y a pesar de la “mala fama” adquirida por el mantenimiento correctivo, luego de la evolución de los demás tipos de mantenimiento, este tipo de mantenimiento sigue y seguirá haciendo parte de los planes de mantenimiento, pues asignado a los equipos adecuados, permite destinar los recursos de la organización a los equipos que en verdad requieran un plan elaborado para su manutención previo a la falla, y limitarse a reparar los que no impacten los objetivos del negocio cuando pierdan sus funciones, permitiendo un balance entre el costo de mantenimiento y sus resultados (ver figura 23).

4. TAXONOMIA DE LOS EQUIPOS

4.1 Definición ISO 14224¹⁷

La taxonomía es una clasificación sistemática de los elementos en grupos genéricos en función de factores posiblemente comunes a varios de los artículos (ubicación, uso, subdivisión del equipo, etc.). Una clasificación de los datos relevantes que se recopilarán en esta norma internacional está representada por una jerarquía que se muestra en la Figura 24. Los niveles 1 a 5 son una categorización de alto nivel que se relaciona con las industrias y la aplicación de plantas, independientemente de las unidades de equipo que estén involucradas.

Figura 24. Taxonomía Norma ISO 14224



Fuente: ISO. Petroleum, petrochemical and natural gas industries — Collection and exchange of reliability and maintenance data for equipment. ISO 14224:2016: ISO, 2016. p 30

¹⁷ INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. Petroleum, petrochemical and natural gas industries — Collection and exchange of reliability and maintenance data for equipment. ISO 14224:2016: ISO, 2016. p 30.

La información de taxonomía en estos niveles (1 a 5) se incluirá en la base de datos para cada unidad de equipo como 'Datos de uso / ubicación'. Los niveles 6 a 9 están relacionados con la unidad de equipo (Inventario) con subdivisión en los niveles de contrato inferiores en una relación padre-hijo. La cantidad de niveles para subdivisión dependerá de la complejidad de la unidad de equipo y del uso de los datos. Para los datos utilizados en análisis de disponibilidad, la confiabilidad en el nivel de clase de equipo puede ser la única información deseable necesaria, mientras que un análisis RCM y un análisis de causa raíz necesitarán datos sobre el mecanismo de falla en componente / elemento mantenible, o partes, nivel. Esta Norma Internacional no aborda el nivel 9 en particular.

4.2 Modulo de tela absorbente (Surge)

Una máquina pañalera actual, esta dividida en 4 secciones de máquina y proceso: formación, construcción, adhesivos y empaque, Las cuales están ubicadas a lo largo de la línea de producción como se aprecia en la figura 25.

Figura 25. Secciones de una máquina pañalera



Las secciones controlan varios materiales o procesos base para la fabricación de pañales desechables. Cada sección a su vez está compuesta por uno o más módulos de máquina. El módulo de tela absorbente o Surge hace parte de la sección de construcción de la máquina pañalera, y es el encargado de manejar dentro del proceso, el material mencionado, desde su desenrollamiento, hasta su aplicación final con otro material, donde finalmente se une a la guía o tira principal que va construyendo el pañal (ver figura 26).

Figura 26. Módulo de Tela Absorbente



Equipos y sistemas como: Desarrolladores, bandas transportadoras y rodillos servo motorizados, aplicadores en línea de adhesivo, sistemas neumáticos y de vacío, sistemas de visión artificial, y robustos sistemas de control electrónico, conforman el módulo objeto de estudio, y son a los que finalmente se les planteará un plan de mantenimiento idóneo.

A continuación, en la Tabla 5 se describirá la taxonomía actual del módulo de tela absorbente, de una línea de producción pañalera, dentro de la planta de Kimberly Clark Tocancipá:

Tabla 5. Taxonomía Módulo Tela Absorbente

NIVEL TAXONOMÍA	CODIFICACIÓN	NOMBRE
INDUSTRIA	7062	PLANTA KIMBERLY CLARK TOCANCIPÁ COLOMBIA
CATEGORÍA DE NEGOCIO	7062-IC	CUIDADO INFANTIL
INSTALACIÓN	7062-IC-11	MÁQUINAS PAÑALERAS
UNIDAD DE PRODUCCIÓN	7062-IC-11-02	LINEA NUMERO 2 CB02
SISTEMA	7062-IC-11-02-401	PROCESO SURGE
UNIDAD	7062-IC-11-02-401-401801	SECCIÓN DEL SURGE
EQUIPO MANTENIBLE	7062-IC-11-02-401-401801-10013161	DESEÑOLLADOR DE SURGE
	7062-IC-11-02-401-401801-10013163	EMPALMADOR DE SURGE
	7062-IC-11-02-401-401801-10013164	APLICADOR DE SURGE

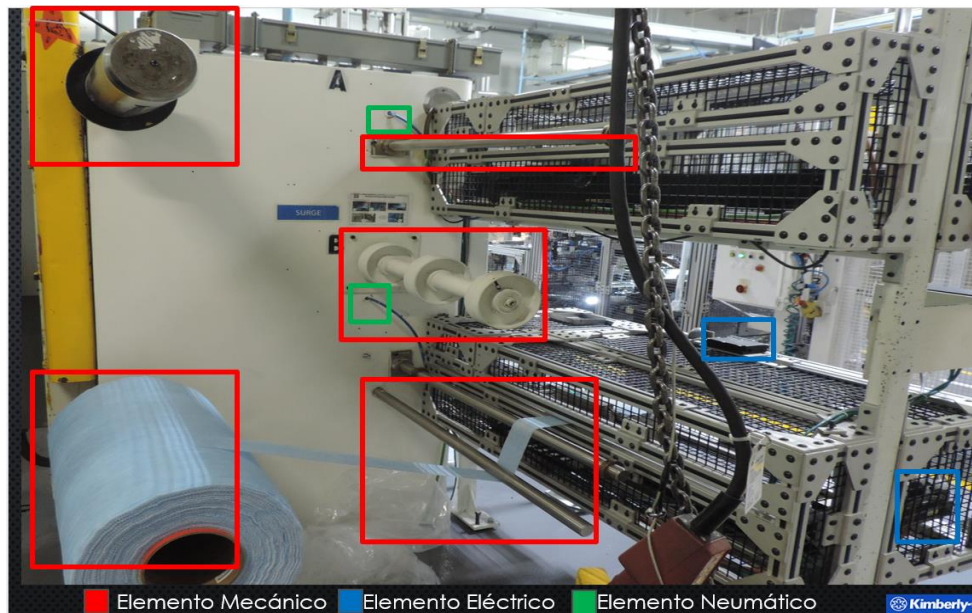
4.2.1 Desenrollador módulo del Surge

Es el primer equipo del sistema o módulo en estudio, tiene la función de recibir la materia prima a través de dos ejes, donde se colocan los rollos de tela absorbente, y por medio de servomotores va entregando de forma controlada el material al siguiente equipo a una velocidad de 800 DPM (Pañales por minuto), o velocidad lineal en el material de 250 m/min. Conformado por componentes de tipo eléctrico/electrónico, mecánico y neumático, el desenrollador hace parte fundamental del proceso del surge. En la figura 27, se observa el módulo completo de tela absorbente (Surge), y se señala al inicio el desenrollador. En la figura 28 se detallan algunos de sus principales componentes, identificados según su naturaleza.

Figura 27. Ubicación del Desenrollador en el Módulo Surge.



Figura 28. Componentes del Desenrollador del Surge.



En la figura 28 y 29 se enseñan componentes, como los ejes principales del desenrollador, controlados por servomotores de 10hp a 1000 rpm, algunos rodillos

de transporte de material, y partes neumáticas que contribuyen a las funciones que el equipo debe realizar.

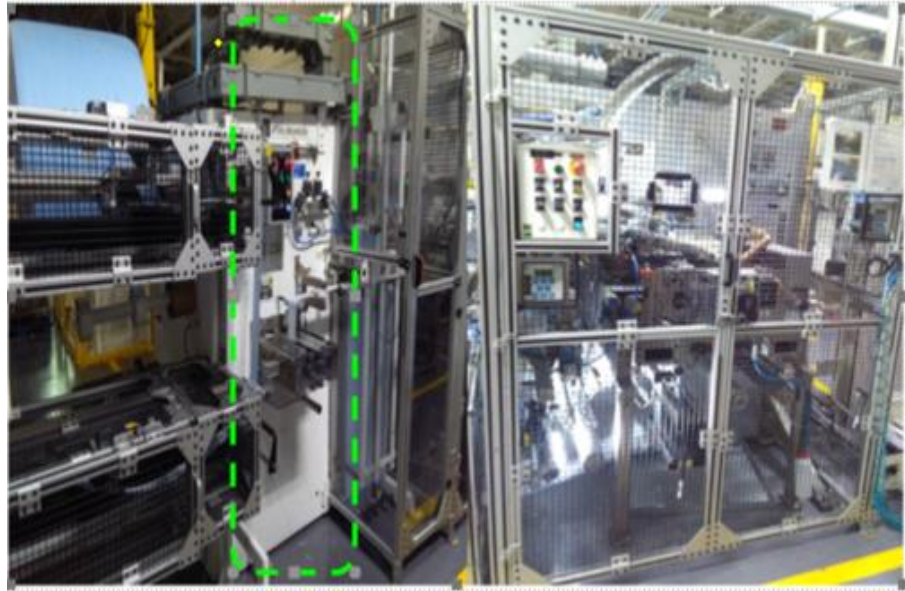
Figura 29. Componentes del Desenrollador del Surge.



4.2.2 Empalmador módulo del surge

Siendo el siguiente equipo en el sistema o módulo del surge (ver figura 30), tiene como función principal realizar los empalmes entre los rollos de tela absorbente, mientras la máquina está produciendo a la velocidad objetivo (800 DPM), es decir en línea, de modo que no deba parar producción, cuando se agote el material de un rollo, en la figura 30 se ilustra la ubicación del empalmador dentro del módulo.

Figura 30. Ubicación del Desenrollador en el Módulo Surge.



El empalmador tiene componentes como: festoon o acumulador automático de material, sensores ópticos de presencia del material, resistencias de calentamiento, botonera de operación, pistones y elementos neumáticos de control, además de rodillos de transporte y tensión del material en el módulo, tal y como se aprecia en la figura 31.

4.3.3 Aplicador módulo del Surge

Siendo el último equipo del módulo de tela absorbente (figura 32), su función es recibir el material del empalmador, controlar la posición de este hacia el centro del módulo, realizar 800 cortes simétricos por minuto y aplicarles 0.030 gramos de adhesivo a 150° Celsius por pañal, para luego entregarlos a una velocidad de 800 DPM al módulo siguiente, todo lo anterior con un control de visión artificial que permite visualización del proceso en línea y rechazos por defectos en este.

