

PROPUESTA DE UN PLAN ESTRATÉGICO DE MANTENIMIENTO PARA LA
PLANTA DE PRODUCCIÓN DE CUERO SINTÉTICO DE LA EMPRESA
INDUSTRIA ARTICUEROS S.A.

FÉLIX ORLANDO RUEDA VILLANOVA
ORLEY FELIPE LUGO MADRIGAL

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BUCARAMANGA

2019

PROPUESTA DE UN PLAN ESTRATÉGICO DE MANTENIMIENTO PARA LA
PLANTA DE PRODUCCIÓN DE CUERO SINTÉTICO DE LA EMPRESA
INDUSTRIA ARTICUEROS S.A.

FÉLIX ORLANDO RUEDA VILLANOVA
ORLEY FELIPE LUGO MADRIGAL

TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR EL TÍTULO DE ESPECIALISTA EN
GERENCIA DE MANTENIMIENTO

DIRECTOR
LUIS JULIO ÁVILA VILLAMIL
ESPECIALISTA EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECAÑICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BUCARAMANGA

2019

DEDICATORIA

A mi hijo Felipe y a mi esposa Laura, quienes son mi motor y mi mayor motivación.

A mis padres Leandro y Marta por el gran ejemplo, valores y tenacidad inculcados.

A mi hermana Carmen Andrea, por ser siempre un apoyo incondicional.

- ***Orley Felipe Lugo Madrigal***

DEDICATORIA

A mi esposa Ivonne y a mis hijos Michelle y Félix David quienes son mi motivación para superarme cada día más y así poder brindarles una mejor calidad de vida.

A mis padres Félix y Mariela por sus consejos, amor y gran ejemplo de que con trabajo y esfuerzo se consiguen grandes cosas.

A mis hermanos Nayibe, Lizbana y Raúl por apoyarme en las decisiones importantes de mi vida.

- ***Félix Orlando Rueda Villanova***

AGRADECIMIENTOS

A Dios por darme la sabiduría y perseverancia para alcanzar este objetivo.

A mi compañero de trabajo, Ing. Félix Rueda, por sus aportes, compromiso y dedicación al desarrollo de este proyecto.

A nuestro director de proyecto, Ing. Luis Ávila, por sus recomendaciones, su excelente disposición y vocación de servicio.

A todos los profesores que han hecho parte de este proceso de formación.

A mi familia, por la paciencia y apoyo incondicional durante este tiempo de estudio.

- ***Orley Felipe Lugo Madrigal***

AGRADECIMIENTOS

A Dios por la vida, la salud y la sabiduría durante la realización de este estudio y trabajo final.

A mi esposa, mis padres y hermanos por el apoyo brindado.

A mi compañero de estudio, Ing. Orley Felipe Lugo Madrigal, por su paciencia, persistencia, constancia y gran aporte al desarrollo de este trabajo.

A nuestro director de proyecto, Ing. Luis Ávila, por sus ideas siempre en pro de mejorar y su disposición para ayudarnos.

A todos los profesores que con su dedicación y el compartir de sus conocimientos y experiencias han aportado a mi desarrollo profesional.

- Félix Orlando Rueda Villanova

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCION.....	19
1. GENERALIDADES	21
1.1 DESCRIPCION DE LA EMPRESA	21
1.1.1 Reseña Histórica.....	21
1.1.2 Ubicación Geográfica.....	22
1.1.3 Misión.....	22
1.1.4 Visión	23
1.1.5 Política de Calidad	23
1.1.6 Presencia en el mercado	23
1.1.7 Organigrama	24
1.1.8 Departamento de Mantenimiento.....	25
1.1.9 Plan de Mantenimiento Actual	26
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	28
1.3 OBJETIVOS.....	30
1.3.1 Objetivo General	30
1.3.2 Objetivos Específicos.....	30
1.4 JUSTIFICACION DEL PROYECTO	31
2. MARCO TEORICO	33

3. MARCO CONCEPTUAL	36
3.1 ¿QUE ES MANTENIMIENTO?	36
3.2 EVOLUCIÓN DEL MANTENIMIENTO	36
3.3 ANALISIS DE EQUIPOS.....	37
3.4 LISTA DE EQUIPOS.....	39
3.5 CODIFICACIÓN DE EQUIPOS.....	41
3.5.1 Información útil que debe contener el código de un ítem.....	42
3.6 TIPOS DE MANTENIMIENTO	43
3.6.1 Mantenimiento correctivo	43
3.6.2 Mantenimiento preventivo	43
3.6.3 Mantenimiento predictivo	44
3.6.4 Mantenimiento cero horas.....	44
3.6.5 Mantenimiento en uso.....	44
3.6.6 Los tipos de mantenimiento no son directamente aplicables	45
3.7 MODELOS DE MANTENIMIENTO	45
3.7.1 Modelos de mantenimiento posibles	46
3.7.2 Otras consideraciones	51
3.8 ANÁLISIS DE CRITICIDAD	53
3.9 SELECCIÓN DEL MODELO DE MANTENIMIENTO	55
3.10 ÁRBOLES DE DECISIÓN.....	62
3.10.1 SÍMBOLOS DE LOS ÁRBOLES DE DECISIÓN	63
3.10.2 CÓMO DIBUJAR UN ÁRBOL DE DECISIÓN	64
3.10.3 VENTAJAS Y DESVENTAJAS	66

3.10.4 ÁRBOLES DE DECISIÓN EN MINERÍA DE DATOS Y APRENDIZAJE AUTOMÁTICO	67
4. RECOPIACION DE DATOS.....	69
4.1 IDENTIFICACIÓN DE ÁREAS PRODUCTIVAS	69
4.2 INVENTARIO DE EQUIPOS.....	71
4.3 CLASIFICACIÓN DE EQUIPOS POR TIPO	72
4.4 CODIFICACIÓN DE EQUIPOS.....	73
5. ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN	76
5.1 ANÁLISIS DE CRITICIDAD DE LOS EQUIPOS	76
5.1.1 CRITERIOS DE EVALUACIÓN	77
5.1.2 ARBOL DE DECISION PARA ANÁLISIS DE CRITICIDAD	78
5.2 ASIGNACIÓN DE MODELOS DE MANTENIMIENTO.....	80
5.2.1 CRITERIOS DE DECISIÓN	80
5.2.2 ARBOL DE DECISIÓN PARA ASIGNACIÓN DE MODELOS DE MANTENIMIENTO.....	81
6. PLAN DE MANTENIMIENTO PROPUESTO	84
6.1 EQUIPOS CON MODELO DE MANTENIMIENTO CORRECTIVO	84
6.2 EQUIPOS CON MODELO DE MANTENIMIENTO CONDICIONAL	85
6.3 EQUIPOS CON MODELO DE MANTENIMIENTO SISTEMÁTICO	85
6.4 EQUIPOS CON MODELO DE ALTA DISPONIBILIDAD.....	86
6.5 RESUMEN GENERAL DEL PLAN ESTRATÉGICO DE MANTENIMIENTO ...	87

7. CONCLUSIONES	89
8.RECOMENDACIONES.....	92
BIBLIOGRAFIA.....	94

LISTA DE TABLAS

Pág.

Tabla 1. Resumen del plan de mantenimiento actual Ind. Articueros.	27
Tabla 2. Ejemplo de matriz de criticidad	55
Tabla 3. Centros de costo de Industria Articueros	70
Tabla 4. Códigos de áreas productivas de Industria Articueros.....	71
Tabla 5. Inventario de equipos de Industria Articueros por área	71
Tabla 6. Codificación de tipos de equipo para Industria Articueros.	72
Tabla 7. Matriz de criticidad para equipos de Industria Articueros	77
Tabla 8. Resumen análisis de criticidad	80
Tabla 9. Resumen asignación de modelos de mantenimiento	83
Tabla 10. Resumen del plan estratégico de mantenimiento propuesto	88

LISTA DE FIGURAS

Pág.

Figura 1. Ubicación de la empresa Industria Articueros	22
Figura 2. Organigrama de la compañía	25
Figura 3. Conformación del Dpto. de Mantenimiento Ind. Articueros.....	26
Figura 4. Niveles de una planta industrial.....	39
Figura 5. Modelo de mantenimiento para equipos críticos	56
Figura 6. Modelo de mantenimiento para equipos prescindibles	56
Figura 7. Modelos de mantenimiento para equipos Importantes	57
Figura 8. Modelos de Mantenimiento Programados.	59
Figura 9. Mantenimientos Adicionales	60
Figura 10. Asignación de Modelos de Mantenimiento	61
Figura 11. Simbología de árboles de decisión	63
Figura 12. Paso 1, Elaboración de un árbol de decisión.....	64
Figura 13. Paso 2, Elaboración de un árbol de decisión.....	65
Figura 14. Paso 3, Elaboracion de un árbol de decisión.....	66
Figura 15. Estructura del código para equipos Industria Articueros.....	74
Figura 16. Árbol de decisión para Análisis de Criticidad de Equipos.....	79

LISTA DE ANEXOS

(Ver anexos adjuntos en el CD y pueden visualizarse en la Base de Datos de la Biblioteca UIS)

Anexo A. Organigrama Ind. Articueros.

Anexo B. Plan de mantenimiento actual Ind. Articueros.

Anexo C. Listado de Equipos Codificados Ind. Articueros.

Anexo D. Historial de fallas (2018) Industria Articueros.

Anexo E. Árbol de decisión para Análisis de Criticidad de Equipos.

Anexo F. Matriz de Criticidad de Equipos Industria Articueros.

Anexo G. Árbol de decisión asignación de modelos de mantenimiento.

Anexo H. Matriz de modelos de mantenimiento asignados

Anexo I. Plan Estratégico de Mantenimiento propuesto.

RESUMEN

TÍTULO: PROPUESTA DE UN PLAN ESTRATÉGICO DE MANTENIMIENTO PARA LA PLANTA DE PRODUCCIÓN DE CUERO SINTÉTICO DE LA EMPRESA INDUSTRIA ARTICUEROS S.A.*

AUTORES: ORLEY FELIPE LUGO MADRIGAL**
FELIX ORLANDO RUEDA VILLANOVA**

PALABRAS CLAVE: INVENTARIO, ÁREAS PRODUCTIVAS, CODIFICACIÓN INTELIGENTE, ANÁLISIS DE CRITICIDAD, CRITERIOS PONDERADOS, MODELOS DE MANTENIMIENTO, PLAN ESTRATÉGICO DE MANTENIMIENTO.

DESCRIPCIÓN:

Este trabajo busca desarrollar una propuesta de plan estratégico de mantenimiento para los equipos de la planta de fabricación de cuero sintético de la empresa Industria Articueros S.A., como una alternativa para disminuir los costos asociados con el mantenimiento mediante la eliminación de intervenciones innecesarias, previsión de fallas impactantes en la producción y mayor aprovechamiento de los equipos mediante el aumentando de la vida útil de sus componentes.

Al recopilar la información disponible del mantenimiento actual, se realiza un inventario de los equipos, clasificándolos por áreas productivas y estableciendo una codificación inteligente que facilite su identificación, ubicación y manejo de la información respectiva. Luego, se procede a realizar un análisis de criticidad, utilizando una matriz de criterios ponderados según su impacto en: Seguridad y Medio Ambiente, Calidad, Requerimientos de Operación, Producción, Intervalo de Fallas y Costos de Mantenimiento.

A partir de este punto, se asigna a cada equipo un modelo de mantenimiento de acuerdo a su criticidad, que garantice un manejo eficiente de los recursos e intervenciones relacionados, lo cual determinará el Plan Estratégico de Mantenimiento que se pretende proponer.

* Monografía de grado

**Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Especialización en Gerencia de Mantenimiento.
Director: Luis Julio Ávila Villamil.

ABSTRACT

TITLE: PROPOSAL OF A STRATEGIC MAINTENANCE PLAN FOR THE SYNTHETIC LEATHER PRODUCTION PLANT OF THE COMPANY INDUSTRIA ARTICUEROS S.A.*

AUTHORS: ORLEY FELIPE LUGO MADRIGAL**
FELIX ORLANDO RUEDA VILLANOVA**

KEYWORDS: INVENTORY, PRODUCTIVE AREAS, SMART CODIFICATION, CRITICALITY ANALYSIS, WEIGHTED CRITERIA, MAINTENANCE MODELS, STRATEGIC MAINTENANCE PLAN.

DESCRIPTION:

This work is intended to develop a proposal of a strategic maintenance plan for the equipment of the synthetic leather fabrication plant of the company Industria Articueros S.A., as an alternative to reduce the costs related with maintenance through the elimination of the unnecessary services, the foresight of production-impacting failures and making the most of their equipment by increasing the service life of their components.

By gathering the available information regarding the current maintenance of their equipment, an inventory is developed, sorting them by productive areas and establishing a smart codification to ease their identification, location and handling of the related information. Then, a criticality analysis is made, using a matrix with weighted criteria regarding their influence on: Safety and Environment, Quality, Operation Requirements, Production, Failure Frequency and Maintenance Costs.

From this point, each equipment is assigned with a maintenance model according to its criticality, to ensure an efficient management of the resources and services involved, which will determine the Strategic Maintenance Plan that this work is looking forward to propose.

*Monograph

**Physical-Mechanical Engineering Faculty. Maintenance Management Specialization.
Director: Luis Julio Ávila Villamil

INTRODUCCIÓN

INDUSTRIA ARTICUEROS S.A. es una empresa barranquillera, con capital 100% colombiano, fundada en 1985 y dedicada a la fabricación de telas vinílicas, también conocidas como cuero sintético, cuero artificial o polipiel, para las industrias del calzado, tapicería, editorial, marroquinería y aplicaciones industriales. Posicionada como una de las tres empresas más importantes en la fabricación de cuero sintético a nivel nacional, además de participar activamente en el mercado internacional con clientes en Ecuador, Panamá, República Dominicana, Cuba, Guatemala y Honduras. Esta participación representa el 18% de la producción total anual.

Actualmente la empresa cuenta con tres líneas de producción clasificadas en: dos líneas de recubrimiento con una capacidad de producción por línea de 800 m/h de productos compactos y espumados para aplicaciones en calzado, marroquinería y tapicería, y una calandra que puede producir hasta 1.000 m/h de tela vinílica compacta para distintos usos industriales como son vestidos impermeables, capas, lonas livianas, pisos para autos, pijamas de carro, espumas para bondeo, forros de lavadora entre otros. Todos estos equipos se encuentran agrupados en una planta cuya área ocupa 7.500 m².

El programa de mantenimiento que se viene ejecutando para estas líneas de producción está basado en una metodología netamente correctiva que en un pasado no reflejaba un impacto significativo en los costos de operación dada la juventud de los equipos, el buen desempeño en las ventas y la baja competencia en la industria del cuero sintético. Pero la realidad actual es diferente,

considerando la incursión de nuevos actores en el mercado que aumentan la competitividad de éste, disminuyendo la demanda del producto; sumado al tiempo de servicio acumulado por las máquinas, lo cual obliga a la empresa a contemplar metodologías alternativas que le permitan establecer un plan estratégico de mantenimiento para cada uno de los diferentes grupos de equipos con que cuenta, estableciendo criticidades y relevancias, con el fin de minimizar pérdidas o sobre costos que se generan como consecuencia de una gestión inadecuada del mantenimiento.

1. GENERALIDADES

1.1 DESCRIPCION DE LA EMPRESA

1.1.1 Reseña Histórica INDUSTRIA ARTICUEROS S.A. es una empresa fundada en el año 1985, en la ciudad de Barranquilla, con una plantilla actual de 150 personas, con capital humano 100% colombiano.

Su producción comenzó con una línea de recubrimiento de tres cabezas de aplicación, llamada TRANSFER #1, la cual fabricaba cuero sintético para la industria del calzado.

En el año 1994 se incursiona en el mercado con la venta de productos no espumados, enfocados a las áreas de aplicación como son vestidos industriales, lonas livianas, forros para lavadoras, etc. Con este fin se realizó la compra y puesta en servicio de una línea de producción a la cual se le llamó BEMA.

Pocos años después, en el año 1997, se aumenta la capacidad de producción de la compañía con la compra, instalación y puesta en servicio de una nueva línea de producción para realización de productos espumados. Esta línea de producción llamada TRANSFER #2 cuenta con cuatro (4) cabezas de aplicación, lo que permite la realización de productos enfocados a la tapicería.

