

PROPUESTA DE UN MODELO DE MANTENIMIENTO PARA EL ÁREA DE
CORTE EN UNA COMPAÑÍA PRODUCTORA Y COMERCIALIZADORA DE
EMPAQUES DE CARTÓN CORRUGADO

BAYRON ALEJANDRO LOZANO ABADÍA
JHON EDINSON VALENCIA ALBORNOZ

DIRECTOR:
ALVARO JOSÉ TORRES PENAGOS

UNIVERSIDAD DEL VALLE
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
GUADALAJARA DE BUGA
2021

TABLA DE CONTENIDOS

GLOSARIO	3
1. Resumen	4
2. Introducción	5
3. Planteamiento del problema	7
4. Objetivos	11
4.1. Objetivo general	11
4.2. Objetivos específicos	11
5. Capítulo 1: descripción actual de las máquinas	12
5.1. Antecedentes	12
5.2. Descripción actual de las máquinas	13
6. Capítulo 2: Formulación de un modelo de mantenimiento	21
6.1. Antecedentes	21
6.2. Lineamientos del mantenimiento	22
6.3. Estandarización de los procesos de mantenimiento	27
6.4. Pronóstico de la carga de trabajo	30
7. Capítulo 3: Diseño de herramienta para la ejecución y control del mantenimiento	34
7.1. Antecedentes	34
7.2. Programa de mantenimiento preventivo	35
7.3. Indicadores para el área de aplicación y para los equipos	37
7.4. Herramienta para la automatización de formatos, actividades e indicadores	39
7.4.1. Menú principal	39
7.4.2. Indicadores	40
7.4.3. Menú Operarios	41
7.4.4. Menú Solicitudes de mantenimiento	42
7.4.5. Menú Programa de mantenimiento preventivo	43
7.4.6. Menú Equipos	43
7.4.7. Menú Tabla de equipos	45
7.4.8. Menú Solicitud de Orden de Trabajo	46
8. Conclusiones y recomendaciones	47
Bibliografía	49

GLOSARIO

AMFE: Siglas que hacen referencia al análisis modal de fallos y efectos, es un método para conocer a profundidad un equipo mediante la identificación de los sistemas y componentes que lo conforman, su función principal es detectar de forma preventiva, predictiva o anticipada cualquier anomalía que pueda ocurrir en la funcionalidad del equipo (Mora Gutierrez, 2009).

Macro: Una macro es una acción o un conjunto de acciones que se pueden usar para automatizar tareas. Las macros se graban en el lenguaje de programación Visual Basic para aplicaciones dentro de las herramientas de Microsoft Office. (Microsoft, 2020).

Mantenimiento: Conjunto de operaciones y cuidados necesarios para sostener la condición funcional de equipos y estado de máquinas a través del tiempo. (Dounce Villanueva, 1998)

Mantenimiento preventivo: es cualquier mantenimiento planeado que se lleva a cabo para hacer frente a las fallas potenciales. Puede realizarse con base en el uso (programado) o las condiciones del equipo (predictivo) (Duffuaa, Raoud & Dixon, 2000).

Modelo de mantenimiento: es una combinación de los tipos de mantenimiento en unas proporciones determinadas, y que se responde adecuadamente a las necesidades de los equipos. Podemos pensar que cada equipo necesitará una combinación distinta de los diferentes tipos de mantenimiento y una combinación determinada de tareas (Garcia Garrido, 2003).

Ofimática: Automatización, mediante sistemas electrónicos, de las comunicaciones y procesos administrativos en las oficinas. (Real Academia Española, 2019).

Plan de mantenimiento: es un documento que contiene el conjunto de tareas de mantenimiento programado que debemos realizar en una planta para asegurar los niveles de disponibilidad que se hayan establecido. (Garcia Garrido, 2003).

Programa de mantenimiento: lista detallada de tareas de mantenimiento requeridas, que incluye los intervalos con que debe realizarse el mantenimiento de manera cronológica. (Duffuaa, Raoud & Dixon, 2000).

SCAM: Sistemas computarizados para la administración del mantenimiento, en inglés CMMS, son herramientas de ayuda para la gestión y control del mantenimiento. (Duffuaa, Raoud & Dixon, 2000)

VBA: siglas referentes a *Visual Basic* y es el lenguaje de programación que utiliza Microsoft Office para programar Macros (Microsoft, 2020).

1. Resumen

El presente trabajo se desarrolla en una compañía productora y comercializadora de empaques de cartón corrugado ubicada en el municipio de San Pedro Valle del Cauca, para ello se realizó una propuesta de modelo de mantenimiento para el área de corte de una compañía del sector anteriormente mencionado, comenzando con la descripción de la situación actual de las máquinas con un análisis de criticidad de los equipos empleando una matriz de análisis modal de fallos y efectos (AMFE), para pasar a formular una planificación del mantenimiento donde se establecieron los lineamientos del mantenimiento, estandarización de los procesos del mantenimiento para su ejecución y pronóstico de la carga de trabajo que tendrán los operarios para finalizar con un programa de mantenimiento donde se encuentran todas las actividades y el cronograma para efectuar los respectivos mantenimientos a cada uno de los grupos de máquinas, programa que luego quedo inmerso dentro de un sistema computarizado para la administración del mantenimiento (SCAM) mediante Microsoft Excel, que se utilizaría para planificar ejecutar y controlar el mantenimiento del área de corte de la compañía.