Figura 31. Empalmador del Surge

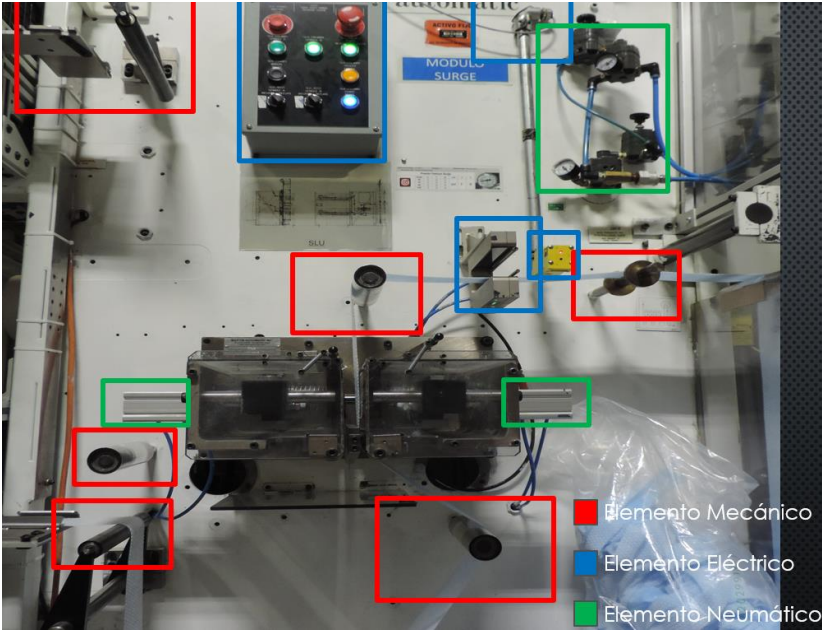
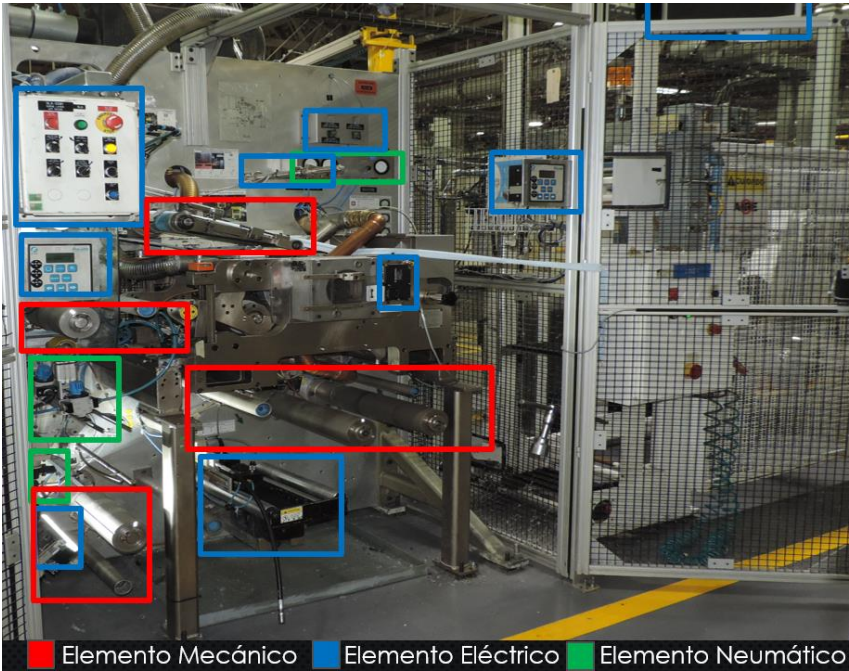


Figura 32. Aplicador del Surge



Las funciones que cumple el aplicador están dadas a través de: guía de control fife, controlador, bomba, sensores de presión, y mangueras de adhesivo, cámara y computador de visión artificial y módulo de corte por contacto, bandas con vacío tipo conveyor, y rodillos conductores de material, entre otros componentes, ilustrado en la figura 33.

Figura 33. Aplicador del Surge.



5. DEFINICIÓN DE LA CRITICIDAD DE LOS EQUIPOS

En concordancia con Silva y Orrego¹⁸ el análisis de criticidad permite establecer una jerarquía o prioridades de activos en general: sistemas, equipos o componentes, creando una estructura que facilita la toma de decisiones con mayor asertividad y efectividad, haciendo que el esfuerzo y recursos de la organización sean direccionados a los elementos donde sea más necesario, basado en una realidad actual o futura.

El resultado de un análisis de criticidad es tener una clasificación de cada uno de los elementos analizados, desde el más crítico (A), hasta el menos crítico (C), pasando por el tipo B; bajo unos criterios organizacionales que para este proyecto serán: seguridad, medio ambiente, calidad, productivo, aspecto financiero, régimen de operación y mantenimiento. Donde a la luz de cada uno, se cuantifica el posible impacto que cada elemento analizado pueda generar en la organización.

5.1 Matriz de Criticidad del módulo de Tela absorbente

Partiendo del listado general de equipos y sus componentes, se identifican las funciones, y se consulta la tasa de fallos de cada uno según registro histórico, de allí se asigna el valor de la probabilidad que el componente falle (ver tabla 6).

De forma alienada con los criterios organizacionales que conforma la matriz general de riesgo general, se planeta la matriz de criticidad para los equipos del módulo del surge, y se evalúan bajo los criterios descritos en la tabla 7.

¹⁸ SILVA, Eliseo y ORREGO, Juan Carlos, Confiabilidad en la práctica primera edición. B/quilla-Medellín, Colombia: 2014. p. 72

Tabla 6. Valoración de la probabilidad de ocurrencia

Valoración por Probabilidad de Ocurrencia			
Frecuencia	Valor	Probabilidad de Ocurrencia	Descripción
Muy Alta	4	Mayor al 85%	Ocurre aprox. <= 6 meses
Alta	3	Entre 61% y 85%	Ocurre prox. cada 1 año
Media	2	Entre 60% y 30%	Ocurre prox. cada 2 años
Baja	1	Menor a 30%	Ocurre aprox. >= 4 años

Tabla 7. Valoración de consecuencias Matriz Criticidad

Valoración de la Consecuencia de Ocurrencia						
VALORACIÓN POR IMPACTO		SEGURIDAD	AMBIENTE	CALIDAD	PRODUCTIVIDAD	PERDIDAS FINANCIERAS
Maximo	3	El evento de falla ocasionará accidentes personales y/o daños materiales severos.	El evento de falla ocasionará daños al medio ambiente.	El evento de falla ocasionará la aparición de defectos en los productos, o ausencia total de control sobre estos, o pérdidas de velocidad y producción	El evento de falla ocasionará paro de toda la línea de producción.	El evento de falla ocasionará afectaciones por más de \$20 M COP
Moderado	2	Si se presenta la falla, existe el riesgo de accidentes personales o al patrimonio o de la organización.	Si se presenta la falla, existe el riesgo de ocasionar daños al medio ambiente	Si se presenta la falla, generará variación de calidad y productividad.	Si se presenta la falla, la línea de producción puede continuar en operación.	Si se presenta la falla, ocasionarán afectaciones por más de entre \$19M y \$8M COP.
Mínimo	1	De presentarse la falla, no hay riesgo alguno sobre personas ni daños materiales	De presentarse la falla, no hay riesgo sobre el medio ambiente.	De presentarse la falla, no hay riesgo sobre la calidad del producto ni sistema.	De presentarse la falla, no afecta el proceso productivo	De presentarse la falla, las efactaciones serían menores a \$8M COP

Obteniendo así la criticidad parcial del componente, frente a cada criterio evaluado; que permite al final de la matriz, ponderar cada criterio en función de la importancia que tiene para la organización y su estrategia gerencial. Generalmente de una matriz organizacional como la que se enseña en la tabla 8.

Es muy importante basarse en la matriz de riesgo de la organización, para poder establecer cuantitativamente, los diferentes niveles de riesgo que están definidos para todas las áreas, procesos y equipos; y así desde Mantenimiento asignar la estrategia adecuada a cada equipo y/o componente de acuerdo a su importancia.

Tabla 8. Matriz de Riesgos de la Organización

MATRIZ DE RIESGOS				
PROBABILIDAD		CONSECUENCIA		
		1	2	3
		Mínima	Moderada	Máxima
Muy Alta	4	4	8	12
Alta	3	3	6	9
Media	2	2	4	6
Baja	1	1	2	3

Una vez se conozcan las criticidades parciales o por criterio evaluado de cada componente, se procede a calcular y clasificar la criticidad general, que finalmente será la que le asigne la importancia que tendrá el componente no solo para el área de mantenimiento, sino para la organización en general, teniendo como resultado lo ilustrado en la figura 35.

Finalmente se obtuvo la información plasmada en la figura 34, para el módulo en estudio, donde se indica el porcentaje de componentes por su tipo de criticidad.

Figura 34. Criticidad de equipos módulo surge

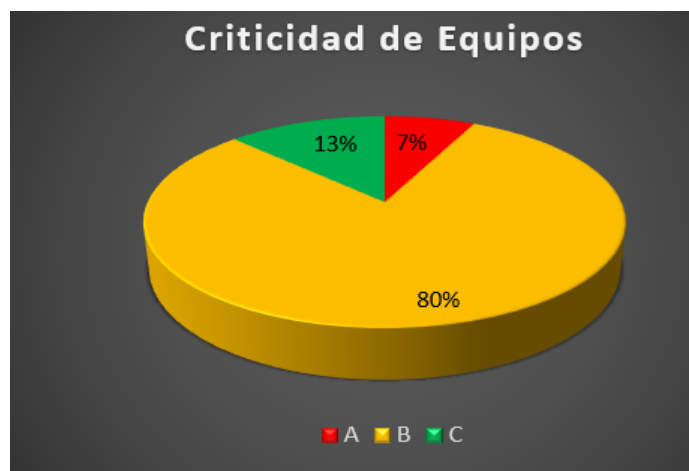


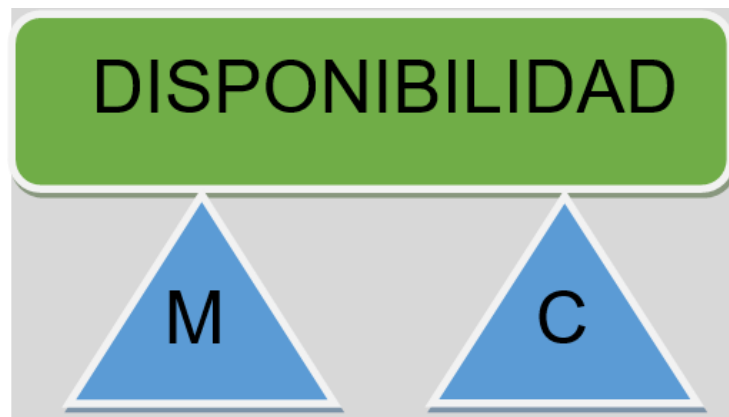
Figura 35. Matriz de criticidad módulo Surge