Con el propósito de continuar siendo competitiva en el mercado local, nacional y extranjero, en el año 2012 recibe su certificación de calidad en sus procesos productivos bajo la norma ISO 9001-2008 y desde el año 2017 se encuentra certificada con la norma ISO 9001-2015.

1.1.2 Ubicación Geográfica Industria Articueros S.A. opera dentro de la Bodega 12, módulos 1, 2 y 3 de la Zona Franca Industrial de Barranquilla, en el departamento del Atlántico, ocupando un área de 7.500 m². (Ver Figura 1).

Figura 1. Ubicación de la empresa Industria Articueros



Fuente: <https://www.google.com/maps/place/Industria+Articueros+S.A>

1.1.3 Misión INDUSTRIA ARTICUEROS S.A. es una empresa dedicada a la fabricación de telas vinílicas para la industria del calzado, tapicería, marroquinería, editorial y aplicaciones industriales; contamos con un capital humano capacitado, motivado y comprometido con la organización; procesos debidamente orientados al servicio del cliente, y proveedores que nos garantizan buenas materias primas; aspectos claves que nos permiten ofrecerles a nuestros clientes productos de excelente calidad, acorde a sus necesidades y fabricados a través de procesos que ofrecen una alternativa conveniente para lograr un bajo impacto en el medio ambiente.

1.1.4 Visión Alcanzar a mediano plazo un mejor posicionamiento de nuestros productos en el mercado local y tener una mayor participación a nivel internacional siendo a su vez una empresa líder e innovadora en el sector de las telas vinílicas, contando con un capital humano capacitado y altamente comprometido con la organización, y procesos normalizados orientados siempre al servicio de nuestros clientes; que nos permitan lograr y sostener un rentable crecimiento para satisfacer las necesidades de los clientes, la organización y la sociedad.

1.1.5 Política de Calidad Industria Articueros S.A. tiene como política de calidad satisfacer a nuestros clientes ofreciéndoles telas vinílicas de excelente calidad que cumplan con sus necesidades y expectativas; y la mejora continua de nuestros productos, procesos, y sistema de gestión de calidad que nos permita incrementar nuestra participación en el mercado para asegurar un desarrollo rentable y sostenible.

1.1.6 Presencia en el mercado Industria Articueros es una compañía que vende sus productos en el mercado local, nacional e internacional.

Las ventas nacionales representan un 53% mientras que las exportaciones representan el 47% de las ventas totales del año.

La compañía cuenta con un aproximado de 293 clientes de los cuales 288 son clientes nacionales y los 5 restantes son clientes de Centro y Suramérica realizando exportaciones a países como Perú, Ecuador, República Dominicana, Panamá y Cuba.

A nivel nacional se tiene cobertura en ciudades de fácil acceso como son:

- En la costa: Ciudades principales y algunos municipios.

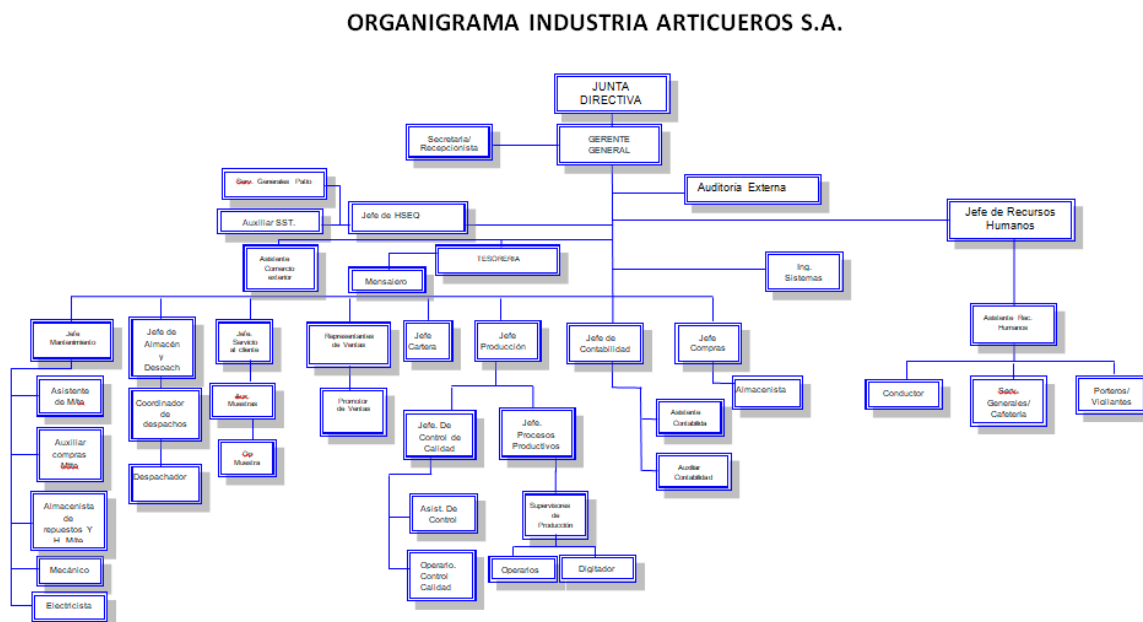
- En el Oriente: Cúcuta, Bucaramanga y Girón.
- En el interior del país: otras ciudades y municipios como Medellín, Itagüi, La estrella, Copacabana, Girardot, Bogotá, Tunja, Villavicencio, Cali, Pereira, Armenia, Manizales, Ibagué, Palmira, Tuluá, Cartago, Buenaventura, Popayán, Quibdó, Jumbo, Pasto, Ipiales y Florencia.

1.1.7 Organigrama Industria Articuleros está compuesta por una Junta Directiva a la que le reporta un Gerente General. Mensualmente se realizan unas auditorías a los inventarios por parte de una empresa externa cuyo reporte es recibido directamente por el gerente general.

Sus procesos están conformados por: un dpto. de Ventas, Servicio al Cliente, Producción, Logística, Mantenimiento, Sistemas, Contabilidad, Compras y Recurso Humano. Cada uno de estos departamentos cuenta a su vez con personal que reporta a los jefes, responsables de cada área.

En la Figura 2 se muestra el organigrama de la empresa. Para facilitar su visualización en detalle, ver el Anexo A.

Figura 2. Organigrama de la compañía

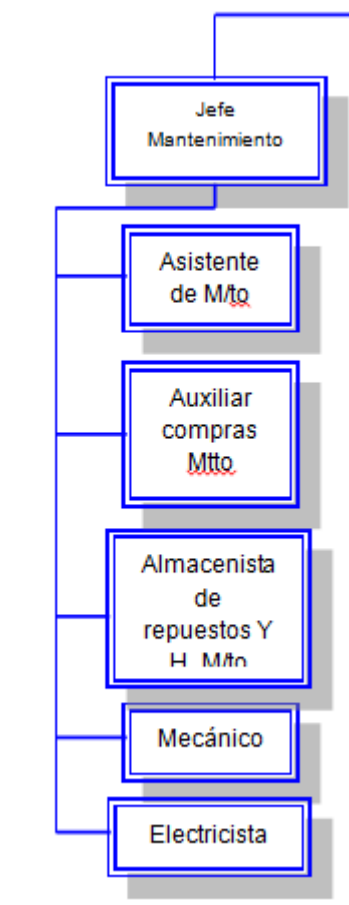


Fuente: Organigrama Industria Articueros S.A.

1.1.8 Departamento de Mantenimiento El departamento de mantenimiento está conformado por un jefe de mantenimiento, un asistente, un auxiliar de compras de suministros y repuestos, un auxiliar de almacén de repuestos, tres mecánicos, dos eléctricos y 4 estudiantes en práctica.

En la Figura 3 se observa la conformación del departamento de mantenimiento.

Figura 3. Conformación del Dpto. de Mantenimiento Ind. Articueros.



Fuente: Organigrama Industria Articueros S.A.

1.1.9 Plan de Mantenimiento Actual Industria Articueros, con el fin de cumplir un requisito para la certificación ISO 9001-2008, desarrolló un plan básico de rutinas de mantenimiento.

Este plan fue desarrollado con base en actividades genéricas sin tener en cuenta la criticidad de los equipos, asumiendo que todos ellos en la planta tienen la misma importancia.

Actualmente la ejecución de las rutinas de mantenimiento no se lleva a cabo en campo; sin embargo, se diligencian los formatos de ejecución para fines de cumplimiento de la norma de certificación.

En la revisión del plan de mantenimiento desarrollado en la empresa se observó que la mayoría de las actividades planificadas son correctivas; es decir, que se espera la aparición de alguna anomalía en la máquina para programar una intervención; Así mismo, la empresa lleva a cabo una parada de planta de fin de año donde se ejecutan una serie de tareas específicas sobre algunos equipos de las líneas de producción las cuales no están formalizadas en un plan de mantenimiento como tal, sino que son programadas con base en la experiencia del Jefe de Mantenimiento.

En la Tabla 1 se puede observar un resumen del plan de mantenimiento implementado actualmente en la compañía. Además, en el Anexo B se muestra en detalle los equipos y el respectivo tipo de mantenimiento aplicado.

Tabla 1. Resumen del plan de mantenimiento actual Ind. Articuleros.

TIPO DE MANTENIMIENTO	CANT. DE EQUIPOS
Preventivo	10
Correctivo	119
TOTAL EQUIPOS	129

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Hoy en día, la alta competitividad y las exigencias del mercado, obligan a las empresas a producir de manera óptima, controlando sus costos operativos, administrativos y de mantenimiento, evitando despilfarros o sobre costos, pero sin amenazar la calidad. Aún más allá, se debe buscar la manera de producir con la misma calidad y rapidez, pero a menor costo, para buscar la posibilidad de reducir precios en el mercado, o de invertir estos ahorros en formación del personal, innovación o adquisición de nuevas tecnologías, siempre pensando en ofrecer un factor diferenciador, sea precio, calidad, tecnología o cualquier otro valor agregado que garantice una ventaja competitiva, tanto en el mercado local, como internacional.

En el caso de Industria Articuleros, la alta competencia del mercado es un factor amenazador, que obliga a la compañía a buscar estrategias que le permitan mantenerse vigente. El mantenimiento de sus equipos es un factor que amenaza fuertemente su competitividad, dada la obsolescencia de los mismos y los altos costos que éste involucra. En el último año (2018) los costos de mantenimiento fueron por un valor de \$725.267.606, lo cual representa el **1.8 %** de las ventas o de lo facturado por la compañía.

Es por esta razón que se hace necesario para la compañía prestarle más atención a este aspecto y buscar estrategias que le permitan minimizar estos costos, ya que actualmente el mantenimiento no se viene manejando con un Plan que le garantice optimizar los costos invertidos para este fin, sino por el contrario, se maneja de una forma bastante anticuada, netamente correctiva, con una parada anual de toda la planta para ejecutar todo el mantenimiento preventivo que sea posible, sin llevar control de los gastos, sino asumiendo los mismos costos anualmente, dejando de lado la posibilidad de diferenciar los tipos de mantenimiento por equipo o tratar de aprovecharlos al máximo alargando su vida útil.

Teniendo en cuenta esta situación, se pretende proponer una metodología para establecer un Plan Estratégico de Mantenimiento, que clasifique los diferentes equipos según su criticidad y establezca modelos de mantenimiento adecuados para cada grupo, garantizando que se invierta el dinero, personal y recursos necesarios y se realicen las intervenciones netamente necesarias, lo cual muy seguramente se va a reflejar en los costos invertidos en estos equipos en términos de mano de obra, repuestos (inventario), recursos, pérdidas por fallas y/o intervenciones, tanto innecesarias como las no planeadas.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo General Proponer un plan estratégico de mantenimiento para la planta de producción de cuero sintético de la empresa INDUSTRIA ARTICUEROS S.A.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Realizar una clasificación taxonómica de los equipos, categorizarlos por áreas productivas y codificarlos para la generación de una base de datos ordenada.
- Establecer la criticidad de cada uno de los equipos de la planta dependiendo de su impacto en la producción, costos, seguridad y medio ambiente (Análisis de Criticidad).
- Determinar el modelo de mantenimiento más apropiado para cada grupo de equipos mediante la metodología del árbol lógico de decisiones.

1.4 JUSTIFICACION DEL PROYECTO

El uso de pieles y cuero en la industria de la moda y la tapicería viene siendo altamente cuestionado durante los últimos años, dado el auge que ha tenido la concientización hacia el cuidado del medio ambiente y la fauna. Y es que cuando se habla del uso de pieles de pelo o cuero, ambos involucran dos situaciones bastante nocivas: crueldad animal y generación de residuos nocivos para el ambiente, debido a los procesos por los que tienen que pasar ambas pieles antes de su uso. Es por esto que importantes marcas de moda como Armani, HUGO BOSS y más recientemente Gucci, han tomado la decisión de excluir el uso de piel animal de sus diseños, aun cuando éstas siguen siendo asociadas con productos de alta calidad, exclusividad y buen gusto.¹

Sin embargo, existen en el mercado materiales artificiales de gran calidad que suplen a la perfección los beneficios que pueda aportar la piel a un diseño, es aquí donde aparece el cuero sintético, que si bien no es un producto nuevo, (ya que fue empezado a producir en Alemania desde el siglo XIX), ha tenido un gran auge en su producción y demanda gracias a la creciente concientización mundial en cuanto al cuidado del medio ambiente y al concepto de sostenibilidad que vienen tratando de implementar las empresas.²

A pesar del crecimiento que ha tenido el mercado del cuero sintético en las últimas décadas, también se ha visto impactado por un competidor bastante agresivo: los productos asiáticos; que, a pesar de la baja calidad de sus productos, amenazan fuertemente el mercado con sus bajos precios y disponibilidades inmediatas. Es por eso que los productores locales se han visto en la obligación de optimizar sus procesos para ofrecer un producto con un factor altamente diferenciador en

¹ FUR FREE ALLIANCE. Gucci announces fur-free policy! [En línea]. <https://www.furfreealliance.com/gucci-announces-fur-free-policy/>. [Citado en 7 de abril de 2019].

² ALBA Pamela. Hablemos del uso de cuero y piel, dentro de la industria de la moda. [En línea]. <https://jk.edu.mx/hablemos-del-uso-de-cuero-y-piel-dentro-de-la-industria-de-la-moda/>. [Citado en 7 de abril de 2019].

términos de calidad y reducir al máximo las pérdidas y costos en sus operaciones, entre otros, relacionados con inventarios y mantenimiento.

Este proyecto pretende proponer un plan estratégico de mantenimiento para la planta de producción de la empresa INDUSTRIA ARTICUEROS S.A. con el fin de definir los modelos y tipos de mantenimiento a aplicar a cada grupo de equipos para identificar actividades de monitoreo y preventivas, reduciendo de esta forma las actividades reactivas que tanto impactan en los costos del producto (como son las pérdidas de material y tiempos muertos de producción por paradas inesperadas, entre otros).

2. MARCO TEORICO

Se define habitualmente mantenimiento como el conjunto de técnicas destinado a conservar equipos e instalaciones en servicio durante el mayor tiempo posible (buscando la más alta disponibilidad) y con el máximo rendimiento.

A lo largo del proceso industrial vivido desde finales del siglo XIX, la función de mantenimiento ha pasado diferentes etapas. En los inicios de la revolución industrial, los propios operarios se encargaban de las reparaciones de los equipos. Cuando las máquinas se fueron haciendo más complejas y la dedicación a tareas de reparación aumentaba, empezaron a crearse los primeros departamentos de mantenimiento, con una actividad diferenciada de los operarios de producción. Las tareas en estas dos épocas eran básicamente correctivas, dedicando todo su esfuerzo a solucionar las fallas que se producían en los equipos.

A partir de la Primera Guerra Mundial, y, sobre todo, de la Segunda, aparece el concepto de fiabilidad, y los departamentos de mantenimiento buscan no sólo solucionar las fallas que se producen en los equipos, sino, sobre todo, prevenirlas, actuar para que no se produzcan. Esto supone crear una nueva figura en los departamentos de mantenimiento: personal cuya función es estudiar qué tareas de mantenimiento deben realizarse para evitar las fallas. El personal indirecto, que no está involucrado directamente en la realización de las tareas, aumenta, y con él los costos de mantenimiento. Pero se busca aumentar y fiabilizar la producción, evitar las pérdidas por averías y sus costos asociados. Aparece el Mantenimiento Preventivo, el Mantenimiento Predictivo, el Mantenimiento Proactivo, la Gestión de Mantenimiento Asistida por Ordenador, y el Mantenimiento basado en Fiabilidad (RCM). El RCM como estilo de gestión de mantenimiento, se basa en el estudio de los equipos, en el análisis de modos de fallo y en la aplicación de técnicas

estadísticas y tecnología de detección. Se podría decir que RCM es una filosofía de mantenimiento básicamente tecnológica.