MATRIZ DE CRITICIDAD MÓDULO DE TELA ABSORBENTE																	
UNIDAD DE PRODUCCIÓN	CÓDIGO UNIDAD/SECCIÓN	UNIDAD SECCIÓN	CÓDIGO EQUIPO	DESCRIPCIÓN EQUIPO	COMPONENTE	FUNCIÓN DEL COMPONENTE	TASA DE FALLO	Probabilidad									
								Consecuencia Seguridad	Criticidad X Seguridad	Consecuencia Medio Ambiente	Criticidad X Medio Ambiente	Consecuencia Calidad	Criticidad X Calidad	Consecuencia Producción	Criticidad X Producción	Consecuencia Perdidas Financieras	Criticidad X Perdidas Financieras
CB2	7062-4C-142-401-40193	SURGE	1007061	DESENRROLLADOR DE SURGE	SERVOMOTOR "A" MPL-B430P	ENTREGAR POTENCIA A EJE "A" DESENRROLLADOR	Cada 5 años	2	1	1	2	2	2	2	1,8	B	
CB2	7062-4C-142-401-40193	SURGE	1007061	DESENRROLLADOR DE SURGE	SERVOMOTOR "B" MPL-B430P	ENTREGAR POTENCIA A EJE "B" DESENRROLLADOR	Cada 5 años	2	1	1	2	2	2	2	1,8	B	
CB2	7062-4C-142-401-40193	SURGE	1007061	DESENRROLLADOR DE SURGE	CABLES POTENCIA Y FEEDBACK 16AWG	CONDUJR ENERGIA ELÉCTRICA 440VAC A SERVO MOTORES	Cada 5 años	1	3	1	2	2	2	1,1	B		
CB2	7062-4C-142-401-40193	SURGE	1007061	DESENRROLLADOR DE SURGE	EJE GIRATORIO "A"	HACER GIRAR LAS BOBINAS DEL MATERIAL	Cada 2 años	2	3	1	2	2	2	2,05	B		
CB2	7062-4C-142-401-40193	SURGE	1007061	DESENRROLLADOR DE SURGE	EJE GIRATORIO "B"	HACER GIRAR LAS BOBINAS DEL MATERIAL	Cada 2 años	2	3	1	2	2	2	2,05	B		
CB2	7062-4C-142-401-40193	SURGE	1007061	DESENRROLLADOR DE SURGE	RODILLOS CILINDROS DESENRROLLADOR	PERMITIR EL DESLAZAMIENTO DEL MATERIAL A 270mm/min	Cada 6 meses	1	1	1	2	3	1	1,6	B		
CB2	7062-4C-142-401-40193	SURGE	1007061	DESENRROLLADOR DE SURGE	TABLERO ELÉCTRICO CONTROL DESENRROLLADOR	ALIMAR EQUIPOS ELÉCTRICOS DE PROTECCIÓN Y MANEJERA	Cada 3 años	2	2	1	1	3	2	1,8	B		
CB2	7062-4C-142-401-40193	SURGE	1007061	DESENRROLLADOR DE SURGE	TABLERO NEUMÁTICO DESENRROLLADOR	RECIBIR AIRE COMPRIMIDO A 95 Psi Y DISTRIBUIRLO A ELEMENTOS NEUMÁTICOS	Cada 4 años	1	2	1	2	3	1	1,85	B		
CB2	7062-4C-142-401-40193	SURGE	1007061	DESENRROLLADOR DE SURGE	BARRA TORNADORA AUTOMÁTICA	CONTROLAR AUTOMÁTICAMENTE LA POSICIÓN DEL MATERIAL	Cada 6 meses	1	1	1	1	3	2	1,55	B		
CB2	7062-4C-142-401-40193	SURGE	1007062	EMPALMADOR DE SURGE	SENSOR DE PRESENCIA DE MATERIAL	DETECTAR PRESENCIA DE MATERIAL	Cada 1 año	3	1	1	1	2	1	1,2	C		
CB2	7062-4C-142-401-40193	SURGE	1007062	EMPALMADOR DE SURGE	RESISTENCIAS DE CALENTAMIENTO	RECORRAR EL MATERIAL DURANTE EL EMPALME	Cada 6 meses	2	2	1	1	1	2	1,1	1,45	C	
CB2	7062-4C-142-401-40193	SURGE	1007062	EMPALMADOR DE SURGE	PISTONES DE EMPALME	ACTIVAR PREZAS QUE EMPALMAN MATERIAL	Cada 2 años	2	1	1	1	2	1	1,2	C		
CB2	7062-4C-142-401-40193	SURGE	1007062	EMPALMADOR DE SURGE	PANEL ELÉCTRICO CONTROL EMPALMADOR	OPERAR EMPALMADOR	Cada 3 años	2	2	1	1	1	2	1,45	C		
CB2	7062-4C-142-401-40193	SURGE	1007062	EMPALMADOR DE SURGE	SERVOMOTOR PULL ROLL MPL-B430P	ENTREGAR POTENCIA AL RODILLO PULL ROLL	Cada 5 años	2	1	1	2	2	2	1,8	B		
CB2	7062-4C-142-401-40193	SURGE	1007062	EMPALMADOR DE SURGE	CABLES POTENCIA Y FEEDBACK 16AWG	CONDUJR ENERGIA ELÉCTRICA 440VAC A SERVO MOTORES	Cada 5 años	1	3	1	2	2	2	1,1	B		
CB2	7062-4C-142-401-40193	SURGE	1007062	EMPALMADOR DE SURGE	RODILLO MOTOR PULL ROLL	HALAR EL MATERIAL CON UNA TENSIÓN DEFINIDA	Cada 1 año	3	1	1	1	3	2	1,1	1,9	B	
CB2	7062-4C-142-401-40193	SURGE	1007062	EMPALMADOR DE SURGE	TRANSDUCTOR DE POSICIÓN DEL ACUMULADOR	SENSEAR LA POSICIÓN DEL ACUMULADOR DENTRO DE UN RANGO DE 15m	Cada 3 años	2	1	1	1	3	3	1	1,8	B	
CB2	7062-4C-142-401-40193	SURGE	1007062	EMPALMADOR DE SURGE	CILINDRO NEUMÁTICO DEL ACUMULADOR	MANTENER EL ACUMULADOR CON UNA TENSIÓN CONSTANTE HACIA ATRÁS	Cada 2 años	2	1	1	1	3	3	1	1,8	B	
CB2	7062-4C-142-401-40193	SURGE	1007062	EMPALMADOR DE SURGE	ACUMULADOR DE MATERIAL	ACUMULAR DE MATERIAL ANTES DEL EMPALME	Cada 4 meses	1	1	1	3	3	1	1,1	1,9	B	
CB2	7062-4C-142-401-40193	SURGE	1007062	EMPALMADOR DE SURGE	SENSOR ÓPTICO DE EMPALME SURGE	SENSEAR LA PRESENCIA EN EL MATERIAL DE LA CINTA EMPALME A 270mm/min	Cada 3 años	2	1	1	1	3	3	1	1,8	B	
CB2	7062-4C-142-401-40193	SURGE	1007063	APLICADOR DE SURGE	BARRAS TORNADORAS BÁSICAS	CAMBIA LA DIRECCIÓN DEL MATERIAL	Cada 1 año	3	1	1	1	2	1	1,2	C		
CB2	7062-4C-142-401-40193	SURGE	1007063	APLICADOR DE SURGE	SERVOMOTOR S-WRAP MPL-B430P	ENTREGAR POTENCIA AL RODILLO S-WRAP	Cada 5 años	1	2	1	1	2	3	2	2	B	
CB2	7062-4C-142-401-40193	SURGE	1007063	APLICADOR DE SURGE	CABLES POTENCIA Y FEEDBACK 16AWG	CONDUJR ENERGIA ELÉCTRICA 440VAC A SERVO MOTORES	Cada 5 años	1	3	1	2	3	1	1,1	2,1	B	
CB2	7062-4C-142-401-40193	SURGE	1007063	APLICADOR DE SURGE	MOTOR DC GUA PIPE APLICADOR	GENERAR MOVIMIENTO DEL CARRO GUA PIPE	Cada 9 meses	3	1	1	1	2	2	1,1	1,4	B	
CB2	7062-4C-142-401-40193	SURGE	1007063	APLICADOR DE SURGE	CONTROLADOR ELECTRÓNICO GUA PIPE APLICADOR	MANEJAR GUA PIPE EN AUTOMÁTICO Y MANUAL	Cada 1 año	3	1	1	1	2	2	1,1	1,55	B	
CB2	7062-4C-142-401-40193	SURGE	1007063	APLICADOR DE SURGE	CARRO GUA PIPE APLICADOR	CORREGIR ALINEACIÓN DEL MATERIAL	Cada 2 años	2	1	1	1	2	2	2	1,55	B	
CB2	7062-4C-142-401-40193	SURGE	1007063	APLICADOR DE SURGE	BANDA CONVEYOR	TRANSPORTAR MATERIAL ALINEADO AL MÓDULO DE CORTE A 270mm/min	Cada 1 año	3	1	1	1	3	3	1	1,8	B	
CB2	7062-4C-142-401-40193	SURGE	1007063	APLICADOR DE SURGE	CABLES POTENCIA Y FEEDBACK 16AWG	CONDUJR ENERGIA ELÉCTRICA 440VAC A SERVO MOTORES	Cada 5 años	1	3	1	2	3	1	1,1	2,1	B	
CB2	7062-4C-142-401-40193	SURGE	1007063	APLICADOR DE SURGE	REDUCTOR BANDA CONVEYOR	RECIBIR POTENCIA DEL SERVO MOTOR Y ENTREGARLA A POLEA CONDUCTORA	Cada 2 años	2	2	1	1	2	3	2	2	B	
CB2	7062-4C-142-401-40193	SURGE	1007063	APLICADOR DE SURGE	POLEAS TRANSMISIÓN CONVEYOR	RECIBIR POTENCIA DEL REDUCTOR Y ENTREGARLA A LA CORREA	Cada 2 años	2	2	1	1	2	3	1	1,85	B	
CB2	7062-4C-142-401-40193	SURGE	1007063	APLICADOR DE SURGE	CORREA SINCÓNICA TRANSMISIÓN CONVEYOR	TRANSMITIR MOVIMIENTO ENTRE EL S CONDUCTORES Y CONDUCTORES	Cada 1 año	3	2	1	1	2	3	1	1,85	B	
CB2	7062-4C-142-401-40193	SURGE	1007063	APLICADOR DE SURGE	CÁMARA DE VISIÓN ARTIFICIAL	INSPECCIONAR 800 PAÑALES POR MINUTO Y DETECTAR DEFECTOS EN EL SURGE	Cada 3 años	2	1	1	1	3	3	3	2,1	B	
CB2	7062-4C-142-401-40193	SURGE	1007063	APLICADOR DE SURGE	COMPUTADOR VISIÓN ARTIFICIAL	HACER LA INTERFAZ VISUAL Y CONTROL ENTRE SOFTWARE Y LA CÁMARA DE VISIÓN	Cada 4 años	1	1	1	3	3	1	1,8	B		
CB2	7062-4C-142-401-40193	SURGE	1007063	APLICADOR DE SURGE	LAMPARA LINE SCAN VISIÓN ARTIFICIAL	GENERAR 800 DESTELLOS DE LUZ POR MINUTO	Cada 3 años	2	1	1	1	3	3	2	1,95	B	
CB2	7062-4C-142-401-40193	SURGE	1007063	APLICADOR DE SURGE	CABLEADO VISIÓN ARTIFICIAL	COMUNICAR SEÑALES DE VIDEO Y CONTROL ENTRE CÁMARA Y COMPUTADOR VISIÓN	Cada 5 años	1	1	1	3	3	1	1,1	1,8	B	
CB2	7062-4C-142-401-40193	SURGE	1007063	APLICADOR DE SURGE	TABLERO ELÉCTRICO CONTROL APLICADOR	ALIMAR EQUIPOS ELÉCTRICOS DE PROTECCIÓN Y MANEJERA	Cada 2 años	2	2	1	1	3	3	2	1,8	B	
CB2	7062-4C-142-401-40193	SURGE	1007063	APLICADOR DE SURGE	TABLERO NEUMÁTICO APLICADOR	RECIBIR AIRE COMPRIMIDO A 95 Psi Y DISTRIBUIRLO A ELEMENTOS NEUMÁTICOS	Cada 4 años	2	2	1	1	3	3	1	1,85	B	
CB2	7062-4C-142-401-40193	SURGE	1007063	APLICADOR DE SURGE	VALVULA NEUMÁTICA DE SEGURIDAD	BLOQUEAR PASO DE AIRE COMPRIMIDO CON GUARDAS ABIERTAS	Cada 4 meses	2	3	1	1	1	3	1	1,9	B	
CB2	7062-4C-142-401-40193	SURGE	1007063	APLICADOR DE SURGE	INTERLOCKS DE SEGURIDAD	DETECTAR ESTADO DE GUARDAS DE SEGURIDAD	Cada 1 año	3	3	1	1	1	3	1	1,9	B	
CB2	7062-4C-142-401-40193	SURGE	1007063	APLICADOR DE SURGE	RELÉS DE SEGURIDAD	BLOQUEAR EL ACCIONAMIENTO ELÉCTRICO DEL MÓDULO CON GUARDAS ABIERTAS	Cada 2 años	2	3	1	1	1	3	1	1,9	B	
CB2	7062-4C-142-401-40193	SURGE	1007063	APLICADOR DE SURGE	PANEL ELÉCTRICO DE CONTROL APLICADOR	OPERAR APLICADOR	Cada 3 años	2	2	1	1	2	3	2	1,85	B	
CB2	7062-4C-142-401-40193	SURGE	1007063	APLICADOR DE SURGE	BOMBA DE ADHESIVO APLICADOR	SUMINISTRAR ADHESIVO A 300 PSI HASTA EL CABEZAL A TRAVÉS DE MAGUERAS	Cada 1 año	3	1	1	1	3	3	1	1,8	B	
CB2	7062-4C-142-401-40193	SURGE	1007063	APLICADOR DE SURGE	MANGLERA TEMPERATURA ADHESIVO APLICADOR	CONTENER Y CONTROLAR TEMPERATURA ADHESIVO	Cada 2 años	2	2	1	1	3	3	2	2,2	A	
CB2	7062-4C-142-401-40193	SURGE	1007063	APLICADOR DE SURGE	CABEZAL ADHESIVO APLICADOR	APLICAR 0,038 GRAMOS DE ADHESIVO A 190°C EN CADA PAÑAL	Cada 9 meses	3	2	1	1	3	3	2	2,2	A	
CB2	7062-4C-142-401-40193	SURGE	1007063	APLICADOR DE SURGE	ELECTRONVALVULA ADHESIVO APLICADOR	CONTROLAR EL PASO DE ADHESIVO A 190°C	Cada 6 meses	2	2	1	1	3	3	2	2,2	A	
CB2	7062-4C-142-401-40193	SURGE	1007063	APLICADOR DE SURGE	TRANSDUCTOR DE PRESIÓN ADHESIVO APLICADOR	MEDIR LA PRESIÓN GENERADA POR LA BOMBA ENTRE 0 Y 120 PSI	Cada 2 años	2	2	1	1	3	3	1	2,05	B	
CB2	7062-4C-142-401-40193	SURGE	1007063	APLICADOR DE SURGE	COPOSET ELÉCTRICO CABEZAL ADHESIVO	TRANSMITIR SEÑALES ELÉCTRICAS DE CONTROL Y POTENCIA	Cada 3 años	2	2	1	1	3	3	1	2,05	B	
CB2	7062-4C-142-401-40193	SURGE	1007063	APLICADOR DE SURGE	SERVOMOTOR MÓDULO CORTE MPL-8590P	ENTREGAR POTENCIA A YUNQUE DE CORTE	Cada 5 años	1	2	1	1	2	3	2	2	B	
CB2	7062-4C-142-401-40193	SURGE	1007063	APLICADOR DE SURGE	CABLES POTENCIA Y FEEDBACK 16AWG	CONDUJR ENERGIA ELÉCTRICA 440VAC A SERVO MOTORES	Cada 5 años	1	3	1	2	3	1	1,1	2,1	B	
CB2	7062-4C-142-401-40193	SURGE	1007063	APLICADOR DE SURGE	YUNQUE CORTE SURGE	REALIZAR 800 CORTE S SIMÉTRICOS POR MINUTO	Cada 5 años	1	1	1	3	3	3	2,1	B		
CB2	7062-4C-142-401-40193	SURGE	1007063	APLICADOR DE SURGE	CUCHILLAS DE CORTE SURGE	REALIZAR 800 CORTE S SIMÉTRICOS POR MINUTO	Cada 1 año	3	2	1	1	3	3	2	2,2	A	
CB2	7062-4C-142-401-40193	SURGE	1007063	APLICADOR DE SURGE	BOMBA AUTOMÁTICA LUBRICACIÓN CORTE	APLICAR ACEITE LUBRICANTE A YUNQUE DE CORTE Cada 30 SEGUNDOS	Cada 1 año	3	1	2	1	3	3	2	1,8	B	
CB2	7062-4C-142-401-40193	SURGE	1007063	APLICADOR DE SURGE	RODILLO LUCOS APLICADOR	PERMITIR EL DESLAZAMIENTO DEL MATERIAL A 270mm/min	Cada 6 meses	1	1	1	1	1	3	2	1,1	1,8	C

6. EVALUACIÓN DE TIPOS Y MÉTODOS DE MANTENIMIENTO

Debido a la evolución que ha tenido el mantenimiento, desde el inicio de la humanidad, hasta nuestros tiempos; hoy en día tenemos varios métodos, tácticas o tipos de mantenimiento, conocidos, validados, y aún en desarrollo de mejora, los cuales resultan aplicables a la mayoría de los equipos actuales. Dicha variedad de opciones por donde se puede orientar la gestión del mantenimiento ha traído consigo la posibilidad de elegir el que se considere mas adecuado para cierta organización o negocio; el problema resulta, cuando no se selecciona el adecuado, o no se tienen en cuenta las pautas básicas de implementación para los que así lo requieren.

Figura 36. Disponibilidad, Mantenibilidad y Confiabilidad



Analizando la idea de Jiménez¹⁹ donde aclara que los modelos, tácticas y/o tipos de mantenimiento no son por si mismas buenas ni malas, puesto que para que resulten exitosas, dependerá de la medida que contribuyan con el cumplimiento de los objetivos estratégicos, visión, misión y cultura de la organización donde sean

¹⁹ JIMENEZ VERGARA, Jose Andrés. Tácticas de Mantenimiento. EAFIT, Trabajo de grado. 2010. p.11

adoptadas. Sin duda, su impacto se medirá en CMD (Confiabilidad, Mantenibilidad y Disponibilidad) ver figura 36 donde se indica la relación directa, entre estos tres aspectos vitales del mantenimiento, donde la M (mantenibilidad), y la C (confiabilidad) son las bases que soportan la disponibilidad que ofrece mantenimiento a la organización, y que será visible en reducción de costos de mantenimiento, aumento de la productividad, desarrollo tecnológico, entre otros.

Para el alcance de este proyecto, serán objeto de estudio: el RCM (mantenimiento basado en confiabilidad), TPM (Mantenimiento Productivo Total), CBM (Mantenimiento Basado en Condición) y Preventivo, los cuales hacen parte de los más reconocidos y utilizados métodos de mantenimiento en la industria actualmente.

6.2 ASPECTOS A EVALUAR EN LA ORGANIZACIÓN

El método o tipo de mantenimiento elegido por la organización, debe estar apuntándole directamente a las necesidades puntuales de esta, de modo que logre satisfacerlas, y que a su vez con los recursos disponibles, se alcance la totalidad de su implementación, de modo que no se convierta en un intento fallido.

Para una compañía dedicada a la fabricación de productos para el cuidado de personal como Kimberly Clark planta Tocancipá, los aspectos principales que se han considerado al elegir un modelo de mantenimiento para alguna de sus líneas, módulos o equipos de producción, y que se tendrán en cuenta para el desarrollo de este trabajo son:

6.2.1 Optimización del recurso humano disponible

Debido a que existe un único grupo de técnicos de mantenimiento asignado para soportar las cuatro líneas de producción de la planta de cuidado infantil, y que además de sus actividades rutinarias propias de mantenimiento, deben participar activamente en los alistamientos, y cambios de programa de las líneas de producción. Lo anterior, sin duda reta la eficiencia de la planeación y programación de las actividades de mantenimiento, las cuales deben estar completamente alineadas con el panorama de planeación de producción, además de requerir una muy buena confiabilidad de los equipos, la cual permita ventanas de mantenimiento en una línea de producción, aun cuando las demás están en tiempo productivo.

La organización a través de varios programas corporativos de educación y formación del personal, logró capacitar a nivel técnico a la totalidad de operarios de las líneas de producción; y aunque dentro de sus roles y responsabilidades no esta aún la de mantener sus equipos, si lo está el dar apoyo durante mantenimientos programados y emergentes, bajo la dirección de los ingenieros y/o técnicos del área, y el tiempo que ocupen debe estar muy bien aprovechado.

6.2.2 Mínimo stock y baja rotación de repuestos en el almacén

Financieramente hablando, el mantenimiento no solo contribuye a la organización a través de la disponibilidad y el desarrollo tecnológico, sino que también a través de la reducción de sus propios costos que representan un gasto para la empresa contablemente, pero con gestión adecuada logran aportarle a la reducción de los costos de esta. Para Kimberly Clark Tocancipá, es muy importante que mantenimiento solo mantenga la cantidad mínima necesaria de artículos en el almacén de repuestos, y también lograr que no existan ítems con baja rotación;

pues de no controlarse estos dos factores, afectan directamente las partidas financieras ya mencionadas.

6.2.3 Reducción de paros no programados en equipos.

Para todas las organizaciones productivas, la razón fundamental de gestionar su propio mantenimiento es garantizar la disponibilidad necesaria para que los equipos puedan cumplir sus necesidades de producción de forma eficiente OEE (Eficiencia global de los equipos), lo que redundaría en reducir los fallos y controlar los paros menores por problemas de máquina.

6.2.4 Aporte a seguridad de personas y medio ambiente

El proceso de mantenimiento de Kimberly Clark Tocancipá, debe garantizar que los equipos productivos no solo conserven sus funciones básicas, sino también aquellas funciones muchas veces ocultas, pero que tienen gran impacto en políticas corporativas, como el control de la seguridad y el cuidado medio ambiente.

6.3 EVALUACIÓN DE CADA TIPO DE MANTENIMIENTO

A continuación, se evaluará cada uno de los tipos de mantenimiento que se tienen como objeto de estudio, a la luz de los criterios descritos en el sub capítulo anterior, con el propósito de evidenciar el nivel de impacto que tenga cada una de estas en los requerimientos que tiene la organización para el proceso de mantenimiento.

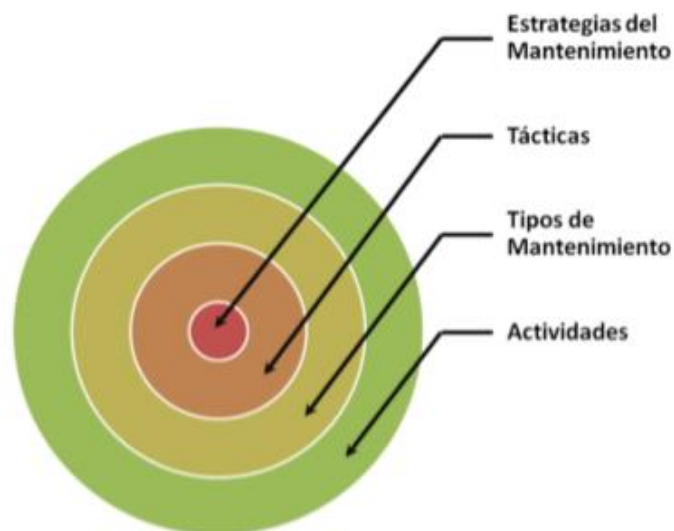
Tabla 9. Evaluación tipos de Mantenimiento.