Paralelamente, sobre todo a partir de los años 80, comienza a introducirse la idea de que puede ser rentable volver de nuevo al modelo inicial: que los operarios de producción se ocupen del mantenimiento de los equipos. Se desarrolla el TPM, o Mantenimiento Productivo Total, en el que algunas de las tareas normalmente realizadas por el personal de mantenimiento son ahora realizadas por operarios de producción. Esas tareas “transferidas” son trabajos de limpieza, lubricación, ajustes, reaprietes de tornillos y pequeñas reparaciones. Se pretende conseguir con ello que el operario de producción se implique más en el cuidado de la máquina, siendo el objetivo último de TPM conseguir cero averías. Como filosofía de mantenimiento, TPM se basa en la formación, motivación e implicación del equipo humano, en lugar de la tecnología.

TPM y RCM no son formas opuestas de dirigir el mantenimiento, sino que ambas conviven en la actualidad en muchas empresas. En algunas de ellas, RCM impulsa el mantenimiento, y con esta técnica se determinan las tareas a efectuar en los equipos; después, algunas de las tareas son transferidas a producción, en el marco de una política de implantación de TPM. En otras plantas, en cambio, es la filosofía TPM la que se impone, siendo RCM una herramienta más para la determinación de tareas y frecuencias en determinados equipos.

Por desgracia, en otras muchas empresas ninguna de las dos filosofías triunfa. El porcentaje de empresas que dedican todos sus esfuerzos a mantenimiento correctivo y que no se plantea si esa es la forma en la que se obtiene un máximo beneficio (objetivo último de la actividad empresarial) es muy alto. Son muchos los responsables de mantenimiento, tanto de empresas grandes como pequeñas, que creen que estas técnicas están muy bien en el campo teórico, pero que en su planta no son aplicables: parten de la idea de que la urgencia de las reparaciones

es la que marca y marcará siempre las pautas a seguir en el departamento de mantenimiento.³

Se ve entonces como las estrategias de mantenimiento contribuyen enormemente a la sostenibilidad de una organización, pero esta convicción debe empezar desde el nivel estratégico o gerencial de la misma. Mejía, por ejemplo, sugiere un modelo gerencial para la gestión de mantenimiento preventivo en una empresa transportadora, con el fin de eliminar retrasos e incumplimientos a sus clientes debido a la disponibilidad de sus equipos, así como de reducir las no conformidades por fallas inesperadas durante la operación que interrumpen el proceso productivo de sus clientes, situaciones que ponen en riesgo su competitividad en un mercado que es bastante exigente⁴; un fin o propósito similar que busca ser aplicado a la empresa en estudio.

³ GARCÍA GARRIDO, Santiago. Organización y Gestión Integral de Mantenimiento. Madrid, España: Ediciones Díaz de Santos, 2003. p. 1-2. ISBN-10: 84-7978-548-9

⁴ MEJIA ACEVEDO, Ramiro Andrés. Propuesta de un Modelo Gerencial para la Gestión del Mantenimiento Preventivo de la Flota Vehicular en la Transportadora COVOLCO. Universidad Industrial de Santander, Trabajo de Grado, 2017.

3. MARCO CONCEPTUAL

3.1 ¿QUE ES MANTENIMIENTO?

Se define habitualmente mantenimiento como el conjunto de técnicas destinado a conservar equipos e instalaciones en servicio durante el mayor tiempo posible (buscando la más alta disponibilidad) y con el máximo rendimiento.

3.2 EVOLUCIÓN DEL MANTENIMIENTO

A lo largo del proceso industrial vivido desde finales del siglo XIX, la función de mantenimiento ha pasado diferentes etapas. En los inicios de la revolución industrial, los propios operarios se encargaban de las reparaciones de los equipos. Cuando las máquinas se fueron haciendo más complejas y la dedicación a tareas de reparación aumentaba, empezaron a crearse los primeros departamentos de mantenimiento, con una actividad diferenciada de los operarios de producción. Las tareas en estas dos épocas eran básicamente correctivas, dedicando todo su esfuerzo a solucionar las fallas que se producían en los equipos.

A partir de la Primera Guerra Mundial, y, sobre todo, de la Segunda, aparece el concepto de fiabilidad, y los departamentos de mantenimiento buscan no sólo solucionar las fallas que se producen en los equipos, sino, sobre todo, prevenirlas, actuar para que no se produzcan. Esto supone crear una nueva figura en los departamentos de mantenimiento: personal cuya función es estudiar qué tareas de mantenimiento deben realizarse para evitar las fallas. El personal indirecto, que no está involucrado directamente en la realización de las tareas, aumenta, y con él los costos de mantenimiento. Pero se busca aumentar y fiabilizar la producción, evitar las pérdidas por averías y sus costos asociados. Aparece el Mantenimiento Preventivo, el Mantenimiento Predictivo, el Mantenimiento Proactivo, la Gestión de Mantenimiento Asistida por Ordenador, y el Mantenimiento basado en Fiabilidad

(RCM). El RCM como estilo de gestión de mantenimiento, se basa en el estudio de los equipos, en el análisis de modos de fallo y en la aplicación de técnicas estadísticas y tecnología de detección. Se podría decir que RCM es una filosofía de mantenimiento básicamente tecnológica.

Paralelamente, sobre todo a partir de los años 80, comienza a introducirse la idea de que puede ser rentable volver de nuevo al modelo inicial: que los operarios de producción se ocupen del mantenimiento de los equipos. Se desarrolla el TPM, o Mantenimiento Productivo Total, en el que algunas de las tareas normalmente realizadas por el personal de mantenimiento son ahora realizadas por operarios de producción. Esas tareas “transferidas” son trabajos de limpieza, lubricación, ajustes, reaprietes de tornillos y pequeñas reparaciones. Se pretende conseguir con ello que el operario de producción se implique más en el cuidado de la máquina, siendo el objetivo último de TPM conseguir cero averías. Como filosofía de mantenimiento, TPM se basa en la formación, motivación e implicación del equipo humano, en lugar de la tecnología.⁵

3.3 ANALISIS DE EQUIPOS

Hoy por hoy no es justificable pensar que toda una planta debe estar sujeta a un tipo de mantenimiento (por ejemplo, correctivo, o preventivo, etc.). Cada equipo ocupa una posición distinta en el proceso industrial, y tiene unas características propias que lo hacen diferente del resto, incluso de otros equipos similares. Esto quiere decir que una bomba o un motor pueden necesitar de unas tareas de mantenimiento, mientras que otra bomba y otro motor similares, pueden necesitar de otro tipo de tareas muy distintas. Si se quiere optimizar, ya no es suficiente con pensar en el tipo de instalación o en las características del equipo. Es necesario tener en cuenta toda una serie de factores. Como el costo de una parada de

⁵ GARCÍA GARRIDO, Santiago. Organización y Gestión Integral de Mantenimiento. Madrid, España: Ediciones Díaz de Santos, 2003. p. 1-2.

producción, su influencia en la seguridad. El costo de una reparación, etc., que van a determinar las tareas de mantenimiento más convenientes para cada equipo.

Planteado de esta forma, el trabajo previo que se debe realizar en una planta, antes de elaborar el Plan de Mantenimiento, es muy grande y muy importante. Se debe estudiar cada uno de los equipos que constituyen la planta con cierto nivel de detalle, determinando qué tareas son rentables y cuáles no lo son. En una planta que posea cientos o miles de equipos, este trabajo puede parecer inmenso e interminable, pero no es así. En una planta de tamaño medio, con algo menos de mil equipos, este trabajo puede suponer entre 4 y 6 semanas de un técnico que posea la formación adecuada. A la vez que se realiza este análisis, se obtendrá una serie de información adicional:

- Datos fundamentales para la elaboración del presupuesto anual de mantenimiento (repuestos y consumibles, importe de los subcontratos, trabajos durante las *paradas programadas*, estimación de la carga de mano de obra en horas/hombre).
- Repuesto que se necesitan en stock en la planta.
- Ayuda para la elaboración de Plan de Formación.
- Subcontratos necesarios con los fabricantes de algunos equipos.

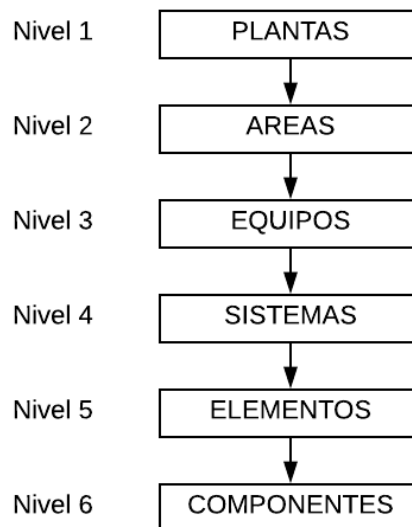
3.4 LISTA DE EQUIPOS

El primer problema que se plantea al intentar realizar un Análisis de Equipos es elaborar una lista ordenada de los equipos que hay en ella. Realizar un inventario de los activos de la planta es algo más complejo de lo que pueda parecer en un primer momento.

Una simple lista de todos los motores, bombas, sensores, etc., de la planta no es útil ni práctica. Una lista de estas características no es más que una lista de datos, no es información. Si se quiere elaborar una lista de equipos realmente útil debe expresarse esta lista en forma de estructura arbórea, en la que se indiquen las relaciones de dependencia de cada uno de los ítems con los restantes.

En una planta industrial se pueden distinguir los siguientes niveles, a la hora de elaborar esta estructura arbórea:

Figura 4. Niveles de una planta industrial



Fuente: GARCÍA GARRIDO, Santiago. Organización y Gestión Integral de Mantenimiento. Madrid, España: Ediciones Díaz de Santos, 2003. p. 8, ISBN-10: 84-7978-548-9.

Una empresa puede tener una o varias plantas de producción, cada una de las cuales puede estar dividida en diferentes zonas o áreas funcionales. Estas áreas pueden tener en común la similitud de sus equipos, una línea de producto determinada o una función. Cada una de estas áreas estará formada por un conjunto de equipos, iguales o diferentes, que tienen una entidad propia. Cada equipo, a su vez, está dividido en una serie de sistemas funcionales, que se ocupan de una misión dentro de él. Los sistemas, a su vez, se descomponen en elementos (el motor de una bomba de lubricación será un elemento). Los componentes son partes más pequeñas de los elementos, y son las partes que habitualmente se sustituyen en una reparación.

Se va a definir en primer lugar qué se entiende por cada uno de estos términos:

- *Planta:* Centro de trabajo. Ej.: Empresa X, Planta de Barcelona.
- *Área:* Zona de la planta que tiene una característica común (centro de costo, similitud de equipos, línea de producto, función). Ej.: Área de Servicios Generales, Área hornos, Área Línea 1.
- *Equipo:* Cada uno de las unidades productivas que componen el área, que constituyen un conjunto único.
- *Sistema:* Conjunto de elementos que tienen una función común dentro de un equipo.
- *Elemento:* cada uno de las partes que integran un sistema. Ej.: el motor de la bomba de lubricación de un compresor. Es importante diferenciar elemento y equipo. Un equipo puede estar conectado o dar servicio a más de un equipo. Un elemento, en cambio, sólo puede pertenecer a un equipo. Si el ítem que se está tratando de identificar puede estar conectado o dar servicio simultáneamente a más de un equipo, será un equipo, y no un elemento. Así, si una bomba de lubricación sólo lubrica un compresor, se tratará de un elemento del compresor. Si, en cambio, se trata de una bomba que envía aceite de lubricación a varios compresores (sistema de lubricación

centralizado), se tratará en realidad de otro equipo, y de un elemento de alguno de ellos.

- *Componentes*: partes en que puede subdividirse un elemento. Ej.: Rodamiento de un motor, junta rascadora de un cilindro neumático.

3.5 CODIFICACIÓN DE EQUIPOS

Una vez elaborada la lista de equipos es muy importante identificar cada uno de los equipos con un código único. Esto facilita su localización, su referencia en órdenes de trabajo, en planos, permite la elaboración de registros históricos de fallos e intervenciones, permite el cálculo de indicadores referidos a áreas, equipos, sistemas, elementos, etc., y permite el control de costos.

Básicamente existen dos posibilidades a la hora de codificar:

- *Sistemas de codificación no significativos*: son sistemas que asignan un número o un código correlativo a cada equipo, pero el número o código no aporta ninguna información adicional.
- *Sistemas de codificación significativos o inteligentes*, en el que el código asignado aporta información.

La ventaja del empleo de un sistema de codificación no significativo, de tipo correlativo, es la simplicidad y la brevedad del código. Con apenas 4 dígitos es posible codificar la mayoría de las plantas industriales. La desventaja es la dificultad para ubicar una máquina a partir de su código: es necesario tener siempre a mano una lista para poder relacionar cada equipo con su código. Eso, o tener una memoria prodigiosa.

Un sistema de codificación significativo aporta valiosa información sobre el equipo al que se hace referencia: tipo de equipo, área en el que está ubicada, familia a la que pertenece, y toda aquella información adicional que quiera incorporarse al

código. El problema es que al añadir más información el código aumenta de tamaño.

El empleo de sistemas correlativos es muy sencillo. Se estudiarán los sistemas de codificación significativos:

3.5.1 Información útil que debe contener el código de un ítem La información que debería contener el código de un equipo debería ser el siguiente:

- Planta a la que pertenece.
- Área al que pertenece dentro de la planta.
- Tipo de equipo.

Los elementos que forman parte de un equipo deben contener información adicional:

- Tipo de elemento.
- Equipo al que pertenecen.
- Dentro de ese equipo, sistema en el que están incluidos.
- Familia al que pertenece el elemento. La clasificación en familias es muy útil, ya que nos permite hacer listados de elementos. Se puede encontrar una lista de familias en que pueden clasificarse los elementos más adelante.

Una vez elaborada la lista de equipos, y teniendo en cuenta todas las consideraciones anteriores, es posible abordar la tarea de codificación, fijando los criterios que la regirán.

3.6 TIPOS DE MANTENIMIENTO

Una vez realizada la lista de equipos, desglosados incluso en los elementos que los componen e identificado cada ítem con un código único que permite referenciarlo, la siguiente tarea que se deberá abordar es la de decidir cómo se va a mantener cada uno de esos equipos.

Tradicionalmente, se han distinguido 5 tipos de mantenimiento, que se diferencian entre sí por el carácter de las tareas que incluyen:

DIVISION CLÁSICA DE TIPOS DE MANTENIMIENTO

- Mantenimiento correctivo.
- Mantenimiento preventivo.
- Mantenimiento predictivo.
- Mantenimiento *hard time* o cero horas.
- Mantenimiento en uso.

3.6.1 Mantenimiento correctivo Es el conjunto de tareas destinadas a corregir los defectos que se van presentando en los distintos equipos que son comunicados al departamento de mantenimiento por los usuarios de los mismos.

3.6.2 Mantenimiento preventivo Es el mantenimiento que tiene por misión mantener un nivel de servicio determinado en los equipos, programando las correcciones de sus puntos vulnerables en el momento más oportuno.

3.6.3 Mantenimiento predictivo Es el que persigue conocer e informar permanentemente del estado y operatividad de las instalaciones mediante el conocimiento de los valores de determinadas variables, representativas de tal estado y operatividad. Para aplicar este mantenimiento es necesario identificar variables físicas (temperatura, vibración, consumo de energía, etc.) cuya variación sea indicativa de problemas que puedan estar pareciendo en el equipo. Es el tipo de mantenimiento más tecnológico pues requiere de medios técnicos avanzados, y de fuertes conocimientos matemáticos, físicos y técnicos.

3.6.4 Mantenimiento cero horas Es el conjunto de tareas cuyo objetivo es revisar los equipos a intervalos programados bien antes de que aparezca ningún fallo, bien cuando la fiabilidad del equipo ha disminuido apreciablemente, de manera que resulta arriesgado hacer previsiones sobre su capacidad productiva. Dicha revisión consiste en dejar el equipo a *cero horas* de funcionamiento, es decir, como si el equipo fuera nuevo. En estas revisiones se sustituyen o se reparan todos los elementos sometidos a desgaste. Se pretende asegurar, con gran probabilidad, un tiempo de buen funcionamiento fijado de antemano.