	Optimización del recurso humano disponible	Mínimo stock y baja rotación de repuestos en el almacén	Reducción de paros no programados en equipos	Aporte a seguridad de personas y medio ambiente
RCM	El RCM, permite crear planes de Mto periódicos según modo de fallo, que a su vez se pueden incorporar en el cronograma gral de Mto.	A través del análisis de cada modo de fallo y su consecuencia, se optimiza el stock de repuestos, dejándolo solo para aquellos que correrán a fallo, o que hacen parte de un plan de recambio periódico y de difícil consecución.	Orientado a equipos críticos, es capaz de brindar niveles altos de confiabilidad, a través de la disminución cada modo de fallos.	El RCM abarca la totalidad de funciones de los equipos, incluso aquellas ocultas, que muchas veces se encargan de factores de seguridad y cuidado del medio ambiente a través de estandarización de procesos de mto.
TPM	A través de pilares como mantenimiento planeado y cuidado autónomo, se optimiza la programación de personal, según planes de trabajo trazados.	Atendiendo las 5 medidas para cero fallos, se logra dejar el equipo condiciones óptimas, corrigiendo anticipadamente fallos con repuestos programados y que no exijan un stock de seguridad fijo.	Controla los paros de máquina, a través de pilares como: autónomo, mto planeado, capacitación y entrenamiento y mejoras enfocadas.	Gestiona el riesgo a través de la generación de una cultura de seguridad en toda la organización, con el uso de herramientas como 5'S, también controla la afectación al medio ambiente en el pilar con el mismo nombre.
CBM	El mantenimiento basado en condición permite asignar DT'S al personal técnico, solo cuando los equipos realmente lo requieren. Por lo que la programación de recurso humano a mediano y largo plazo es dinámica.	Para los equipos que aplique, el CBM permite hacer una planeación responsable de repuestos, según los hallazgos encontrados en los equipos medidos, sin necesidad de tener stock en almacén.	Identifica y previene fallos, a través de las mediciones oportunas de las variables físicas del equipo que indican su estado de salud. Depende también de la ejecución eficaz de las acciones resultantes.	El BCM aporta a la seguridad de las personas y el cuidado ambiental, a través de la prevención en los equipos, que presentan un riesgo para estas en algunos modos de fallo.
PREVENTIVO	El mto preventivo se caracteriza por elaborada planeación y programación, lo cual exige y facilita la gestión humana necesaria para su cumplimiento.	Cuando el mto preventivo, requiere reemplazo de repuestos, requiere una continua planeación de estos, sin stock en almacén, si su consecución es fácil.	Intenta prevenir los fallos, basado en mantener las condiciones básicas del equipo, y de acciones periódicas establecidas. Se debe estar ajustando constantemente, en función de la vida útil y operación del equipo.	A través de rutas de inspección, se puede adelantar a la falla el mto preventivo, e identificar situaciones sub estándar que podrían desencadenar en riesgos para las personas y/o medio ambiente.

Luego de encontrar el aporte de cada tipo de mantenimiento a los criterios organizacionales que se esperan de este, se observa que, por tratarse de métodos proactivos, es decir antes de ocurrir un fallo. Todos ofrecen características alineada con dichos criterios.

Incluso es fácil interpretar en la tabla de evaluación, que hay criterios para los que más de un método ofrece características prácticamente iguales, que resultan a su vez muy aplicables y de gran impacto. Esto se debe a que RCM o TPM más que tipos o métodos de mantenimiento, son programas completos o filosofías organizacionales que, dentro de su programa de implementación, hacen uso de diversos tipos o recursos de mantenimiento, tales como el mantenimiento basado en condición, mantenimiento preventivo, correctivo, entre otros.

Figura 37. Desde actividades hasta estrategias de Mantenimiento.



Fuente: SILVA, Eliseo y ORREGO, Juan Carlos, Confiabilidad en la práctica primera edición. B/quilla-Medellín, Colombia: 2014. p. 62.

Para entender mejor la diferencia entre una filosofía o estrategia, un método o tipo y un conjunto de actividades de Mantenimiento, se acude a la figura 37, donde se indica de forma gráfica el alcance de cada uno de los términos analizados y su impacto en la organización.

6.4 SELECCIÓN DEL TIPO DE MANTENIMIENTO

Aun cuando pareciera que la mejor opción del nuevo modelo de mantenimiento a elegir, para todos los equipos del módulo de tela absorbente, fuese la implementación de algunas de las filosofías estudiadas en esta monografía; es necesario incluir al análisis el factor de criticidad de los equipos, para evitar incurrir en temas de sobre mantenimiento en equipos de baja criticidad o pérdida de disponibilidad en equipos críticos. En la tabla 10, se evalúa la aplicación de cada uno de los tipos de mantenimiento, a partir de sus ventajas y limitaciones más conocidas, así como la aplicación ideal en función de la criticidad de los equipos.

A la luz del análisis de la aplicabilidad de cada método de mantenimiento evaluado, para los equipos del módulo de tela absorbente o surge, y basados en el resultado de la matriz de criticidad, se determina el nuevo modelo de mantenimiento para este módulo en la tabla 11. Donde se define implementar RCM en los equipos encontrados con el nivel máximo de criticidad (A) y por ende impacto en los Kpi's de la línea de producción; en cuanto a los equipos de nivel B y C, conservarán por ahora el plan de mantenimiento actual, aunque se sugiere a mediano plazo evaluar su eficiencia con PMO (Optimización del plan de mantenimiento).

Tabla 10. Aplicación de cada Tipo de Mantenimiento

	Ventajas	Limitaciones	Aplicación/Equipos
RCM	<ul style="list-style-type: none"> * Ofrece altos niveles de confiabilidad. * Mitiga o elimina consecuencias de fallos. * Estudia todos los posibles modos de fallo del objeto de análisis. 	<p>Debe contar con un equipo humano interdisciplinario dentro de la organización.</p>	Equipos Criticidad A
TPM	<ul style="list-style-type: none"> * Cuenta con el apoyo del operador, para detectar y en ocasiones corregir algunas anomalías en los equipos. * Al tratarse de una filosofía organizacional, sus pilares gestionan todas las áreas, empezando por la capacitación y educación del personal. 	<p>Su implementación resulta costosa y su tiempo de implementación es largo.</p>	Aplica para organizaciones completas
CBM	<ul style="list-style-type: none"> * Permite detectar fallos potenciales a tiempo y realizar intervenciones programadas. * Disminuye costos de mantenimiento 	<ul style="list-style-type: none"> * Requiere contar con personas capacitadas en el manejo de equipos especializados o un servicio externo, bajo un estricto programa de mediciones. * Aplica para equipos que reflejen su condición actual en alguna variable física medible. 	Equipos Criticidad A
PREVENTIVO	<ul style="list-style-type: none"> * Fácil implementación por naturaleza de equipos (Elec, Mec, Hid, Neum, etc). * Busca siempre prevenir la ocurrencia del fallo con bastante antelación. 	<ul style="list-style-type: none"> * Muchas veces no se aprovecha al máximo la vida útil de los componentes reemplazados. * Requiere bastantes recursos para dar cumplimiento al plan. * Exige planeación y programación de actividades. 	Equipos Criticidad B

Tabla 11. Tipo de Mantenimiento seleccionado para Equipos criticidad A.

MATRIZ DE CRITICIDAD MÓDULO DE TELA ABSORBENTE									
UNIDAD DE PRODUCCIÓN	CÓDIGO UNIDAD/SECCIÓN	UNIDAD/SECCIÓN	CÓDIGO EQUIPO	DESCRIPCIÓN EQUIPO	COMPONENTE	FUNCIÓN DEL COMPONENTE	TASA DE FALLO	Criticidad General	Tipo de Mitto
CB2	7062-IC-11-02-401-401801	SURGE	10013163	APLICADOR DE SURGE	MANGUERA TEMPERATURA ADHESIVO APLICADOR	CONTENER Y CONTROLAR TEMPERATURA ADHESIVO	Cada 2 años	A	RCM
CB2	7062-IC-11-02-401-401801	SURGE	10013163	APLICADOR DE SURGE	CABEZAL ADHESIVO APLICADOR	APLICAR 0.030 GRAMOS DE ADHESIVO A 150°C EN CADA PAÑAL	Cada 3 meses	A	
CB2	7062-IC-11-02-401-401801	SURGE	10013163	APLICADOR DE SURGE	ELECTROVÁLVULA ADHESIVO APLICADOR	CONTROLAR EL PASO DE ADHESIVO A 150°C	Cada 6 meses	A	

7. PLAN DE MANTENIMIENTO RESULTANTE

Como se ilustró en el capítulo cuatro de este documento, el módulo de tela absorbente está conformado por varios sistemas, y estos a su vez por equipos y componentes de diferentes naturalezas. Resulta muy interesante, como a través de una herramienta como la matriz de criticidad, es posible encontrar un norte en cuanto al orden o priorización de atención de estos equipos.

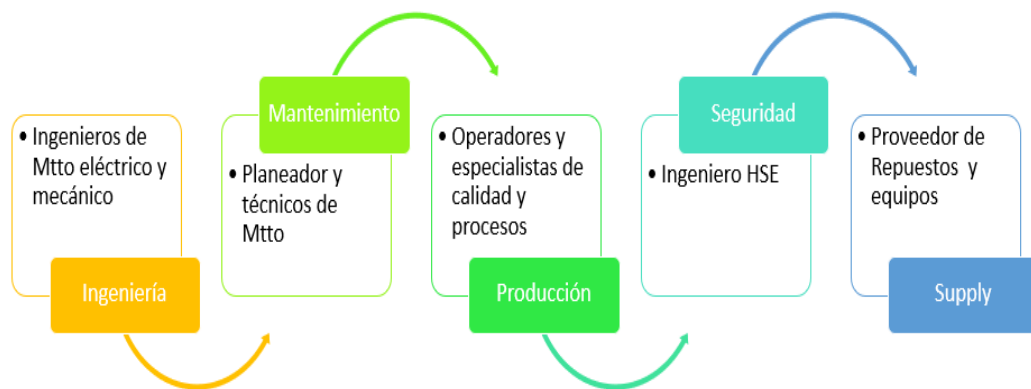
No obstante, no es suficiente con la priorización de equipos, saber qué tipo de mantenimiento se les ha de ofrecer, debido a que existe más de un método de mantenimiento adecuado para un mismo nivel de criticidad, es decir que para equipos con criticidad nivel A, es aplicable mantenimiento basado en condición, basado en riesgo, predictivo, PMO, RCM, o alguno de los pilares alusivos a mantenimiento de TPM, y es allí donde el criterio de selección debe venir propiamente de la organización, sus necesidades, fortalezas, cultura y visión.

El nuevo modelo de mantenimiento resultante para el módulo en estudio, surgió de entender como una filosofía de mantenimiento como RCM, es capaz de seleccionar de acuerdo al requerimiento justo del equipo crítico analizado, que tipo de mantenimiento o actividad es la más adecuada; lo que permite tener la opción de evaluar su implementación desde una análisis previo de los modos de fallo y el riesgo existente para cada uno, y no por imposición organizacional, deseo, presupuesto, moda, o cualquier otro aspecto carente de fundamento.

7.1 EQUIPO HUMANO INVOLUCRADO

Debido a la cultura de mejora continua implementada hace ya varios años en la planta de KCC Tocancipá, los problemas o mejor llamados oportunidades, se abordan desde la óptica del trabajo en equipo a todos los niveles jerárquicos de la organización. Es así, como para la elaboración de este capítulo, se contó con la participación de personal multidisciplinario de la compañía, correspondientes a los siguientes roles (ver figura 38).