3.6.5 Mantenimiento en uso Es el mantenimiento básico de un equipo realizado por los usuarios del mismo. Consiste en una serie de tareas elementales (toma de datos, inspecciones visuales, limpieza, lubricación, reapriete de tornillos) para las que no es necesario una gran formación, sino tan solo un entrenamiento breve. Este tipo de mantenimiento es la base del TPM (Total Productive Maintenance, Mantenimiento Producto Total).

3.6.6 Los tipos de mantenimiento no son directamente aplicables Esta división de Tipos de Mantenimiento presenta el inconveniente de que cada equipo necesita una mezcla de cada uno de esos tipos, de manera que no se puede pensar en aplicar uno solo de ellos a un equipo en particular.

Así, en un motor determinado se estará pendiente de su lubricación (mantenimiento preventivo periódico), si lo requiere, se medirán sus vibraciones o sus temperaturas (mantenimiento predictivo), quizás se le haga una puesta a punto anual (puesta a cero) y se reparen las averías que vayan surgiendo (mantenimiento correctivo). La mezcla más idónea de todos estos tipos de mantenimiento nos la dictarán estrictas razones ligadas al costo de las pérdidas de producción en una parada de ese equipo, al costo de reparación, al impacto ambiental, a la seguridad y a la calidad del producto o servicio, entre otras.

3.7 MODELOS DE MANTENIMIENTO

El inconveniente, pues, de la división anterior es que no es capaz de dar una respuesta clara a esta pregunta:

¿Cuál es el mantenimiento que debo aplicar a cada uno de los equipos que componen una planta concreta?

Para dar respuesta a esta pregunta es conveniente definir el concepto de *modelo de mantenimiento*. Un *modelo de mantenimiento* es una mezcla de los anteriores tipos de mantenimiento en unas proporciones determinadas, y que responde adecuadamente a las necesidades de un equipo concreto. Se puede pensar que cada equipo necesitará una mezcla distinta de los diferentes tipos de mantenimiento, una mezcla determinada de tareas, de manera que los modelos de mantenimiento posibles serán tantos como equipos puedan existir. Pero eso no es del todo correcto. Pueden identificarse claramente 4 de estas mezclas,

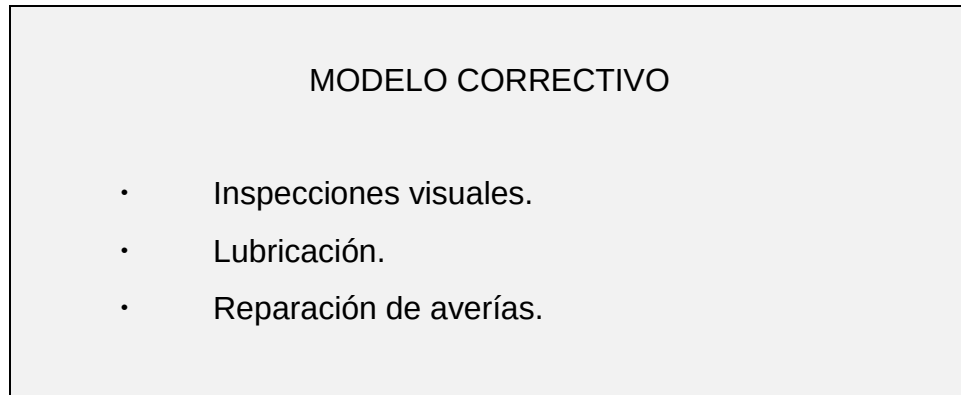
complementadas con otros dos tipos de tareas adicionales, según se verá más adelante.

3.7.1 Modelos de mantenimiento posibles Cada uno de los modelos que se exponen a continuación incluyen varios de los tipos anteriores de mantenimiento, en la proporción que se indica. Además, todos ellos incluyen dos actividades: inspecciones visuales y lubricación. Esto es así porque está demostrado que la realización de estas dos tareas en cualquier equipo es rentable. Incluso en el modelo más sencillo (Modelo Correctivo), en el que prácticamente se abandona el equipo a su suerte y no se ocupan de él hasta que se produce una avería, es conveniente observarlo al menos una vez al mes, y lubricarlo con productos adecuados a sus características. Las inspecciones visuales prácticamente no cuestan dinero (estas inspecciones estarán incluidas en unas gamas en la que se tendrá que observar otros equipos cercanos, por lo que no significará que se tenga que destinar recursos expresamente para esa función). Esta inspección permitirá detectar averías de manera precoz, y su resolución generalmente será más barata cuanto antes se detecte el problema.

La lubricación siempre es rentable. Aunque sí representa un costo (lubricante y la mano de obra de aplicarlo), en general es tan bajo que está sobradamente justificado, ya que una avería por una falta de lubricación implicará siempre un gasto mayor que la aplicación del lubricante correspondiente.

Hecha esta puntualización, se pueden definir ya los diversos modelos de mantenimiento posibles.

3.7.1.1 Modelo Correctivo Este modelo es el más básico, e incluye, además de las inspecciones visuales y la lubricación mencionadas anteriormente, la reparación de averías que surjan. Es aplicable, como será visto, a equipos con el más bajo nivel de criticidad, cuyas averías no suponen ningún problema, ni económico ni técnico. En este tipo de equipos no es rentable dedicar mayores recursos ni esfuerzos.



3.7.1.2 Modelo Condicional Incluye las actividades del modelo anterior, y además, la realización de una serie de pruebas o ensayos que condicionarán una actuación posterior. Si tras las pruebas se descubre una anomalía, se programará una intervención; si por el contrario, todo es correcto, no se actuará sobre el equipo.

Este modelo de mantenimiento es válido en aquellos equipos de poco uso, o equipos que a pesar de ser importantes en el sistema productivo su probabilidad de fallo es baja.

MODELO CONDICIONAL

- Inspecciones visuales.
- Lubricación.
- Mantenimiento Condicional.
- Reparación de averías.

3.7.1.3 Modelo Sistemático Este modelo incluye un conjunto de tareas que se realizan sin importar cuál es la condición del equipo; Se realizarán, además, algunas mediciones y pruebas para decidir si se realizan otras tareas de mayor envergadura; y, por último, se resuelven las averías que surjan. Es un modelo de gran aplicación en equipos de disponibilidad media, de cierta importancia en el sistema productivo y cuyas averías causan algunos trastornos. Es importante señalar que un equipo sujeto a un modelo de mantenimiento sistemático no tiene por qué tener todas sus tareas con una periodicidad fija. Simplemente, un equipo con este modelo de mantenimiento puede tener tareas sistemáticas, que se realicen sin importar el tiempo que lleva funcionando o el estado de los elementos sobre los que se trabaja. Es la principal diferencia con los dos modelos anteriores, en los que para realizar una tarea debe presentarse algún síntoma de fallo.

Un ejemplo de equipo sujeto a este modelo de mantenimiento es un reactor discontinuo, en el que las materias que deben reaccionar se introducen de una sola vez, tiene lugar la reacción, y posteriormente se extrae el producto de la reacción, antes de realizar una nueva carga. Independientemente de que este reactor esté duplicado o no cuando está en operación debe ser fiable, por lo que se justifica realizar una serie de tareas con independencia de que se haya presentado algún síntoma de fallo.

Otros ejemplos:

- El tren de aterrizaje de un avión.
- El motor de un avión.

MODELO SISTEMÁTICO

- Inspecciones visuales.
- Lubricación.
- Mantenimiento Preventivo Sistemático.
- Mantenimiento Condicional.
- Reparación de averías.

3.7.1.4 Modelo de Alta Disponibilidad Es el modelo más exigente y exhaustivo de todos. Se aplica en aquellos equipos que bajo ningún concepto pueden sufrir una avería o un mal funcionamiento. Son equipos a los que se exige, además, unos niveles de disponibilidad por encima del 90%. La razón de un nivel tan alto de disponibilidad es, en general, el alto costo en producción que tiene una avería. Con una exigencia tan alta no hay tiempo para el mantenimiento que requiera parada del equipo (correctivo, preventivo sistemático). Para mantener estos equipos es necesario emplear técnicas de mantenimiento predictivo, que nos permitan conocer el estado del equipo con él en marcha, y a paradas programadas, que supondrán una revisión general completa, con una frecuencia generalmente anual o superior. En esta revisión se sustituyen, en general, todas aquellas piezas sometidas a desgaste o con probabilidad de fallo a lo largo del año (piezas con una vida inferior a dos años). Estas revisiones se preparan con gran antelación, y no tiene por qué ser exactamente iguales año tras año.

Como quiera que en este modelo no se incluye el mantenimiento correctivo, es decir, el objetivo que se busca en este equipo es *cero averías*, en general no hay tiempo para subsanar convenientemente las incidencias que ocurren, siendo conveniente en muchos casos realizar reparaciones rápidas provisionales que permitan mantener el equipo en marcha hasta la próxima revisión general. Por tanto, la *puesta a cero* anual debe incluir la resolución de todas aquellas reparaciones provisionales que hayan tenido que efectuarse a lo largo del año.

Algunos ejemplos de este modelo de mantenimiento pueden ser los siguientes:

- Turbinas de producción de energía eléctrica.
- Hornos de elevada temperatura, en los que una intervención supone enfriar y volver a calentar el horno, con el consiguiente gasto energético y con las pérdidas de producción que trae asociado.
- Equipos rotativos que trabajan de forma continua.
- Depósitos reactores o tanques de reacción no duplicados, que sean la base de la producción y que deban mantenerse en funcionamiento el máximo número de horas posible.

MODELO DE ALTA DISPONIBILIDAD

- Inspecciones visuales.
- Lubricación.
- Reparación de averías.
- Mantenimiento Condicional.
- Mantenimiento Sistemático.
- Puesta a cero periódica, en fecha determinada (Parada).

3.7.2 Otras consideraciones En el diseño del Plan de Mantenimiento, deben tenerse en cuenta dos consideraciones muy importantes que afectan a algunos equipos en particular. En primer lugar, algunos equipos están sometidos a normativas legales que regulan su mantenimiento, obligando a que se realicen en ellos determinadas actividades con una periodicidad establecida.

En segundo lugar, algunas de las actividades de mantenimiento no se pueden realizar con el equipo habitual de mantenimiento (sea propio o contratado) pues se requiere de conocimientos y/o medios específicos que solo están en manos del fabricante, distribuidor o de un especialista en el equipo.

Estos dos aspectos deben ser valorados cuando se trata de determinar el modelo de mantenimiento que debe ser aplicado a un equipo.

3.7.2.1 Mantenimiento Legal Algunos equipos están sometidos a normativas o a regulaciones por parte de la Administración. Sobre todo, son equipos que entrañan riesgos para las personas o para el entorno. La Administración exige la realización de una serie de tareas, pruebas e inspecciones, e incluso algunas de ellas deben ser realizadas por empresas debidamente autorizadas para llevarlas a cabo. Estas tareas deben necesariamente incorporarse al Plan de Mantenimiento del equipo, sea cual sea el modelo que se decida aplicarle.

Algunos de los equipos sometidos a este tipo de mantenimiento son los siguientes:

- Equipos y aparatos a presión.
- Instalaciones de alta y media tensión.
- Torres de refrigeración.
- Determinados medios de elevación, de cargas o de personas.
- Vehículos.

- Instalaciones contra incendios.
- Tanques de almacenamiento de determinados productos químicos.

3.7.2.2 Mantenimiento subcontratado a un especialista Cuando se habla de un especialista, éste es un individuo o empresa especializada en un equipo concreto. El especialista puede ser el fabricante del equipo, el servicio técnico del importador, o una empresa que se ha especializado en un tipo concreto de intervenciones. Como se ha dicho, debe recurrirse al especialista cuando:

- No se tiene conocimientos suficientes.
- No se tiene los medios necesarios.

Si se dan estas circunstancias, algunas o todas las tareas de mantenimiento se deben subcontratar a empresas especializadas. El mantenimiento subcontratado a un especialista es, en general, la alternativa más cara, pues la empresa que lo ofrece es consciente de que no compite. Los precios no son precios de mercado, sino precios de monopolio. Debe tratar de evitarse en la medida de lo posible, por el encarecimiento y por la dependencia externa que supone. La forma más razonable de evitarlo consiste en desarrollar un Plan de Formación que incluya entrenamiento específico en aquellos equipos de los que no se poseen conocimientos suficientes, adquiriendo además los medios técnicos necesarios.

3.8 ANÁLISIS DE CRITICIDAD No todos los equipos tienen la misma importancia en una planta industrial. Es un hecho que unos equipos son más importantes que otros. Como los recursos de una empresa para mantener una planta son limitados, debe destinarse la mayor parte de los recursos a los equipos más importantes, dejando una pequeña porción del reparto a los equipos que menos pueden influir en los resultados de la empresa.

Pero ¿cómo se diferencian los equipos que tienen una gran influencia en los resultados de los que no la tienen? Cuando se trata de hacer esta diferenciación, está realizándose el Análisis de Criticidad de los equipos de la planta.

Se va a comenzar distinguiendo una serie de niveles de importancia o criticidad:

- A) *Equipos críticos*. Son aquellos equipos cuya parada o mal funcionamiento afecta significativamente a los resultados de la empresa.
- B) *Equipos importantes*. Son aquellos equipos cuya parada, avería o mal funcionamiento afecta a la empresa, pero las consecuencias son asumibles.
- C) *Equipos prescindibles*. Son aquellos con una incidencia escasa en los resultados. Como mucho, supondrán una pequeña incomodidad, algún pequeño cambio de escasa trascendencia, o un pequeño costo adicional.

Opcionalmente, algunas empresas prefieren incluir una categoría más: los equipos *altamente críticos*. Se pretende con la introducción de esta nueva categoría distinguir entre dos tipos de equipos críticos distintos: equipos más críticos y equipos menos críticos.

Se verá, en segundo lugar, qué criterios pueden utilizarse para clasificar cada uno de los equipos en alguna de las categorías anteriores. Se considerará la influencia

que una anomalía tiene en cuatro aspectos: producción, calidad, mantenimiento y seguridad.

- *Producción.* Cuando se valora la influencia que un equipo tiene en producción, surge la pregunta ¿cómo afecta a ésta un posible fallo? Dependiendo de que suponga una parada total de la instalación, una parada de una zona de producción preferente, paralice equipos productivos, pero con pérdidas de producción asumible o no tenga influencia en producción, se clasificará el equipo como A, B o C.
- *Calidad.* El equipo puede tener una influencia decisiva en la calidad del producto o servicio final, una influencia relativa que no acostumbre a ser problemática o una influencia nula.
- *Mantenimiento.* El equipo puede ser muy problemático, con averías caras y frecuentes; o bien un equipo con un costo medio en mantenimiento; o, por último, un equipo con un muy bajo costo, que normalmente no dé problemas.
- *Seguridad y medio ambiente.* Un fallo del equipo puede suponer un accidente muy grave, bien para el medio o para las personas, y que además tenga cierta probabilidad de fallo; es posible también que un fallo del equipo pueda ocasionar un accidente, pero la probabilidad de que eso ocurra puede ser baja; o, por último, puede ser un equipo que no tenga ninguna influencia en seguridad.

La Tabla propuesta para valorar la criticidad de un equipo puede ser la siguiente:

Tabla 2. Ejemplo de matriz de criticidad

ANÁLISIS DE CRITICIDAD

Tipo de Equipo	Seguridad y medio ambiente	Producción	Calidad	Mantenimiento
A CRÍTICO	Puede originar accidente muy grave.	Su parada afecta al Plan de Producción.	Es clave para la calidad del producto.	Alto costo de reparación en caso de avería.
	Necesita revisiones periódicas frecuentes (mensuales).		Es el causante de un alto porcentaje de rechazos.	Averías muy frecuentes.
	Ha producido accidentes en el pasado.			Consumen una parte importante de los recursos de mantenimiento (mano de obra y/o materiales).
B IMPORTANTE	Necesita revisiones periódicas (anuales).	Afecta a la producción, pero es recuperable (no llega a afectar a clientes o al Plan de Producción).	Afecta la calidad, pero habitualmente no es problemático.	Costo medio en Mantenimiento
	Puede ocasionar un accidente grave, pero las posibilidades son remotas			
C PRESCINDIBLE	Poca influencia en seguridad.	Poca influencia en producción.	No afecta a la calidad.	Bajo costo de Mantenimiento.