Figura 38. Equipo involucrado en la creación de RCM



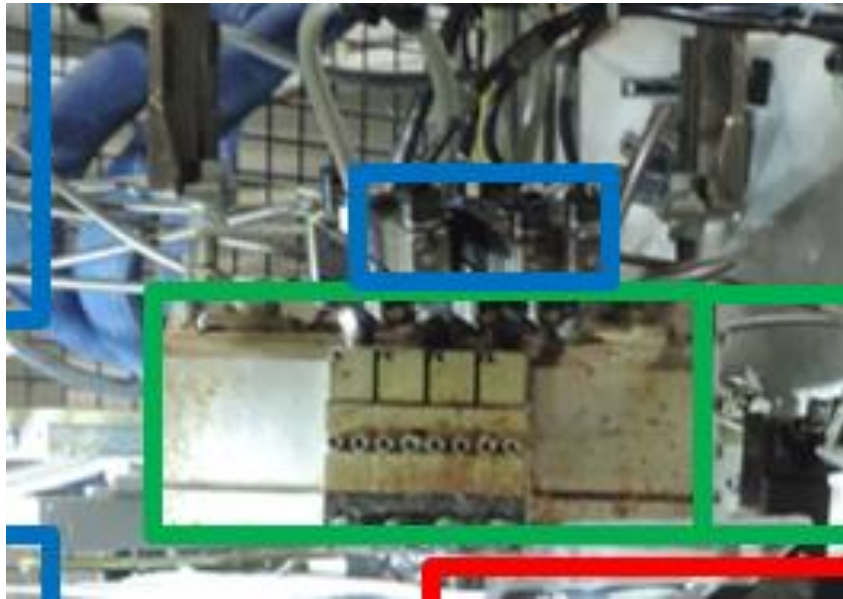
Dado que los equipos resultantes con criticidad tipo A, hacen parte del proceso de aplicación del surge, fue posible agruparlos como sub sistema de adhesivo de la máquina de producción y contar con la participación activa de los técnicos especialistas en control de adhesivos que tiene la planta en su equipo de mantenimiento, para la elaboración de un único AMEF, donde integramos todos los componentes objeto de estudio.

7.2 DEFINICIÓN DE LOS EQUIPOS

En la figura 39, se aprecia la relación de los componentes a nivel funcional dada por el subsistema de control de adhesivos, del que hacen parte en el aplicador del surge, y que fueron seleccionados para aplicación de RCM:

- ✚ Manguera de alta temperatura para adhesivo
- ✚ Electroválvulas de aplicación rápida de adhesivo
- ✚ Cabezal aplicador de adhesivo

Figura 39. Componentes a implementar RCM.



7.2.1 Manguera de alta temperatura para adhesivo

Este componente es el responsable de transportar el adhesivo caliente desde la salida de la bomba dosificadora, hasta el cabezal de aplicación, a la vez que mide su temperatura por medio de un sensor RTD (Detector de temperatura resistivo), y

lo calienta con resistencias internas de 100W distribuidas en los 8 metros de su longitud, que cumplen el papel de actuadores, en el lazo de control de temperatura, que recibe la señal de la RTD y entrega una acción de control a las resistencias, en función de un punto deseado.

Figura 40. Manguera para adhesivo caliente



Fuente: NORDSON. Adhesivos. [En Línea]. USA. Nordson Web. 2016. (Recuperado 25 Septiembre de 2018). Disponible en: <http://www.nordson.com/es-ES/divisions/adhesive-dispensing-systems/products/hoses/advanced-technology-hot-melt-hoses>.

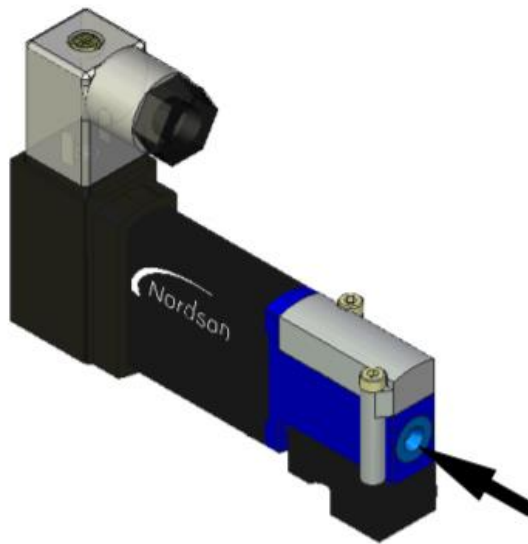
7.2.2 Electroválvulas de aplicación rápida de adhesivo

Este componente ocupa un lugar muy básico en cuanto a complejidad, tamaño y cuidado en muchos otros sistemas de control neumático de fluidos, pero dentro del subsistema de adhesivos de la planta, es tal vez el más sencillo en su funcionamiento, pero de gran importancia, pues es que quien finalmente abre o impide el paso de adhesivo líquido caliente hacia el cabezal de aplicación.

Las condiciones de operación son fuertes, pues percibe temperaturas entre los 60 y 80°C provenientes del cabezal de adhesivo, y debe abrir y cerrar a una

frecuencia hasta 13 veces por segundo, a través de la conmutación de una señal eléctrica de control que llega a la bobina del componente, donde a su vez la parte mecánica móvil de la válvula responde a estos impulsos casi al instante. Su forma se observa en la figura 41.

Figura 41. Electroválvula de aplicación adhesivo



Fuente: NORDSON. Adhesivos. [En Línea]. USA. Nordson e-manuals. 2013. (Recuperado 25 Septiembre de 2018). Disponible en: http://emanuals.nordson.com/adhesives/English_Manuals/213980.pdf.

7.2.3 Cabezal aplicador de adhesivo

Este robusto componente mecánico ilustrado en la figura 42, recibe el adhesivo líquido a 150°C que viene por la manguera, y por medio de una resistencia insertada al interior de su estructura metálica, aumenta la temperatura del fluido; entregándolo ya a las electroválvulas para que controlen su dosificación.

También tiene incorporada una RTD que permite sensor la temperatura del cabezal en todo momento.

Figura 42. Cabezal aplicador de adhesivo.



Fuente: NORDSON. Adhesivos. [En Línea]. USA. Nordson e-manuals. 2013. (Recuperado 25 Septiembre de 2018). Disponible en: <http://www.nordson.com/es-ES/divisions/adhesive-dispensing-systems/products/applicators/ag-900-modular-dispensing-applicators>.

7.3 DEMARCACIÓN DE FRONTERAS

Las fronteras de este conjunto de componentes para el control de adhesivos, pertenecientes al aplicador del módulo de tela absorbente, se muestran a continuación en la figura 43, donde esta el display de un panel HMI (Interfaz Máquina-Persona) y fácilmente se identifican los componentes y su orden de su utilización.

Con el propósito enmarcar con mayor claridad los componentes a los que se les aplicará RCM y definir sus entradas y salidas, se utiliza la figura 44.

Figura 43. Fronteras de estudio

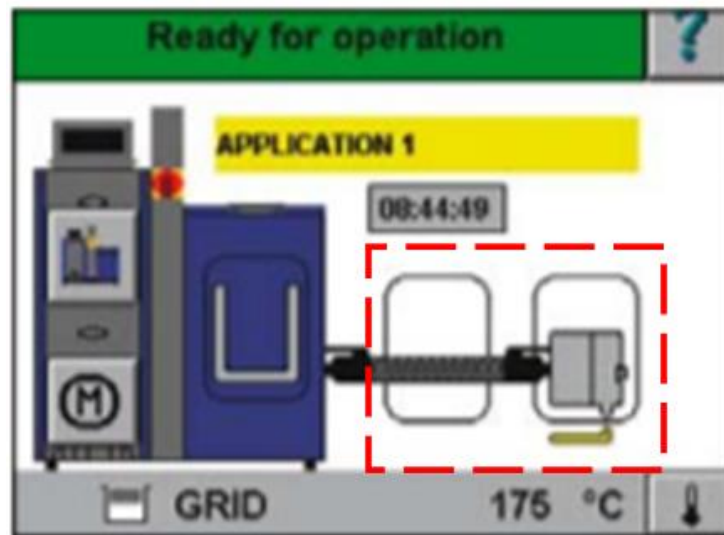
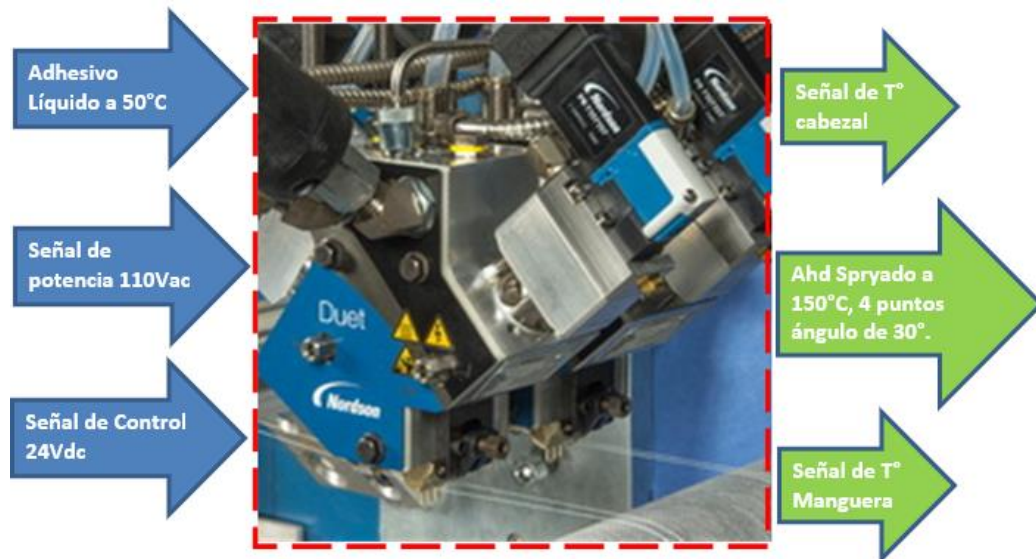



Figura 44. Detalle de las fronteras, entradas y salidas.



7.3 DEFINICIÓN DE FUNCIONES

Para realizar la definición de funciones de los componentes a analizar, fue necesario, listar las características técnicas, operacionales y ambientales del grupo de componentes a analizar, así como sus interfases de entrada y salida, es decir las variables físicas que ingresan al sistema y los resultados salientes que deben generarse.