Fuente: GARCÍA GARRIDO, Santiago. Organización y Gestión Integral de Mantenimiento. Madrid, España: Ediciones Díaz de Santos, 2003. p. 25, ISBN-10: 84-7978-548-9.

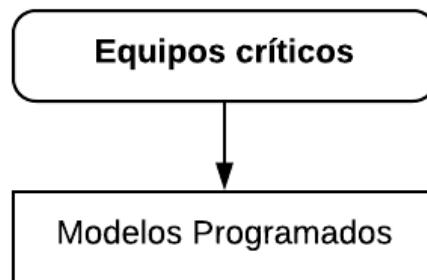
Véase ahora la siguiente situación. Al valorar un equipo, ha resultado ser *Crítico* por mantenimiento, *Prescindible* por calidad y por seguridad, e *Importante* por producción. ¿Cómo debe considerarse el equipo?

La categoría que se le dé a un equipo debe corresponder a la más alta que haya obtenido al valorar los 4 aspectos. En el caso descrito, el equipo resultaría *Crítico*.

3.9 SELECCIÓN DEL MODELO DE MANTENIMIENTO

Ya se ha determinado la criticidad del equipo que se está analizando. Con esto se tiene el primer gran paso para decidir sobre el modelo de mantenimiento a aplicar.

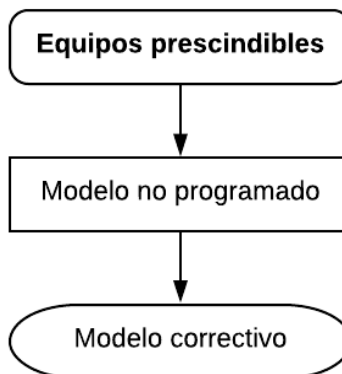
Figura 5. Modelo de mantenimiento para equipos críticos



Fuente: GARCÍA GARRIDO, Santiago. Organización y Gestión Integral de Mantenimiento. Madrid, España: Ediciones Díaz de Santos, 2003. p. 26, ISBN-10: 84-7978-548-9.

Si el equipo resulta ser *Crítico*, el modelo de mantenimiento será alguno de los tres que corresponden a Mantenimiento Programado. Si el equipo es *Importante*, se tendrá que estudiar todavía un poco más las consecuencias de una avería. Si el equipo, por último, es *Prescindible*, ya se sabe que el modelo que le corresponderá será el Modelo Correctivo.

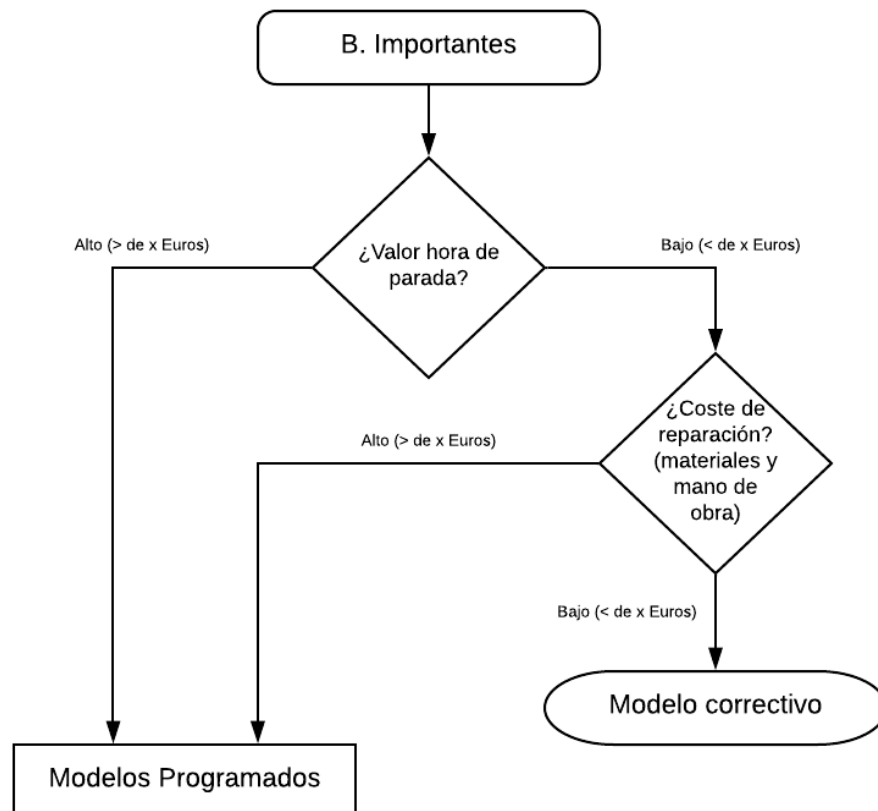
Figura 6. Modelo de mantenimiento para equipos prescindibles



Fuente: GARCÍA GARRIDO, Santiago. Organización y Gestión Integral de Mantenimiento. Madrid, España: Ediciones Díaz de Santos, 2003. p. 26, ISBN-10: 84-7978-548-9.

Como se decía, si el equipo es *importante* surge la pregunta sobre el costo que supone una parada, y el costo que supone la reparación de una posible avería. Si el costo de una parada es importante (por ejemplo, porque implique un costo determinado en pérdidas en producción), el modelo de mantenimiento es uno de los modelos programados. Si el costo es bajo, aún se pregunta algo más; cuál es el costo de una posible avería. Si el equipo tiene piezas cuya avería nos supondría un gasto grande (contabilizando tanto materiales como mano de obra), el modelo de mantenimiento será programado; si por el contrario este costo es bajo, el modelo de mantenimiento que le corresponderá será correctivo.

Figura 7. Modelos de mantenimiento para equipos Importantes



Fuente: GARCÍA GARRIDO, Santiago. Organización y Gestión Integral de Mantenimiento. Madrid, España: Ediciones Díaz de Santos, 2003. p. 27, ISBN-10: 84-7978-548-9.

Así, se ve que para el caso de equipos *críticos* y para el caso de equipos *prescindibles*, la asignación de un modelo programado o no programado (correctivo) es inmediata, pero si el equipo es *Importante*, hay que estudiar más a fondo el equipo. Si la parada del equipo no supone un gran trastorno en producción y además el costo de las averías que pueden surgir es asumible, el modelo será correctivo, mientras que, si no se cumple alguna de las dos condiciones anteriores, el modelo será alguno de los tres modelos programados.

Una vez que se ha llegado a la conclusión de que el modelo de mantenimiento es un modelo de mantenimiento programado, debe ahora decidirse qué modelo en concreto corresponde.

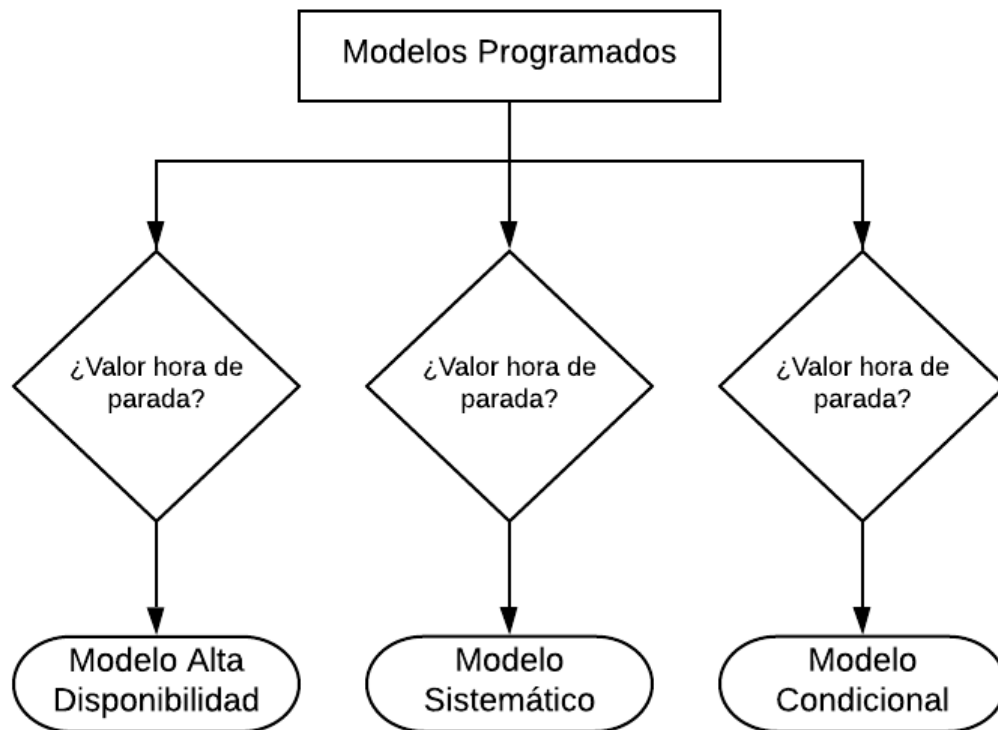
Si el equipo necesita estar en funcionamiento la mayor parte del tiempo (más del 90%), el modelo será el de *Alta Disponibilidad*. Este modelo, como se ha visto, es el más caro y completo, y es el único que no incluye la reparación de averías, porque se parte de la base de que estas averías no pueden surgir. En la práctica, estas averías ocurren, ya que es imposible controlar todos los aspectos, algunos de ellos dependientes del azar. Pero debe fijarse eso como objetivo, aunque no se consiga plenamente.

Si es un equipo del que se precisa una disponibilidad media (por ejemplo, no funciona las 24 horas del día, o hay épocas – semanas, meses – en los que permanece parado), el modelo será el *Sistemático*. Estarían incluidos aquí aquellos equipos que no funcionan de manera continua, pero que cuando lo hacen deben hacerlo con absoluta fiabilidad.

El tercer caso será aquel que corresponde a equipos cuya posibilidad de fallo es baja, o bien, que la disponibilidad que se precisa es muy baja (equipos que solo se revisan ocasionalmente, o que están duplicados o triplicados). El modelo correspondiente será el *Condicional*, en el que según se ha visto, serán realizadas

determinadas pruebas funcionales o determinados ensayos, y solo se actuará en caso de observar algo anormal en estas pruebas o ensayos. Dentro de los modelos de mantenimiento programado es el modelo más básico.

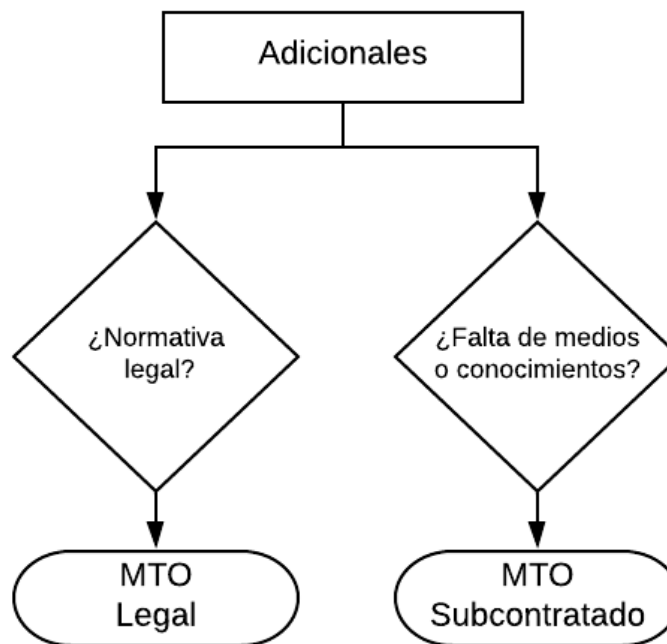
Figura 8. Modelos de Mantenimiento Programados.



Fuente: GARCÍA GARRIDO, Santiago. Organización y Gestión Integral de Mantenimiento. Madrid, España: Ediciones Díaz de Santos, 2003. p. 28, ISBN-10: 84-7978-548-9.

Por último, hoy debe valorarse los aspectos complementarios relativos a normativas legales que sean de aplicación y a la necesidad de contratar tareas de mantenimiento a fabricantes o especialistas.

Figura 9. Mantenimientos Adicionales

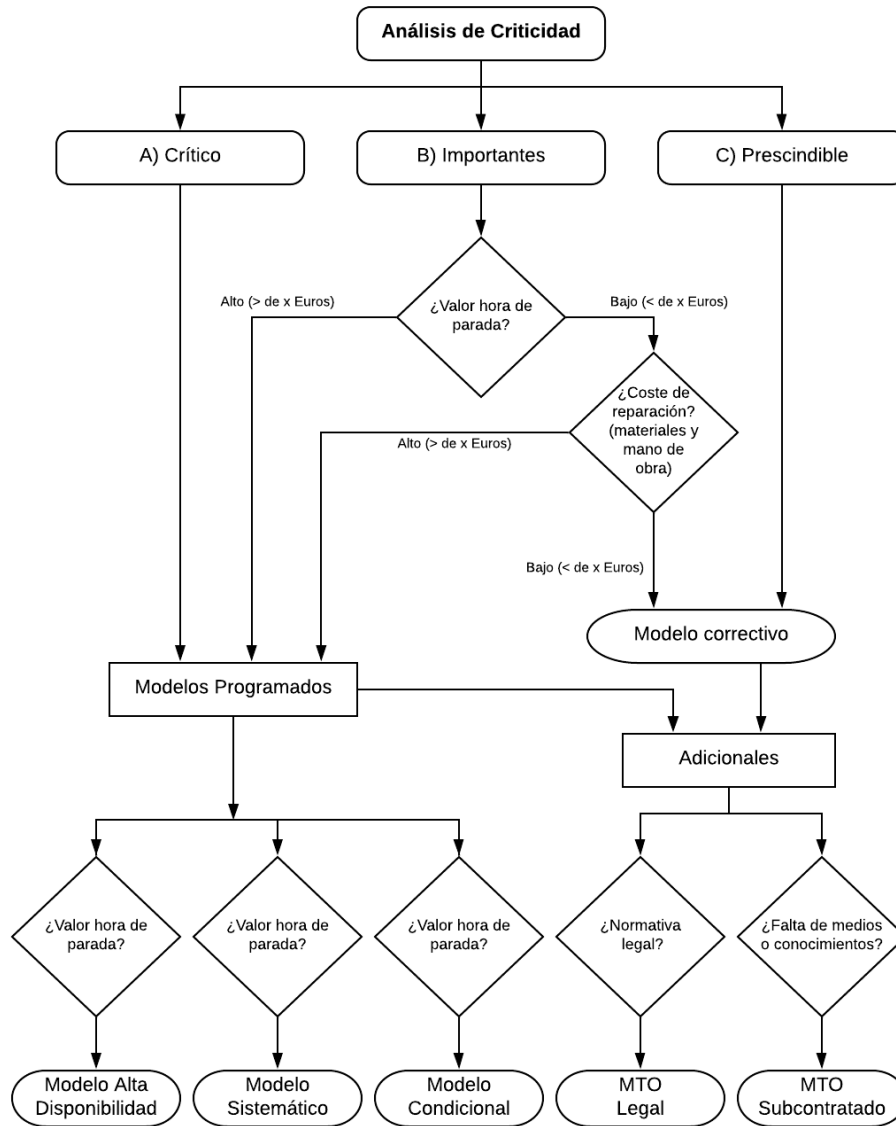


Fuente: GARCÍA GARRIDO, Santiago. Organización y Gestión Integral de Mantenimiento. Madrid, España: Ediciones Díaz de Santos, 2003. p. 29, ISBN-10: 84-7978-548-9.

Una vez decidido cuál de los 4 modelos anteriores le corresponde a cada equipo, debe identificarse aquellos equipos sometidos a normativas reguladoras de la Administración, que exige que se realicen determinadas tareas con una periodicidad definida. Junto al modelo correspondiente, se añadirá ese mantenimiento legal. Lo mismo sucederá con el mantenimiento subcontratado al fabricante: si se identifican equipos para los que no se posee la formación suficiente o los medios técnicos suficientes, se añadirá al modelo los subcontratos necesarios, que, como se ha visto, pueden suponer subcontratar el mantenimiento preventivo, el correctivo, un servicio de inspecciones periódicas o una puesta a cero.

En la Figura 10 se puede encontrar el diagrama de flujo que refleja el proceso de decisión que se ha detallado.

Figura 10. Asignación de Modelos de Mantenimiento



Fuente: GARCÍA GARRIDO, Santiago. Organización y Gestión Integral de Mantenimiento. Madrid, España: Ediciones Díaz de Santos, 2003. p. 30, ISBN-10: 84-7978-548-9.