Con la información anterior, se encuentran y formulan las funciones del sistema, de modo que, a través de su cumplimiento, el sistema sea capaz, de convertir las entradas definidas en las salidas esperadas. Para los componentes del aplicador del surge o tela absorbente, se definen las funciones de la siguiente forma:

ELEMENTO DE ESTUDIO	CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL ELEMENTO	CONDICIONES OPERACIONALES	CONDICIONES AMBIENTALES	FRONTERAS (PLANO-DIAGRAMA)	INTERFASES (Entradas/Salidas)	Cód Fun.	FUNCIONES
CONJUNTO: MANGUERA, ELECTRO VÁLVULAS Y CABEZAL DE ADHESIVO	Manguera Nordson 180-C32, 8m de longitud, con RTD y Resistencias	Ingreso de Adhesivo líquido a 50°C	T° de trabajo 25°C y 180°C		Adhesivo líquido a 50°C	F1	Aplicar adhesivo, a una frecuencia de 13 veces por segundo.
	Electro Válvula Modular Nordson Speedcoat, 24Vdc	Salida de adhesivo Spray a 120°C	Ubicado dentro de guardas de seguridad		Señal de potencia a 110Vac para resistencias de manguera	F2	Aplicar adhesivo Sprayed en 4 puntos equidistantes entre si, a un ángulo de apertura de 30°
	Cabezal de adhesivo Nordson Speedcoat, aplicación Spray, de 4 boquillas	Voltaje de Control EV 24 VDC	Cabezal anclado con base fija		Señal de potencia a 110Vac para resistencias de cabezal	F3	Mantener temperatura del adhesivo a 150°C
	Cable de control 4X16 AWG	Voltaje de potencia Manguera y cabezal 110Vac	Cables de potencia y control ruteados por coraza y bandeja tapada		Señal de control a 24Vdc para EV	F4	Contener el adhesivo líquido
	Cable Cordset de Conexión cabezal Nordson RTD y resistencia				Señal de T° manguera en	F5	Generar señal eléctrica, en función de la T° del cabezal y manguera
					Señal de T° cabezal		
					Producto: Adh Sprayed. T°: 150°C Puntos de salida: 4 Ángulo salida: 30° Frecuencia: 13/Seg		

7.4 ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTO DE FALLA (AMEF)

Cód. Func.	Función	Cód. FF	Descripción Falla Funcional	Cód. MF	Modo de Falla	Descripción Efectos	FALLA OCULTA	Prorabilidad	R. Ambiental	R. Seguridad	R. Productividad	R. Pérdidas Financieras	R. Calidad	Valor económico del riesgo (COPS)	TIPO DE DECISIÓN							DESCRIPCIÓN TAREA	FRECUENCIA (mes)	RECURSOS	Cod. Tarea
															Sustitución Cíclica	Recondicionamiento cíclico	Mto a condición	Capacitación	Caza Fallas	Corrección a Falla	Rediseño				
			Totalmente incapaz de aplicar adhesivo	MF1	Mangera obstruida por adhesivo degradado	Ocasiona que el material tela absorbente llegue al siguiente módulo sin adhesivo, sin riesgo a la seguridad ni afectación al medio ambiente, la producción de toda la línea debe detenerse.	NO	2	C	C	A	B	C	\$ 10.000.000	SI						Sustitución Cíclica	Reemplazar la manguera de adhesivo	12	<ul style="list-style-type: none"> Humano: 3HH Técnico mecánico, y 1HH Técnico Eléctrico Repuestos: Manguera nueva ref Nordson 180-C32. Productividad: 3 Horas de línea de producción detenida 	ADH1
				MF2	Electro válvula con bobina asilada por vida útil	Ocasiona que el material tela absorbente llegue al siguiente módulo sin adhesivo, sin riesgo a la seguridad ni afectación al medio ambiente, la producción de toda la línea debe detenerse.	NO	3	C	C	A	C	A	\$ 2.000.000	SI							Reemplazar Bobina de la EV	8	<ul style="list-style-type: none"> Técnico Eléctrico Repuestos: Bobina 24Vdc para Válvula Speed coat Nordson Productividad: 0,5 Horas de línea de producción detenida 	ADH2
				MF3	Electro válvula con cuerpo de válvula atorada por contaminación acumulada	Ocasiona que el material tela absorbente llegue al siguiente módulo sin adhesivo, sin riesgo a la seguridad ni afectación al medio ambiente, la producción de toda la línea debe detenerse.	NO	4	C	C	A	B	A	\$ 8.500.000	SI							Reemplazar cuerpo válvula de la EV	6	<ul style="list-style-type: none"> Técnico Mecánico Repuestos: Cuerpo Válvula Speed coat Nordson Productividad: 0,5 Horas de línea de producción detenida 	ADH3

Cód. Func.	Función	Cód. FF	Descripción Falla Funcional	Cód. MF	Modo de Falla	Descripción Efectos	FALLA OCULTA	Probabilidad	R. Ambiental	R. Seguridad	R. Productividad	R. Pérdidas Financieras	R. Calidad	Valor económico del riesgo (COP\$)	TIPO DE DECISIÓN							DESCRIPCIÓN TAREA	FRECUENCIA (mes)	RECURSOS	Cod. Tarea				
															Sustitución Cíclica	Recondicionamiento cíclico	Mtto a condición	Capacitación	Caza Fallas	Correr a Falla	Rediseño								
F1	Aplicar adhesivo, a una frecuencia de 13 veces por segundo.			MF4	Electro válvula en corto por cable de control con aislamiento derretido por alta T del cabezal	Ocasiona que el material tela absorbente llegue al siguiente módulo sin adhesivo, existe riesgo de arco eléctrico contra el cabezal o chasis de máquina, la producción de toda la línea debe detenerse.	NO	2	C	B	A	C	A	\$ 2.000.000								SI	Reemplazar el cableado de la EV por cable siliconado para alta T	una sola vez	* Humano: 3HH Técnico Eléctrico * Repuestos: 10m de cable 4X16 AWG * Seguridad: Permiso alturas * Productividad: 3 Horas de línea de producción	ADH 4			
				MF5	Cabezal cobstruido internamente por residuos de adhesivo	Ocasiona que el material tela absorbente llegue al siguiente módulo sin adhesivo, in riesgo a la seguridad ni afectación al medio ambiente, la producción de toda la línea debe detenerse.	NO	4	C	C	A	C	A	\$ 1.000.000		SI									Desmontar cabezal y realizar Limpieza con disolvente	6	* Humano: 4HH Técnico Mecánico * Repuestos: Disolvente * Productividad: 4 Horas de línea de producción detenida	ADH 5	
				MF6	Electroválvula con bobina que no responde a pulsos eléctricos por vida útil	Ocasiona que el material tela absorbente llegue al siguiente módulo sin adhesivo, sin riesgo a la seguridad ni afectación al medio ambiente, la producción de toda la línea debe detenerse.	NO	4	C	C	A	C	A	\$ 2.000.000	SI											Reemplazar Bobina de la EV	8	* Humano: 1HH Técnico Eléctrico * Repuestos: Bobina 24Vdo para Válvula Speed coat Nordson * Productividad: 0,5 Horas de línea de producción	ADH 2
				MF7	Electroválvula con cuerpo de válvula con spool desgastado por vida útil	Ocasiona que el material tela absorbente llegue al siguiente módulo con exceso de adhesivo, sin riesgo a la seguridad ni afectación al medio ambiente, la producción de toda la línea debe detenerse.	NO	4	C	C	A	B	A	\$ 8.500.000	SI											Reemplazar cuerpo válvula de la EV	6	* Humano: 1HH Técnico Mecánico * Repuestos: Cuerpo Válvula Speed coat Nordson * Productividad: 0,5 Horas de línea de producción	ADH 3
		FF2	Aplica adhesivo de forma continua, o a una f menor de 13 veces por segundo																										

Cód. Func.	Función	Cód. FF	Descripción Falla Funcional	Cód. MF	Modo de Falla	Descripción Efectos	FALLA OCULTA	Probabilidad	R. Ambiental	R. Seguridad	R. Productividad	R. Pérdidas Financieras	R. Calidad	Valor económico del riesgo (COP\$)	TIPO DE DECISIÓN						DESCRIPCIÓN TAREA	FRECUENCIA (mes)	RECURSOS	Cod. Tarea		
															Sustitución Cíclica	Reconocimiento cíclico	Mtto a condición	Capacitación	Caza Fallas	Correr a Falla					Rediseño	
F2	Aplicar adhesivo Sprizado en 4 puntos equidistantes entre sí, a un ángulo de apertura de 30°	FF2	Aplica adhesivo sprizado en menos de 4 puntos	MF8	Boquillas obstruidas por residuos de adhesivo	Ocasiona que el material tela absorbente llegue al siguiente módulo sin la cantidad necesaria de adhesivo, no hay riesgo a la seguridad ni afectación al medio ambiente, la producción de toda la línea debe detenerse.	NO	4	C	C	A	C	A	\$ 1.000.000		SI							Desmontar cabezal y realizar limpieza de boquillas con disolvente	3	* Humano: 2HH Técnico Mecánico * Repuestos: Disolvente * Productividad: 2 Horas de línea de producción detenida	ADH 6
		FF3	Aplica adhesivo a un ángulo distinto a 30° de apertura	MF9	Boquillas sueltas o mal posicionadas en el cabezal, por mala instalación o desajuste	Ocasiona que el material tela absorbente llegue al siguiente módulo con la aplicación de adhesivo en el lugar incorrecto del pañal, no hay riesgo a la seguridad ni afectación al medio ambiente, la producción de toda la línea debe detenerse.	NO	3	C	C	A	C	A	\$ 1.000.000		SI							Inspeccionar boquillas de cabezal, verificando ajuste y ubicación.	3	* Humano: 1HH Técnico Mecánico * Repuestos: Calibrador galgas * Productividad: 1 Hora de línea de producción detenida	ADH 7

Cód. Func.	Función	Cód. FF	Descripción Falla Funcional	Cód. MF	Modo de Falla	Descripción Efectos	FALLA OCULTA	Probabilidad	R. Ambiental	R. Seguridad	R. Productividad	R. Pérdidas Financieras	R. Calidad	Valor económico del riesgo (COP\$)	TIPO DE DECISIÓN							DESCRIPCIÓN TAREA	FRECUENCIA (mes)	RECURSOS	Cod. Tarea		
															Sustitución Cíclica	Reacondicionamiento cíclico	Mtto a condición	Capacitación	Caza Fallas	Correr a Falla	Rediseño						
F3	Mantener temperatura del adhesivo a 150°C	FF4	Incapaz de aumentar Temperatura	MF10	Resistencias de calentamiento abiertas por vida útil	Ocasiona que el material tela absorbente llegue al siguiente módulo sin adhesivo, no hay riesgo a la seguridad ni afectación al medio ambiente, la producción de toda la línea debe detenerse.	NO	3	C	C	A	C	A	\$ 2.000.000							SI		Reemplazar las resistencias de calentamiento, cuando fallen	Fallo	* Humano: 1HH Técnico Eléctrico * Repuestos: Kit resistencias Nordson 100W * Productividad: 1 Horas de línea de producción detenida	ADH 8	
				MF11	Cable de potencia de resistencias aislado en conector, por contaminación	Ocasiona que el material tela absorbente llegue al siguiente módulo sin adhesivo, no hay riesgo a la seguridad ni afectación al medio ambiente, la producción de toda la línea debe detenerse.	NO	3	C	C	A	C	A	\$ 1.000.000		SI								Realizar limpieza, reapriete y testeo de continuidad entre conexiones de resistencias	12	* Humano: 0,5HH Técnico Eléctrico * Repuestos: Multímetro * Productividad: 0,5 Horas de línea de producción detenida	ADH 9
				MF12	Resistencias en corto por cable de aislamiento derretido por alta T del cabezal	Ocasiona que el material tela absorbente llegue al siguiente módulo sin adhesivo, existe riesgo de arco eléctrico contra el cabezal o chasis de máquina, la producción de toda la línea debe detenerse.	NO	2	C	B	A	C	A	\$ 3.000.000									SI		Re definir ruta del cable de potencia, dejándola lo mas retirada posible del cabezal	una sola vez	Técnico Eléctrico * Repuestos: Cable para alta T con revestimiento 4X8 AWG * Seguridad: Permiso alturas * Productividad: 3 Horas de línea de producción detenida