3.10 ÁRBOLES DE DECISIÓN

Un árbol de decisión es un mapa de los posibles resultados de una serie de decisiones relacionadas. Permite que un individuo o una organización comparen posibles acciones entre sí según sus costos, probabilidades y beneficios. Se pueden usar para dirigir un intercambio de ideas informal o trazar un algoritmo que anticipe matemáticamente la mejor opción.

Un árbol de decisión, por lo general, comienza con un único nodo y luego se ramifica en resultados posibles. Cada uno de esos resultados crea nodos adicionales, que se ramifican en otras posibilidades. Esto le da una forma similar a la de un árbol.

Hay tres tipos diferentes de nodos: nodos de probabilidad, nodos de decisión y nodos terminales. Un nodo de probabilidad, representado con un círculo, muestra las probabilidades de ciertos resultados. Un nodo de decisión, representado con un cuadrado, muestra una decisión que se tomará, y un nodo terminal muestra el resultado definitivo de una ruta de decisión.

Los árboles de decisión también se pueden dibujar con símbolos de diagramas de flujo, que a algunas personas les parecen más fáciles de leer y comprender.

3.10.1 SÍMBOLOS DE LOS ÁRBOLES DE DECISIÓN

Figura 11. Simbología de árboles de decisión

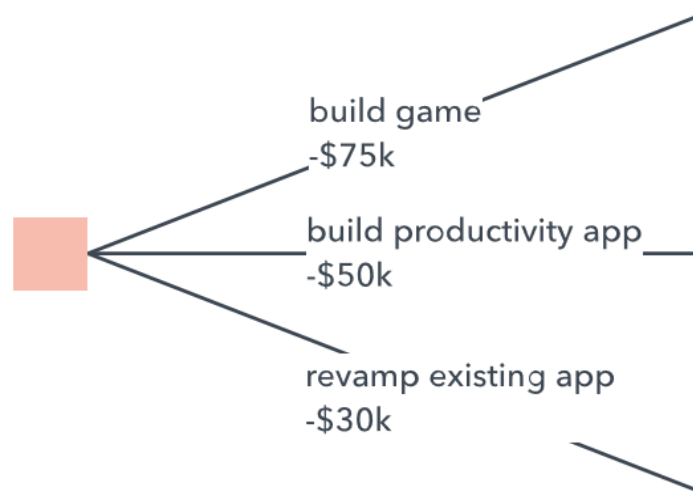
Figura	Nombre	Significado
	Nodo de decisión	Indica una decisión que se tomará
	Nodo de probabilidad	Muestra múltiples resultados inciertos
	Ramificaciones alternativas	Cada ramificación indica un posible resultado o acción
	Alternativa rechazada	Muestra una alternativa que no estaba seleccionada
	Nodo terminal	Indica un resultado definitivo

Fuente: <https://www.lucidchart.com/pages/es/que-es-un-diagrama-de-arbol-de-decision>.

3.10.2 CÓMO DIBUJAR UN ÁRBOL DE DECISIÓN Para dibujar un árbol de decisión, primero debes elegir un medio. Puedes dibujarlo a mano en un papel o una pizarra, o puedes usar un software de árboles de decisión. En cualquier caso, se muestran los pasos que se deben seguir:

1. *Comienza con la decisión principal.* Dibuja un pequeño recuadro para representar este punto, luego dibuja una línea desde el recuadro hacia la derecha para cada posible solución o acción. Etiquétalas correctamente.

Figura 12. Paso 1, Elaboración de un árbol de decisión



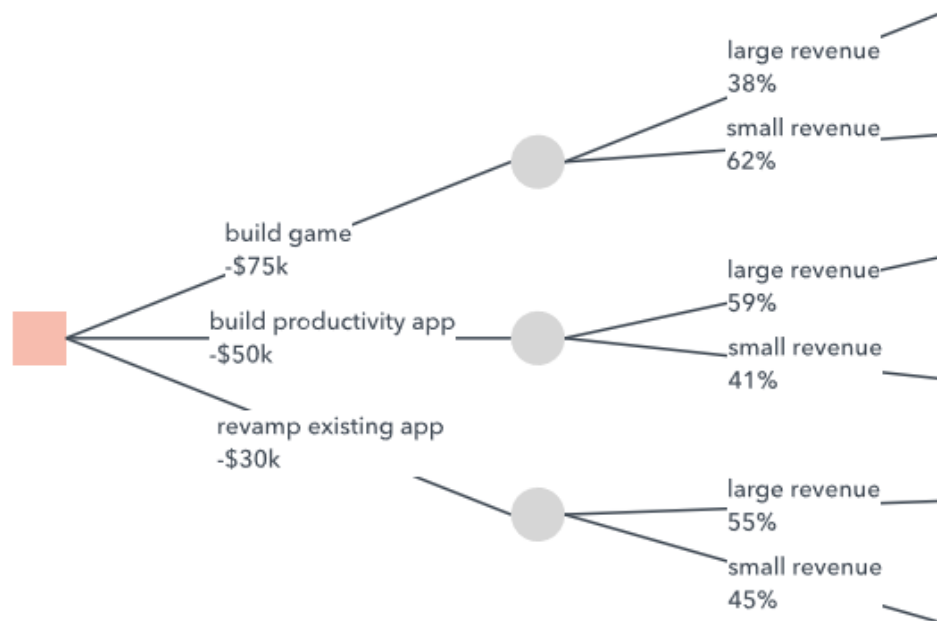
Fuente: <https://www.lucidchart.com/pages/es/que-es-un-diagrama-de-arbol-de-decision>.

2. *Agrega nodos de decisión y probabilidad* para expandir el árbol del siguiente modo:

- Si otra decisión es necesaria, dibuja otro recuadro.

- Si el resultado es incierto, dibuja un círculo (los círculos representan nodos de probabilidad).
- Si el problema está resuelto, déjalo en blanco (por ahora).

Figura 13. Paso 2, Elaboración de un árbol de decisión



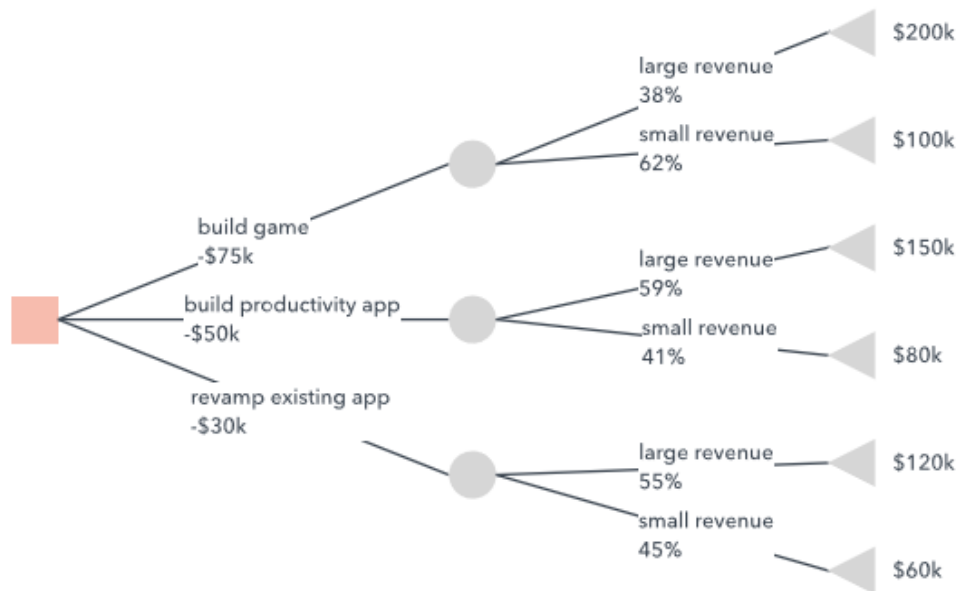
Fuente: <https://www.lucidchart.com/pages/es/que-es-un-diagrama-de-arbol-de-decision>.

Desde cada nodo de decisión, dibuja soluciones posibles. Desde cada nodo de probabilidad, dibuja líneas que representen los resultados posibles. Si deseas analizar tus opciones de forma numérica, incluye la probabilidad de cada resultado y el costo de cada acción.

3. Continúa con la expansión hasta que cada línea alcance un extremo, lo que significa que no hay más decisiones que tomar o resultados probables que considerar. Luego, asigna un valor a cada resultado posible. Puede ser una

puntuación abstracta o un valor financiero. Agrega triángulos para indicar los extremos.

Figura 14. Paso 3, Elaboracion de un árbol de decisión



Fuente: <https://www.lucidchart.com/pages/es/que-es-un-diagrama-de-arbol-de-decision>.

Con un árbol de decisión completo, ya estás listo para comenzar a analizar la decisión que enfrentas.

3.10.3 VENTAJAS Y DESVENTAJAS Los árboles de decisión siguen siendo populares por razones como las siguientes:

- Son muy fáciles de entender.
- Pueden ser útiles con o sin datos fehacientes, y cualquier dato requiere una preparación mínima.

- Se pueden agregar nuevas opciones a los árboles existentes.
- Su valor al seleccionar la mejor de numerosas opciones.
- Se combinan fácilmente con otras herramientas de toma de decisiones.

Sin embargo, los árboles de decisión pueden volverse excesivamente complejos. En esos casos, un diagrama de influencia más compacto puede ser una buena alternativa. Los diagramas de influencia se enfocan en los objetivos, las entradas y las decisiones fundamentales.

3.10.4 ÁRBOLES DE DECISIÓN EN MINERÍA DE DATOS Y APRENDIZAJE AUTOMÁTICO Un árbol de decisión también puede usarse para ayudar a crear modelos predictivos automatizados, que puedan emplearse en el aprendizaje automático, la minería de datos y las estadísticas. Conocido como "el aprendizaje basado en árboles de decisión", este método toma en consideración las observaciones sobre un elemento para predecir su valor.

En estos árboles de decisión, los nodos representan datos en lugar de decisiones. Este tipo de árbol también se conoce como "árbol de clasificación". Cada ramificación contiene un conjunto de atributos o reglas de clasificación asociadas a una etiqueta de clase específica, que se halla al final de la ramificación.

Estas reglas, también conocidas como "reglas de decisión", se pueden expresar en una cláusula "Si... entonces...". Cada valor de datos o decisión forma una cláusula, de tal manera que, por ejemplo, "si las condiciones 1, 2 y 3 se cumplen, entonces el resultado X será el resultado definitivo con certeza Y".

Cada dato adicional ayuda a que el modelo prediga de forma más precisa a qué conjunto finito de valores pertenece el asunto en cuestión. Esa información se

puede usar posteriormente como una entrada en un modelo más grande de toma de decisiones.⁶

⁶ LUCIDCHART. Qué es un diagrama de árbol de decisión. [En línea].
<https://www.lucidchart.com/pages/es/que-es-un-diagrama-de-arbol-de-decision>. [Citado en 15 de agosto de 2019].

4. RECOPIACION DE DATOS

Se inicia la recopilación de los datos con el reconocimiento de las distintas áreas y equipos que componen la planta, mediante visitas en las que se realizaron caminatas por sus instalaciones, con el acompañamiento de personal de mantenimiento, producción y costos, buscando garantizar el cubrimiento de todas las áreas y la identificación adecuada de sus respectivos equipos. Se decidió alinear la codificación de éstos con los centros de costos ya establecidos para las diferentes áreas de la empresa por el departamento de Contabilidad; de esta manera, se busca garantizar que la información recopilada sea compatible con la estructura financiera ya establecida e implementada en la compañía, y facilitaría la administración de los costos de mantenimiento por equipo en el caso de una posible implementación. Cabe anotar que actualmente la empresa no le está dando este manejo a los costos asociados al mantenimiento de los equipos, sino que se lleva un registro global de estos costos, sin diferenciarlos por áreas o máquinas.

Una vez establecida esta directriz, se procede a diferenciar los centros de costos de las áreas productivas del total de centros de costos o áreas establecidos por el departamento de Contabilidad. Para este ejercicio, se definió “áreas productivas” como todas aquellas áreas que hacen parte del proceso de fabricación del producto final (proceso de producción), en las cuales están involucrados los equipos o máquinas sujetos a actividades de mantenimiento.

4.1 IDENTIFICACIÓN DE ÁREAS PRODUCTIVAS

Actualmente, el departamento de Contabilidad de Industrias Articueros tiene establecidas las siguientes áreas con sus respectivos centros de costos (Ver Tabla 3), que abarcan el total de la operación de la empresa.

Tabla 3. Centros de costo de Industria Articueros

CENTRO DE COSTO	AREA
01	TELARES
02	MEZCLAS
03	TRANSFER 1
04	BEMA
05	PRINTER
08	TRANSFER 2
09	PRODUCCIÓN
10	LABORATORIO
11	MANTENIMIENTO
12	ALMACEN MATERIA PRIMA
13	VENTAS
14	ADMINISTRACIÓN
15	INSPECCIÓN
16	EMPAQUE
17	PORTERIA
22	SERVICIOS GENERALES
24	LOGISTICA (DESPACHO)

Fuente: Departamento Contable

De esta lista se identifican y separan las áreas productivas, según la definición establecida previamente (Ver Tabla 4). Los códigos numéricos de los centros de costos de estas áreas serán tenidos en cuenta al momento de codificar los equipos.

Tabla 4. Códigos de áreas productivas de Industria Articuleros

CÓDIGO ÁREA (Centro de Costo)	ÁREA PRODUCTIVA
01	TELARES
02	MEZCLAS
03	TRANSFER 1
04	BEMA
05	PRINTER
08	TRANSFER 2
10	CONTROL DE CALIDAD
22	SERVICIOS GENERALES

Fuente: Autor del proyecto

4.2 INVENTARIO DE EQUIPOS

Luego de identificar las 8 áreas productivas que son las que nos interesan para este análisis, se procede a identificar las diferentes máquinas y sistemas que componen cada una de ellas, logrando inventariar 129 equipos total, distribuidos como se muestra en la Tabla 5:

Tabla 5. Inventario de equipos de Industria Articuleros por área

CÓDIGO ÁREA (Centro de Costo)	ÁREA PRODUCTIVA	CANTIDAD DE EQUIPOS
01	TELARES	25
02	MEZCLAS	23
03	TRANSFER 1	21
04	BEMA	5
05	PRINTER	2
08	TRANSFER 2	26
10	CONTROL DE CALIDAD	10
22	SERVICIOS GENERALES	17
TOTAL DE EQUIPOS		129

Fuente: Autor del proyecto

4.3 CLASIFICACIÓN DE EQUIPOS POR TIPO

Para facilitar la codificación de los equipos se procede a clasificarlos por Tipo, agrupando equipos similares en familia, modelo y funcionalidad dentro del proceso productivo. A partir de esta clasificación se asigna un código de dos caracteres alfabéticos a cada Tipo de Equipo; tratando, en lo posible, de relacionar el nombre del mismo y teniendo especial cuidado en evitar repeticiones.

Se lograron identificar 43 Tipos de Equipo diferentes, los cuales se relacionan en la Tabla 6, al igual que el respectivo código alfabético asignado.

Tabla 6. Codificación de tipos de equipo para Industria Articuleros.

TIPO DE EQUIPO	CÓDIGO ALFABÉTICO
AIRE ACONDICIONADO	AA
ACUMULADOR DE AIRE	AC
ACUMULADOR DE PAPEL	AP
ABRIDORA DE TELA	AT
BEMITA	BE
BOMBA NEUMATICA	BN
BASCULA ELECTRONICA	BS
BANDA TRANSPORTADORA	BT
CABEZA APLICADORA	CA
CALDERIN	CD
CHILLER	CH
CALANDRA	CL
COMPRESOR	CM
CALANDRA DE TELA	CT
DESEMBOBINADOR DE PAPEL	DP
DESEMBOBINADOR DE TELA	DT
ESTACION DE GRABACION	EG
ESTIBADOR HIDRAULICO	EH
EMBOBINADOR DE PAPEL	EP
ESTACION DE REFILADO	ER
EMBOBINADOR DE PRODUCTO TERMINADO	ET

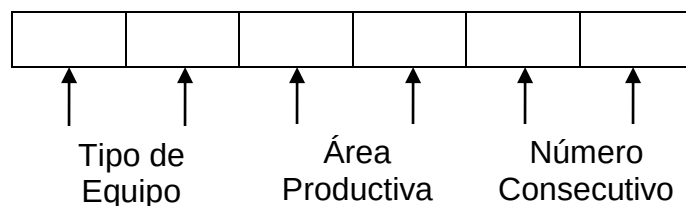
EXTRUSORA CHINA	EX
GRUPO DE ENFRIAMIENTO	GE
HORNO	HN
INSPECCIONADORA	IN
KADYMILL	KD
MAQUINA DE EXTRACCIÓN DE HUMO	ME
MAQUINA FILETEADORA	MF
MEZCLADOR PLANETARIO	ML
MESA DE PEGA DE PAPEL	MP
MEZCLADOR DE TARA	MT
MEZCLADOR DE TANQUES	MZ
PUENTEGRUA	PG
PRINTER	PR
SECADOR DE AIRE	SA
SUBESTACION	SE
SUBESTACION DE GAS	SG
TARAS	TA
TEJEDORA	TJ
TURBOMEZCLADOR	TM
TANQUES DE PLASTIFICANTE	TP
TRANSPORTADOR DE RESINA	TR
TRANSPORTADOR DE TANQUES	TT

Fuente: Autor del proyecto

4.4 CODIFICACIÓN DE EQUIPOS

Teniendo los equipos completamente inventariados y tipificados, se procede a establecer el mecanismo de codificación. Para este estudio se ha decidido utilizar un sistema de codificación significativo o inteligente, el cual pueda brindarnos alguna información relevante; en este caso, el formato de código diseñado nos brindará la ubicación del equipo (área productiva) y su tipo, seguido de un número consecutivo. La estructura del código se relaciona en la Figura 15.

Figura 15. Estructura del código para equipos Industria Articueros.



Fuente: Autor del Proyecto.

Como se puede apreciar, los dos primeros caracteres serán alfabéticos ya que corresponderán al Tipo de Equipo; Así, por ejemplo: TJ corresponderá a una Tejedora y AA a un Aire Acondicionado.

Los siguientes dos caracteres identificarán el Área Productiva en la cual está ubicado el equipo; por tanto, serán caracteres numéricos. Por ejemplo: 01 indicará que el equipo está ubicado o pertenece al área de TELARES, mientras que 03 se referirá al área de TRANSFER 1. Nótese que cada número está asociado al centro de costo establecido por el departamento financiero.

Los últimos dos dígitos del código corresponderán a un número consecutivo, que indicará cuántos equipos similares, o del mismo tipo, hay en cada Área Productiva; por lo tanto, serán caracteres numéricos. Cuando sólo exista un equipo de determinado tipo en el área, éste se identificará con el consecutivo "01"; pero si llegase a haber más de un equipo similar, se enumerarán partiendo del consecutivo de 01 en adelante. Por ejemplo, en el área de telares hay seis (6) Aires Acondicionados, por lo tanto, estarán identificados con los consecutivos 01, 02, ..., 06.

Habiendo establecido estos parámetros se procede a elaborar una Tabla en Excel, listando todos los equipos y colocando al lado de cada uno columnas con el código de Tipo de Equipo, código del Área Productiva donde está ubicado y el

número consecutivo asignado. A continuación, con la ayuda de la función “CONCATENAR”, se unen estos tres pares de caracteres obteniendo para cada equipo un código único de 6 dígitos. El listado completo de equipos se muestra en el Anexo C.

5. ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

Luego de haber realizado el inventario de todos los equipos y de establecer una estructura para la asignación de códigos únicos e inteligentes a los mismos, el paso a seguir es determinar su nivel de importancia en el proceso productivo de la planta; esto es a lo que se denomina Análisis de Criticidad, el cual permitirá diferenciar, de forma organizada, los equipos que tienen una mayor influencia en los resultados de la empresa de los que no la tienen, en los cuales será enfocada la mayor cantidad de recursos para mantenerlos, y, por ende, serán el centro de atención del Plan de Mantenimiento de la empresa.

Una vez establecida la criticidad (o importancia) de cada equipo de la planta, será posible asignarle a cada uno un Modelo de Mantenimiento apropiado. García ⁷ define el concepto de modelo de mantenimiento como una mezcla de los diferentes tipos de mantenimiento en unas proporciones determinadas, y que responde adecuadamente a las necesidades de cada equipo en concreto. Es decir, que no debe limitarse a establecer que un equipo va a ser sometido a Mantenimiento Correctivo, Preventivo, o Predictivo exclusivamente, sino más bien buscar la combinación entre estos tipos de mantenimiento que mejor se ajuste su criticidad e influencia en la operación.

5.1 ANÁLISIS DE CRITICIDAD DE LOS EQUIPOS

Para el Análisis de Criticidad se optó por utilizar una Matriz de Evaluación (Matriz de Criticidad), en la cual establecerá el impacto de cada uno de los equipos sobre unos criterios de calificación ponderados, según su influencia, con las letras A, B y C, siendo A la mayor influencia y C la menor.

⁷ GARCÍA GARRIDO, Santiago. Organización y Gestión Integral de Mantenimiento. Madrid, España: Ediciones Díaz de Santos, 2003. p. 18 - 19. ISBN-10: 84-7978-548-9

5.1.1 CRITERIOS DE EVALUACIÓN Se definieron para este análisis seis (6) criterios de evaluación, los cuales se muestran en la Tabla 7.

Tabla 7. Matriz de criticidad para equipos de Industria Articueros

CRITERIOS DE EVALUACION	CRITICIDAD		
	CRITICOS	IMPORTANTES	PRESCINDIBLES
	A	B	C
S SEGURIDAD Y AMBIENTE	Una falla causaría <u>graves</u> problemas de Seguridad y/o Medio Ambiente.	Una falla causaría <u>leves</u> problemas de Seguridad y/o Medio Ambiente.	Una falla <u>no causaría</u> problemas de Seguridad y/o Medio Ambiente
Q CALIDAD Y RENDIMIENTO	Una falla causaría <u>productos defectuosos</u> o afectaría <u>seriamente</u> el rendimiento.	Una falla <u>podría causar variaciones</u> de calidad o afectar <u>moderadamente</u> el rendimiento.	Una falla <u>no afectaría</u> ni la calidad ni el rendimiento.
O REQUERIMIENTOS DE OPERACIÓN	El equipo de operar las <u>24 horas</u> .	El equipo debe operar de <u>8 a 12 hrs.</u>	Operación intermitente.
P IMPACTO EN LA PRODUCCIÓN	Una falla pararía la <u>planta entera</u> .	Una falla pararía <u>solamente el área afectada</u> .	Cuenta con unidad de reserva. Es más económico esperar el fallo y repararlo.
F INTERVALOS DE FALLA	Paradas frecuentes. (más de 3 veces al año)	Paradas ocasionales. (1 - 3 veces al año)	Paradas esporádicas. (1 o menos veces al año)
M IMPACTO EN MANTENIMIENTO	Tiempos de reparación: más de 3 horas.	Tiempos de reparación: 1 - 3 horas	Tiempo de reparación: menos de 1 hora.

Fuente: Autor del proyecto

Nótese que el criterio “M” (Impacto en Mantenimiento) no se analizó desde el punto de vista económico, ya que, como se ha mencionado anteriormente, la empresa no viene manejando los costos de mantenimiento por equipo (de hecho,

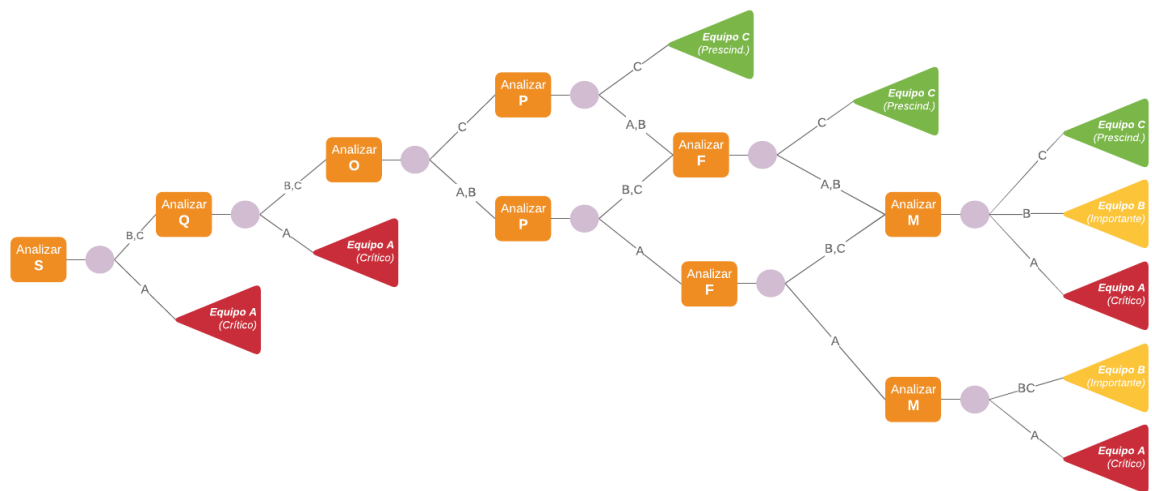
ni siquiera tiene establecida una codificación para los mismos), sino que, por el contrario, se lleva un registro de los costos globales del mantenimiento por área. Por lo tanto, se estableció una ponderación por promedios de tiempos de reparación para calificar la mantenibilidad.

Así mismo, para el criterio “F” (Intervalos de Falla), se tomó un promedio del número de paradas por equipo del último año (2018), basándonos en la base de datos de Excel que actualmente maneja el departamento de mantenimiento de Industria Articuleros, mostrado en el Anexo D.

5.1.2 ARBOL DE DECISION PARA ANÁLISIS DE CRITICIDAD Luego de valorar cada uno de los criterios para cada equipo, con la asesoría del departamento de Mantenimiento, Producción y Seguridad de la empresa, y dada la cantidad de equipos a analizar, se decidió establecer un Árbol lógico de decisión para determinar la criticidad. Esta metodología permite mostrar de forma gráfica y ordenada los posibles resultados que se derivarían de un determinado análisis y, además, facilita la creación de un algoritmo informático que arroje de forma automática los resultados del mismo.

En la Figura 16 se muestra el árbol lógico de decisiones utilizado para determinar la criticidad de los equipos de la planta. Para facilitar su visualización en detalle, ver el Anexo E.

Figura 16. Árbol de decisión para Análisis de Criticidad de Equipos.



Una vez elaborado el árbol se utilizó la función lógica “SI” de Excel para traducirlo a un lenguaje informático, considerando todas las “reglas de decision”, que permita realizar el Análisis de Criticidad de los equipos de forma automática y práctica, como se puede ver en el Anexo F.

Este análisis de criticidad se puede resumir en la Tabla 8.

Tabla 8. Resumen análisis de criticidad

CRITICIDAD	CANT. DE EQUIPOS
A <i>(Críticos)</i>	68
B <i>(Importantes)</i>	14
C <i>(Prescindibles)</i>	47
TOTAL EQUIPOS	129

5.2 ASIGNACIÓN DE MODELOS DE MANTENIMIENTO

Para asignar los modelos de mantenimiento a cada grupo de equipos, de acuerdo a su criticidad, será utilizada también la metodología del árbol lógico de decisiones, dada su practicidad y posibilidad de automatización, no sin antes establecer, en consenso con el personal de mantenimiento de la compañía, los criterios de decisión que se considerarían para este análisis.

5.2.1 CRITERIOS DE DECISIÓN Se han establecido los siguientes criterios para asignar los modelos:

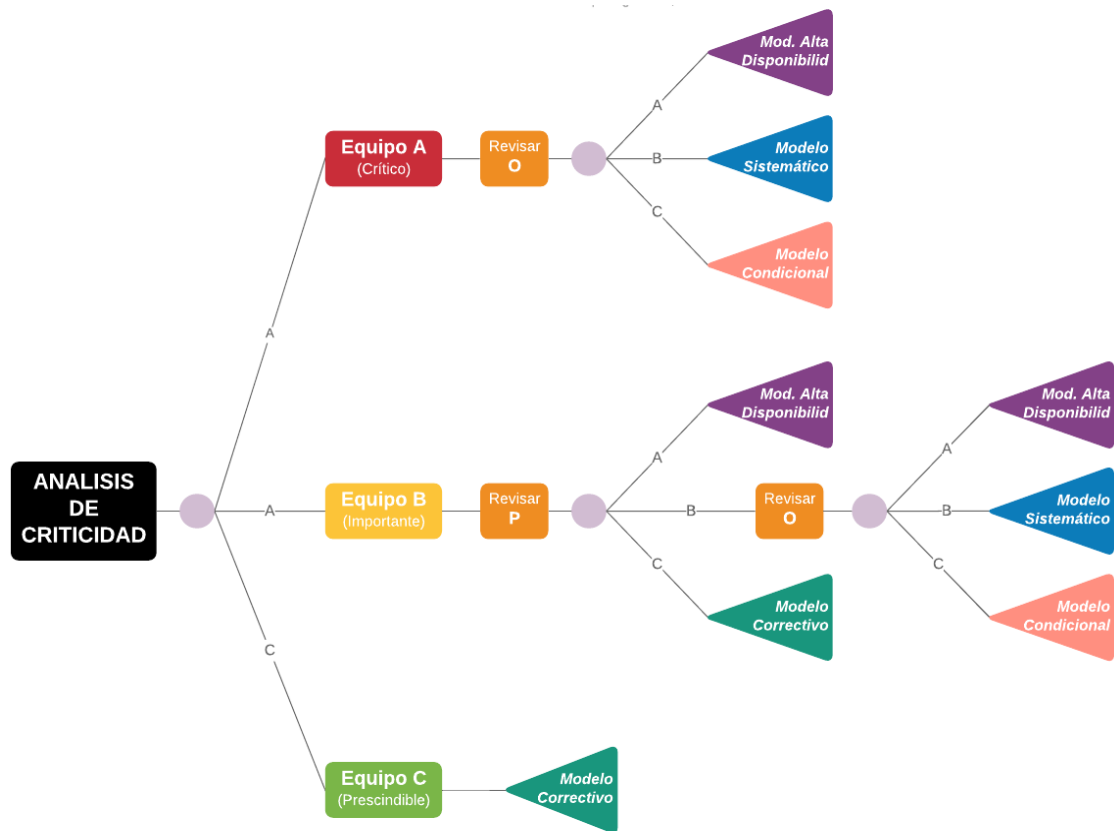
- **Para Equipos Críticos:** Se revisará la calificación dada por los expertos al criterio “Requerimientos de Operación (O)” durante el análisis de criticidad, de tal manera que, si este criterio fue calificado “A”, al equipo se le asignará un *Modelo de Alta Disponibilidad*; si fue calificado “B”, se le asignará un *Modelo Sistemático*, y, si fue calificado “C”, se le asignará un *Modelo Condicional*.
- **Para Equipos Importantes:** Se revisará la calificación dada por los expertos al criterio “Impacto en la Producción (P)” durante el análisis de

criticidad, de tal manera que, si este criterio fue calificado “A”, al equipo se le asignará un *Modelo de Alta Disponibilidad*; si fue calificado “B” se pasará a revisar el criterio “Requerimientos de Operación (O)”, y, si fue calificado “C”, se le asignará un *Modelo Correctivo*. Ahora bien, para los equipos Importantes con calificación “B” en el criterio “Impacto a la Producción (P)”, se pasará a revisar la calificación dada por los expertos al criterio “Requerimientos de Operación (O)”, de tal manera que si este criterio fue calificado “A”, al equipo se le asignará un *Modelo de Alta Disponibilidad*; si fue calificado “B”, se le asignará un *Modelo Sistemático*, y, si fue calificado “C”, se le asignará un *Modelo Condicional*.

- **Para Equipos Prescindibles:** Se asignará siempre un *Modelo Correctivo*.

5.2.2 ARBOL DE DECISIÓN PARA ASIGNACIÓN DE MODELOS DE MANTENIMIENTO De acuerdo a estas “reglas de decisión”, se procede a elaborar el árbol lógico de decisiones para la asignación de los modelos de mantenimiento, obteniendo el diagrama que se muestra en la Figura 17. Además, para facilitar su visualización en detalle, ver el Anexo G.

Figura 17. Árbol de decisión asignación de modelos de mantenimiento.



Una vez más se utiliza la fórmula lógica de Excel “SI” para traducir el árbol de decisiones a un lenguaje informático que nos permita automatizar nuestro análisis, obteniendo como resultado una Matriz de modelos de mantenimiento (Ver Anexo H).

Como resultado de la asignación de los modelos de mantenimiento para los equipos, basados en su criticidad, se obtiene la Tabla 9.