Cód. Func.	Función	Cód. FF	Descripción Falla Funcional	Cód. MF	Modo de Falla	Descripción Efectos	FALLA OCULTA	Probabilidad	R. Ambiental	R. Seguridad	R. Productividad	R. Pérdidas Financieras	R. Calidad	Valor económico del riesgo (COP\$)	TIPO DE DECISIÓN							DESCRIPCIÓN TAREA	FRECUENCIA (mes)	RECURSOS	Cod. Tarea
															Sustitución Cíclica	Recondicionamiento cíclico	Mtto a condición	Capacitación	Caza Fallas	Correr a Falla	Rediseño				
		FF5	Mantener una T° diferente a 150 C	MF13	Sensor RTD abierto por la mala manipulación	Ocasiona que el material tela absorbente llegue al siguiente módulo sin adhesivo o degradado, existe riesgo de arco eléctrico contra el cabezal o chasis de máquina, la producción de toda la línea debe detenerse.	NO	2	C	B	A	C	A	\$ 4.000.000				SI				Capacitar a los técnicos eléctricos y mecánicos, sobre el montaje, conexión y manipulación de estos sensores	12	* Humano: 1HH Técnico Eléctrico y mecánico, Ing capacitador en instrumentación * Productividad: No afecta tiempo productivo	ADH 11
F4	Contener el adhesivo líquido	FF5	Incapaz de contener el adhesivo	MF14	Manguera fisurada por fricción con alguna parte de la máquina, durante su recorrido	Ocasiona que el material tela absorbente llegue al siguiente módulo sin suficiente adhesivo, existe riesgo de quemadura a las personas, la producción de toda la línea debe detenerse.	NO	1	C	B	A	B	A	\$ 10.000.000				SI		SI	* Realizar Ruta de inspección de estado de mangueras * Redefinir ruta de manguera, alejándola de la estructura de la máquina.	* 18 * Una sola vez	* Humano: 3HH Técnico Eléctrico * Seguridad: Permiso alturas * Productividad: 3 Horas de línea de producción detenida	ADH 12	
				MF15	Acoples de manguera y cabezal con empaquetadura desgastada por mal ajuste	No afecta la aplicación de adhesivo, existe riesgo de quemadura a las personas, la producción de toda la línea no debe detenerse.	SI	3	C	B	C	C	B	\$ 3.000.000				SI			Capacitar a los técnicos mecánicos, sobre el montaje, y condiciones de montaje e instalación	12	* Humano: HH Técnico mecánico, Ing capacitador en empaquetaduras * Método: Procedimiento de instalación de empaquetadura. * Productividad: No afecta tiempo productivo	ADH 13	

Cód. Func.	Función	Cód. FF	Descripción Falla Funcional	Cód. MF	Modo de Falla	Descripción Efectos	FALLA OCULTA	Probabilidad	R. Ambiental	R. Seguridad	R. Productividad	R. Pérdidas Financieras	R. Calidad	Valor económico del riesgo (COP\$)	TIPO DE DECISIÓN							DESCRIPCIÓN TAREA	FRECUENCIA (mes)	RECURSOS	Cod. Tarea
															Sustitución Cíclica	Recondicionamiento cíclico	Mtto a condición	Capacitación	Caza Fallas	Correr a Falla	Rediseño				
F5	Generar señal eléctrica, en función de la T del cabezal y manguera	FF6	Incapaz de generar señal eléctrica en función de la T	MF16	Sensor RTD sin lectura por fin de vida útil	No interfiere en la aplicación del adhesivo, no hay riesgo de seguridad ni al medio ambiente, la producción de toda la línea no debe detenerse.	NO	1	C	C	C	C	C	\$ 4.000.000						SI		Reemplazar sensor RTD, cuando falle	Fallo	* Humano: 1HH Técnico Eléctrico * Repuestos: RTD Nordson * Productividad: No afecta tiempo productivo	ADH 14
		FF7	Generar señales eléctricas no coherentes con la T actual del sistema	MF17	Sensor RTD con lectura errada por mal contacto del bulbo	No interfiere en la aplicación del adhesivo, no hay riesgo de seguridad ni al medio ambiente, la producción de toda la línea no debe detenerse.	NO	2	C	C	C	C	C	\$ 1.000.000			SI					Realizar ruta de monitoreo de Temperatura externa del cabezal con termómetro infrarrojo, y comparar con lectura de RTD	12	* Humano: 1HH Técnico Eléctrico * Repuestos: Termómetro infrarrojo * Productividad: No afecta tiempo productivo	ADH 15

7.5 SELECCIÓN DE TAREAS

Una vez se definieron las funciones de los componentes que conforman el subsistema de adhesivos del módulo de tela absorbente, se plantearon los modos de fallo más conocidos entre el grupo de personas que participaron en este RCM, cada quien aportó desde su especialidad y experiencia en estos sub sistemas; así mismo se estimaron los efectos generados al producirse cada uno de estos y se evaluó su impacto y el riesgo potencial al presentarse, en función de cada aspecto organizacional utilizado en la matriz de criticidad; para luego ponderarse bajo las mismas consideraciones expuestas en el capítulo 5 de este trabajo.

El paso a seguir fue evaluar el tipo de acción a definir, para cada modo de fallo, para lo que se aplicó lo escrito por Moubray²⁰ quien las dividió en dos categorías:

7.5.1 Tareas Proactivas

Retomando el concepto de proactivo, como las acciones que tienen lugar antes de ocurrir la falla, con el objetivo de evitar su ocurrencia y reducir sus efectos, tal y como se explicó en los capítulos iniciales de este trabajo. Desde RCM se agruparon las siguientes actividades dentro de esta categoría:

- ✚ Reacondicionamiento cíclico
- ✚ Sustitución cíclica
- ✚ Monitoreo de condición (CBM)
- ✚ Capacitación al personal

²⁰ MOUBRAY, Jhon. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad RCM II Edición en español. Aladon. 2004. p. 133.

Se puede interpretar fácilmente, que dichas actividades corresponden a Mantenimiento preventivo y predictivo. En cuanto a la última orientada al talento humano de quienes intervienen en la operación recurrente del equipo o componente, resulta muy útil, en caso de que la causa de un modo de fallo radique en alguna maniobra o intervención no realizada correctamente, por un operario o mantenedor; lo que ocurrió en el análisis realizado al modo de fallo 13 y 15 del AMEF analizado en este capítulo.

La implementación de estas actividades, deben verse bajo la óptica de la justificación de sus costos, y el valor que agregaría en la reducción del riesgo, evitando que se produzca la falla.

7.5.2 Tareas a falta de

Al contrario de las tareas proactivas, son tareas de mitigación de la falla, y se utilizan cuando no se encuentra una proactiva adecuada o cuando esta no es viable organizacionalmente, para cierto modo de falla.

Dentro de este tipo de tareas, se encuentran:

- ✚ Búsqueda de fallos
- ✚ Rediseño
- ✚ Mantenimiento a Rotura

Partiendo del hecho que son tareas de tipo correctivo, para el caso del rediseño y mantenimiento a rotura o correo a fallo, son idóneas para aquellos modos de fallo que, según la valoración del riesgo en el AMEF, no exigen la aplicación de una tarea proactiva que seguro demanda mucho mas recurso en su implementación.

En cuanto a la búsqueda de fallos o caza fallos, es más orientada a rutas de inspección detalladas, que pretenden encontrar fallos ya existentes, en un ciclo temprano, de modo que permita detectar a tiempo estas anomalías, para tomar acciones y evitar las consecuencias no deseables del modo de fallo.

8. CONCLUSIONES

Fue imprescindible para la elaboración del plan de mantenimiento, conocer y validar previamente el listado completo de los equipos del módulo de estudio, y clasificarlos según su taxonomía; la información técnica recopilada de los equipos fue la base para más adelante plantear las funciones de cada uno.

La elaboración de la matriz de criticidad debe ser basada en la matriz de riesgo de la organización, de esta manera la clasificación y las acciones sobre los equipos serán acertadas; los criterios de evaluación de la matriz de criticidad y su ponderación deben ser definidos por la gerencia y todas las áreas de la organización, no solo por mantenimiento.

El tipo o filosofía de Mantenimiento más adecuado para una organización, será aquel que más contribuya a las necesidades, visión y objetivos estratégicos de la organización donde se implementará. Programas o filosofías para el mantenimiento como TPM y RCM, no son comparables directamente con los tipos de mantenimiento (preventivo, correctivo, CBM, etc), pues estos últimos son solo una parte de dichos programas.

Por último, vale la pena destacar, que el RCM, permite asignar tareas de varios tipos de mantenimiento, en función de la criticidad, naturaleza, y riesgo de las consecuencias de sus fallos, lo cual resulta muy eficiente para cualquier organización.

BIBLIOGRAFÍA

BORRAS PINILLA, Carlos. Mantenimiento Preventivo. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga: 2017. 161 p.

FIBRTEL, Juan. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad. página Web Gestipolis. [En línea] (Citado Agosto de 2018). Disponible en: <https://www.gestipolis.com/rcm-mantenimiento-centrado-en-confiabilidad/>.

GARCÍA CASTRO, Alfonso. Mantenimiento Predictivo Vibraciones y Termografía. [CD_ROM]. Bucaramanga, 2017. Posgrado gerencia de Mantenimiento. Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Físico Mecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica.

GARCÍA CASTRO, Alfonso. Mantenimiento Predictivo Análisis de Vibraciones y Termografía. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga: 2017. 207 p.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. Petroleum, petrochemical and natural gas industries — Collection and exchange of reliability and maintenance data for equipment. ISO 14224:2016: ISO, 2016. p. 272. ISBN 978 0 580 90387 8.

JIMENEZ VERGARA, Jose Andrés, Tácticas de Mantenimiento, EAFIT, Trabajo de grado. Medellín, Colombia: 2010. p.11.

MOUBRAY, Jhon. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad RCM II Edición en español. Traducido por Ellman, Sueiro y Asociados. Aladon: Aladon Ltd, 2004. 433 p. ISBN : 09539603-2-3.

MUSSO, Rodolfo. Beneficios del Mantenimiento Predictivo. En: página Web ACIEM. [En línea] (Citado Agosto de 2018). Disponible en:

<http://www.aciem.org/home/index.php/23-aciem/eventos/10820-beneficios-del-mantenimiento-predictivo-pdm>.

PASCUAL, Rodrigo. Gestión Moderna del Mantenimiento. Versión 2.0. Dpto Ing. Mecánica Universidad de Chile. Santiago de Chile: 2002. 281 p.

PÉREZ, Carlos Mario. Paradigmas de Mantenimiento de Clase Mundial. En: página Web Soporte & Cia. [En línea] (Citado Julio de 2018). Disponible en: <http://www.soporteycia.com/images/Articulos/Paradigmas-de-mantenimiento-de-clase-mundialV2.pdf>.

SILVA, Eliseo y ORREGO, Juan Carlos, Confiabilidad en la práctica primera edición. B/quilla-Medellín, Colombia: 2014. p. 152.

SUZUKI, Tokutarō, TPM en Industrias de proceso versión en español. TGP-Hoshin. Madrid, España: 1995. p. 385. ISBN; 84 -87022-18-9.

TORRES, Leandro. Mantenimiento su Implementación y Gestión. Segunda Edición. Universitas. Argentina: 2005. 347p. ISBN: 987-9406-81-8.

VIÑALS, Joaquín. La evolución del Mantenimiento Industrial. En: Revista Digital Enova Levante. [En línea] (Citado Julio de 2018). Disponible en: http://www.enovalevante.es/mantenimientomontajes/2016/06/18/evolucion_del_mantenimiento_industrial_enova_levante.

_____. El camino hacia el RCM - Mantenimiento Centrado en Confiabilidad En: página Web Soporte & Cia. [En línea] (Citado Julio de 2018). Disponible en: <http://www.rcm2-soporte.com/images/Articulos/RCM-ARTICULO-CAMINO-HACIA-RCM-26-JUL-2018v1.pdf>.