Tabla 9. Resumen asignación de modelos de mantenimiento

MODELOS DE MANTENIMIENTO	CANT. DE EQUIPOS
Alta Disponibilidad	38
Sistemático	31
Condicional	10
Correctivo	50
TOTAL EQUIPOS	129

6. PLAN DE MANTENIMIENTO PROPUESTO

Como se ha mencionado anteriormente, los modelos de mantenimiento son un conjunto de metodologías y/o tipos de mantenimiento que se agrupan según las necesidades y requerimientos operativos de los equipos, por tanto, se deben definir qué tipos de mantenimiento le serán asignados a cada grupo de equipos según los modelos definidos previamente.

Sin embargo, hay dos actividades básicas que deben realizarse en todos los equipos, sin importar su criticidad o modelo de mantenimiento asignado, estas son: las inspecciones visuales (o pre-operacionales) y la lubricación. Mediante la ejecución de estas dos tareas de forma periódica y disciplinada, se podrán prevenir fallos a tiempo, y se contribuirá a mantener los equipos en óptimas condiciones de operación y a prolongar la vida útil de sus componentes. Esto es conocido como “Mantenimiento en uso”, pues son tareas sencillas que pueden delegarse a los mismos usuarios del equipo.

6.1 EQUIPOS CON MODELO DE MANTENIMIENTO CORRECTIVO

Este es el modelo más básico, e incluye, además de las inspecciones visuales y la lubricación, la reparación de las averías que surjan. Aplica a los equipos con el más bajo nivel de criticidad, cuyo impacto en la producción, la seguridad, el medio ambiente y los costos es mínimo; por lo tanto, no es necesario ni rentable dedicarles demasiados recursos.

Actividades para los equipos del Modelo Correctivo:

- Lubricación.
- Inspecciones visuales.
- Reparación de averías (Correctivo).

6.2 EQUIPOS CON MODELO DE MANTENIMIENTO CONDICIONAL

Como su nombre lo dice, este modelo indica atender los equipos según su condición, para lo cual, se realizarán una serie de pruebas determinarán la necesidad de realizar alguna intervención en el equipo, es decir, se aplica la metodología del mantenimiento condicional.

Los equipos incluidos en este modelo son aquellos que tienen una probabilidad de fallo muy baja o que tienen poco uso y, por lo tanto, permiten la realización de pruebas en ellos para determinar su condición.

Actividades para los equipos del Modelo Condicional:

- Lubricación.
- Inspecciones visuales.
- Mantenimiento Condicional.
- Reparación de averías (Correctivo).

6.3 EQUIPOS CON MODELO DE MANTENIMIENTO SISTEMÁTICO

En este modelo se incluyen las tareas de Mantenimiento Preventivo, en el cual se programan intervenciones, reparaciones o cambios de algunos componentes críticos sin importar su condición, y, además, se realizan pruebas en algunos otros componentes y/o sistemas para determinar su condición y decidir si es necesario intervenirlos, en otras palabras, se incluyen también tareas del mantenimiento condicional.

Este modelo se aplica a los equipos que tienen una disponibilidad media y cuyos fallos o paradas tienen cierto impacto en la producción, seguridad y medio ambiente, o resultan relativamente costosas. Se denomina sistemático ya que no se necesita que el equipo evidencie algún síntoma de fallo para realizar las intervenciones, sino que se establecen criterios de reparación o reemplazo periódicos en componentes críticos que se cumplen sin importar la condición real del mismo, sino con el único fin de garantizar la disponibilidad del equipo.

Actividades para los equipos del Modelo Sistemático:

- Lubricación.
- Inspecciones visuales.
- Mantenimiento Preventivo.
- Mantenimiento Condicional.
- Reparación de averías (Correctivo).

6.4 EQUIPOS CON MODELO DE ALTA DISPONIBILIDAD

Son aquellos equipos que por ningún motivo deben parar debido a su alto impacto en la producción, o cuyos fallos representan una amenaza inminente a la seguridad de las personas o al medio ambiente. A estos equipos se les exige niveles de disponibilidad por encima del 90%, por lo tanto, no se contemplan actividades de mantenimiento que requieran paradas del equipo durante su operación; es decir, que los mantenimientos correctivo y preventivo quedan prácticamente descartados mientras el equipo esté en funcionamiento.

En cambio, se recomienda para éstos emplear técnicas de mantenimiento predictivo que permitan monitorear su condición en operación, y, además, establecer paradas programadas donde se realicen intervenciones generales y completas que garantice su operación “sin inconvenientes” hasta la próxima parada. En estas paradas se deberán sustituir piezas críticas o de desgaste (mantenimiento preventivo), o todas aquellas que vayan presentando tendencia al fallo según los resultados de las mediciones predictivas que se vayan realizando durante su operación (mantenimiento condicional). Para alinearlos con las actividades que realiza el departamento de mantenimiento de la empresa actualmente, se sugiere que estos equipos sean los que se incluyan en la *Parada de Planta* que se lleva a cabo al finalizar cada año,

Además, si bien el mantenimiento correctivo no está contemplado para estos equipos mientras esté trabajando, se sabe que es muy difícil garantizar su operación durante todo el período sin interrupciones, pues los imprevistos siempre van a suceder. En esos casos, se deben realizar reparaciones rápidas provisionales que permitan mantener el equipo operando hasta la próxima parada programada (o Parada de Planta), en la cual se le dará una solución adecuada a estos imprevistos. Esto nos hace ver que las actividades que se programan para la parada de planta anual no deben ser necesariamente las mismas cada año; por el contrario, dependerán del comportamiento y operación de los equipos durante el período, los resultados de las mediciones predictivas que se realicen y los imprevistos que se hayan reparado provisionalmente.

Actividades para los equipos del Modelo de Alta Disponibilidad:

- Lubricación.
- Inspecciones visuales.
- Mantenimiento Predictivo.
- Parada de Planta.
 - Mantenimiento Preventivo.
 - Mantenimiento Condicional.
 - Reparación de averías (Correctivo).

6.5 RESUMEN GENERAL DEL PLAN ESTRATÉGICO DE MANTENIMIENTO

El plan estratégico de mantenimiento propuesto para los equipos de la empresa Industria Articueros, con los respectivos modelos y actividades de mantenimiento a realizar a cada grupo de equipos se resume, de forma general, en la Tabla 10.

Tabla 10. Resumen del plan estratégico de mantenimiento propuesto

MODELOS DE MANTENIMIENTO	ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO	CANT. DE EQUIPOS
Alta Disponibilidad	- Lubricación. - Inspecciones visuales. - Mantenimiento Predictivo. - Parada de Planta. • Mantenimiento Preventivo. • Mantenimiento Condicional. • Reparación de averías (Correctivo).	38
Sistemático	- Lubricación. - Inspecciones visuales. - Mantenimiento Preventivo. - Mantenimiento Condicional. - Reparación de averías (Correctivo).	31
Condicional	- Lubricación. - Inspecciones visuales. - Mantenimiento Condicional. - Reparación de averías (Correctivo).	10
Correctivo	- Lubricación. - Inspecciones visuales. - Reparación de averías (Correctivo).	50
TOTAL EQUIPOS		129

Además, en el Anexo I se muestra el Plan Estratégico de Mantenimiento completo, con la asignación, a cada equipo, de sus respectivas actividades de mantenimiento.

7. CONCLUSIONES

Se debe continuar con la clasificación taxonómica de los equipos hasta el nivel de componentes, para establecer unas rutinas de mantenimiento específicas para cada equipo y sus sistemas, teniendo en cuenta el modelo de mantenimiento asignado según el Plan Estratégico de Mantenimiento.

No todos los equipos se deben seguir atendiendo con mantenimiento correctivo, esto acarrea altos costos de mantenimiento, demoras en atención de los equipos por inventarios deficientes y paradas inesperadas (imprevistos) que afectan gravemente la producción. El plan de mantenimiento propuesto es una buena alternativa para empezar a atender los equipos de la empresa Industria Articueros de forma estratégica. Sin embargo, se debe tener en cuenta que este Plan no es constante sino que, por el contrario, debe revisarse y actualizarse con una periodicidad establecida por la compañía (cada dos o tres años, según se considere conveniente). Para un futuro análisis, se espera que ya se tengan datos concretos de los costos de mantenimiento por equipo y de los tiempos medios de intervención, para que el estudio sea mucho más acertado, con valores estadísticos reales, y no con valores ponderados como se tuvo que realizar en esta primera investigación.

Al analizar una matriz de criticidad de equipos, el impacto en la Seguridad de las personas y en el Medio Ambiente siempre debe ser un factor primordial y determinante. Luego, cada empresa establecerá la importancia de los criterios según sus necesidades y prioridades. En este caso, se escogió el Impacto en la Calidad del producto final como el segundo factor altamente determinante debido a la importancia que tiene para Industria Articueros la Calidad de sus productos como factor diferencial de su competitividad en el mercado, y en concordancia con

los lineamientos de su Sistema de Gestión de Calidad certificado bajo la Norma ISO 9001-2015.

El plan de mantenimiento para los equipos de una empresa no es más que una combinación estratégica de los diferentes tipos o metodologías de mantenimiento que se le deben aplicar a cada equipo dependiendo su criticidad, esto es lo que se conoce como Modelos de Mantenimiento. La criticidad de cada equipo se establecerá mediante un Análisis basado en unos criterios de evaluación (tales como: Impacto a la Seguridad y Medio Ambiente, a la Calidad, a la Producción, a los Costos, etc.) que dependerán de las necesidades y prioridades de cada compañía. Este análisis debe realizarse (preferiblemente) con datos estadísticos reales que incluyan, como mínimo, los últimos 2 o 3 años de funcionamiento de los equipos, con el fin de establecer tendencias acertadas de comportamiento de los mismos. Por último, el análisis de criticidad debe ser realizado por un equipo interdisciplinario conformado por personal de las diferentes áreas involucradas en los criterios a evaluar; es decir, Seguridad Industrial, Producción, Calidad, Costos y, obviamente, Mantenimiento.

Una vez se implemente el Plan Estratégico de Mantenimiento, se deben establecer unos indicadores de desempeño que permitan evaluar la eficacia del mismo y, al mismo tiempo, identificar oportunidades de mejora. Algunos de los indicadores sugeridos para evaluar la gestión del mantenimiento son:

- Disponibilidad de Equipos Críticos:
$$\Sigma \text{Disp. De Equipos Críticos} / \text{N}^{\circ} \text{ de Equipos Críticos.}$$
- Disponibilidad por Imprevistos (o por Correctivo):
$$[\text{Horas totales} - \text{Horas de parada por Imprevistos (Correctivo)}] / \text{Horas Totales.}$$

- MTBF (Se puede calcular por equipo o global):
$$\text{N}^\circ \text{ de horas totales del período analizado} / \text{N}^\circ \text{ de averías.}$$
- MTTR (Se puede calcular por equipo o global)
$$\text{N}^\circ \text{ de horas de paro por avería} / \text{N}^\circ \text{ de averías.}$$
- Costo de Mantenimiento por Área o Equipo:
$$\text{Costo de Mantenimiento del Área o Equipo} / \text{Costo Total de Mantenimiento.}$$
- Índice de Mantenimiento Programado:
$$\text{IMP} = \text{Horas dedicadas a Mantenimiento programado} / \text{Horas totales de mantenimiento.}$$
- Índice de Mantenimiento Correctivo:
$$\text{IMC} = \text{Horas dedicadas a Mantenimiento Correctivo} / \text{Horas totales de mantenimiento.}$$

8. RECOMENDACIONES

Actualmente la empresa no maneja los costos asociados al mantenimiento de cada equipo, sino que se lleva un registro de los costos globales por área o centro de costo, sin diferenciarlos por máquinas o equipos. Se recomienda que se alinee la codificación sugerida en este trabajo con los procedimientos del departamento de contabilidad, de tal manera que se pueda llevar un registro detallado de los recursos invertidos en mantenimiento de cada equipo, teniendo en cuenta el área a la que pertenecen, y así determinar tendencias y puntos críticos que permitan tomar acciones específicas, por ejemplo: la repotenciación o cambio de equipo en un determinado momento.

La metodología del árbol de decisiones es muy útil debido a su sencillez, la visualización de la información de forma gráfica y la facilidad para traducirla a un lenguaje informático que permita realizar análisis de forma rápida y práctica. En este trabajo se utilizó para Analizar la Criticidad de los Equipos y asignarles los respectivos Modelos de Mantenimiento, pero, se podría contemplar la posibilidad de utilizar esta metodología para analizar otros aspectos importantes, como por ejemplo, la criticidad de repuestos en Inventario, utilizando criterios de decisión como: costo del repuesto, tiempo de entrega (ETA), Impacto en disponibilidad, tiempos de reparación o reemplazo, etc.

Como se mencionó en el desarrollo de esta investigación, las tareas de lubricación e inspecciones visuales son básicas y vitales para la conservación y desempeño óptimo de los equipos. Se sugiere implementar procedimientos “paso a paso” para la lubricación y formularios sencillos de diligenciar para las inspecciones, que permitan a los mismos operadores realizar estas tareas y reportar anomalías. Para esto, sería necesario realizar unas capacitaciones sencillas para la ejecución de estas tareas y socializar su importancia y relevancia a todo el personal.

Si la empresa decide adoptar este Plan Estratégico de Mantenimiento, debe continuar con su desarrollo mediante el establecimiento de las técnicas de Mantenimiento Preventivo más adecuadas que se podrían implementar en los equipos; Para esto sería necesaria la asesoría de una empresa especializada en estas tecnologías.

Adicional a lo anterior, se deben revisar las rutinas de mantenimiento que se tienen actualmente y adaptar sus actividades de acuerdo al tipo de equipo, su criticidad y modelo de mantenimiento propuesto así como elaborar las rutinas de Mantenimiento Preventivo que serán asignadas a aquellos equipos que no lo tienen actualmente. En las rutinas o planes de mantenimiento se deberán incluir las pruebas de condición y desempeño a ser aplicados con el fin de determinar posibles intervenciones necesarias; Para esto se podría continuar su taxonomía subdividiendo cada uno de ellos en Sistemas, Elementos, Componentes, etc. Dada la cantidad de equipos o máquinas, este sería un trabajo que llevaría bastante tiempo y necesitaría la conformación de un equipo de personas más numeroso y especializado, razón por la cual se sale del alcance del presente trabajo; Sin embargo, sería una buena forma de integrar conceptos dentro del departamento de mantenimiento y producción para lograr una Programa de Mantenimiento óptimo que traería consigo un uso eficiente de los recursos.

Por último, una vez organizada la información de los equipos como son: su codificación, criticidad, plan de mantenimiento adecuado, taxonomía (desglosando el equipo en sistemas, elementos y componentes), se recomienda la adquisición de un software de mantenimiento que permita almacenar y controlar los registros, facilite la programación oportuna de las actividades, permita la elaboración de reportes de seguimientos y/o indicadores y contribuya a la toma adecuada de decisiones.

BIBLIOGRAFIA

ALBA Pamela. Hablemos del uso de cuero y piel, dentro de la industria de la moda. [En línea]. <https://jk.edu.mx/hablemos-del-uso-de-cuero-y-piel-dentro-de-la-industria-de-la-moda/>. [Citado en 7 de abril de 2019].

Documentación. Presentación de trabajos académicos. NTC1486. Séptima Actualización. Bogotá DC: ICONTEC, 2018, 47 p.

FUR FREE ALLIANCE. Gucci announces fur-free policy! [En línea]. <https://www.furfreealliance.com/gucci-announces-fur-free-policy/>. [Citado en 7 de abril de 2019].

GARCÍA GARRIDO, Santiago. Organización y Gestión Integral de Mantenimiento. Madrid, España: Ediciones Díaz de Santos, 2003. 304 p ISBN-10: 84-7978-548-9

LUCIDCHART. Qué es un diagrama de árbol de decisión. [En línea]. <https://www.lucidchart.com/pages/es/que-es-un-diagrama-de-arbol-de-decision>. [Citado en 15 de agosto de 2019].

MEJIA ACEVEDO, Ramiro Andrés. Propuesta de un Modelo Gerencial para la Gestión del Mantenimiento Preventivo de la Flota Vehicular en la Transportadora COVOLCO. Universidad Industrial de Santander, Trabajo de Grado, 2017.

Referencias bibliográficas. Contenido, Formas y estructura. NTC 6166. Bogotá
DC: ICONTEC, 2016, 52 p.