2. Introducción

Hoy en día se define al mantenimiento como la función empresarial la cual, por medio de sus actividades de planificación, ejecución y control, permiten garantizar el funcionamiento regular y el buen estado de conservación de los equipos e instalaciones. Bajo este orden de ideas, se puede decir que el mantenimiento en la actualidad se enfoca en asegurar que todo activo físico, continúe desempeñando las funciones deseadas (García Monsalve, González S, & Cortés M, 2009)

La globalización ha hecho múltiples industrias están apuntando sus esfuerzos a reducir costos que no agreguen valor a sus productos o servicios. De acuerdo a lo anterior, estas organizaciones están buscando constantemente como mitigar los costos que influyen directamente en el valor final del bien ofrecido, por ello el mantenimiento debe funcionar como sistema que ayude a cumplir las metas y objetivos que se trazan las compañías. Contribuyendo a reducir costos, minimizar el tiempo muerto de los equipos, mejorar la calidad, incrementar la productividad y contar con equipo confiable, seguro y que logre la entrega oportuna de órdenes a los clientes (Duffuaa, Raoud & Dixon, 2000).

El mantenimiento debería entonces enfocar sus esfuerzos en minimizar los costos de mantenimiento, debido a que *“un proceso que tarda mucho tiempo puede estar ocultando una serie de desperdicios costosos, como esperas o errores en la planificación”* (Socconini, 2016), una mala administración del mantenimiento puede afectar directamente la calidad y el tiempo de respuesta a la demanda del cliente final, involucrando una o varias de las seis grandes pérdidas según la filosofía TPM. (fallas del equipo, ajustes de máquinas, averías menores, velocidad de operación reducida, defectos en el proceso, pérdidas de tiempo), por esta razón el área de mantenimiento debe enfatizar en una correcta planificación y programación de sus labores, además buscar que más del 90% de las acciones que se hagan estén planeadas y programadas, para obtener los beneficios de la planeación y la programación. (Duffuaa, Raoud & Dixon, 2000).

A nivel nacional esto se ve reflejado, según datos de la (Asociación Colombiana de Ingenieros, 2018) AICEM en Colombia se estima que cerca del 25% de las empresas enfocan sus esfuerzos en realizar mantenimientos correctivos programados, que se tienden a confundir con mantenimientos preventivos, cuando realmente deben ser vistos como ejecuciones tardías del mantenimiento, esto por una mala planificación y/o programación de los mismos, a su vez la (ACIEM) estima que cerca al 22% del presupuesto anual de las empresas corresponde a labores de mantenimiento y se ve representada en promedio en un 20% del total de los costos de producción, lo cual es superior a lo que plantean diversos autores como (Navarro, Pastor, & Mugaburu, 1997), (Mora Gutierrez, 2009) y (Smit, 2015), los cuales afirman que para una empresa de nivel nacional el costo de mantenimiento debe

estar entre un 8% y un 15%. El desconocimiento de estos costos en las organizaciones influye directamente en su competitividad en el mercado.

Para mitigar el problema de planeación y programación del mantenimiento, múltiples empresas actualmente implementan los llamados sistemas computarizados de administración de mantenimiento (**SCAM**) los cuales se utilizan para capturar, almacenar, recuperar y transmitir datos e información relacionados con los procedimientos de mantenimiento de equipos, plantas e infraestructura. Los sistemas actuales de administración del mantenimiento se usan particularmente para impulsar acciones de mantenimiento preventivo programadas, así como para administrar datos relacionados con la condición del equipo. (Amadi-Echendu, 2015). Estos sistemas tienen grandes beneficios entre los cuales está el incremento de la productividad, reducción de costos, y la utilización efectiva de los activos en las empresas con enfoques productivos. (Durán, 2011). El uso de herramientas informáticas computarizadas para administración del mantenimiento facilitara las tareas y actividades, simplificando procesos y creando costos competitivos para un mercado globalizado, minimizando la carga a quien dirige y controla la gestión del mantenimiento (Tavares L, 2000).

Por otra parte, el mantenimiento se hace indispensable desde el punto de vista normativo según la Resolución 0312 del 13 de febrero del 2019 donde se establece que las empresas con clasificación de riesgo **IV** (Clasificación actual de la empresa donde se realiza este trabajo) deben realizar mantenimientos periódicos de instalaciones, equipo, máquinas y herramientas, de acuerdo con las fichas técnicas de los mismos.

En cuanto al trabajo realizado en este documento, este se desarrolló en el área de corte de la empresa, primero se hizo una descripción del estado actual de las máquinas de acuerdo a sus funcionalidades, identificando modos de fallas y la criticidad de las mismas. Por consiguiente, se planifico; estableciendo las actividades de mantenimiento a realizar, un diagrama de flujo para estandarizar el proceso de mantenimiento, formatos de orden de trabajo y el pronóstico de carga de trabajo que estima el tiempo requerido para las intervenciones de los equipos por parte de los operarios. Para finalizar se desarrollo un programa de mantenimiento y se propusieron algunos indicadores para evaluarlo controlarlo, desde una herramienta para la automatización de formatos, actividades e indicadores con un interfaz visual e interactivo en *Microsoft Excel* ©.

3. Planteamiento del problema

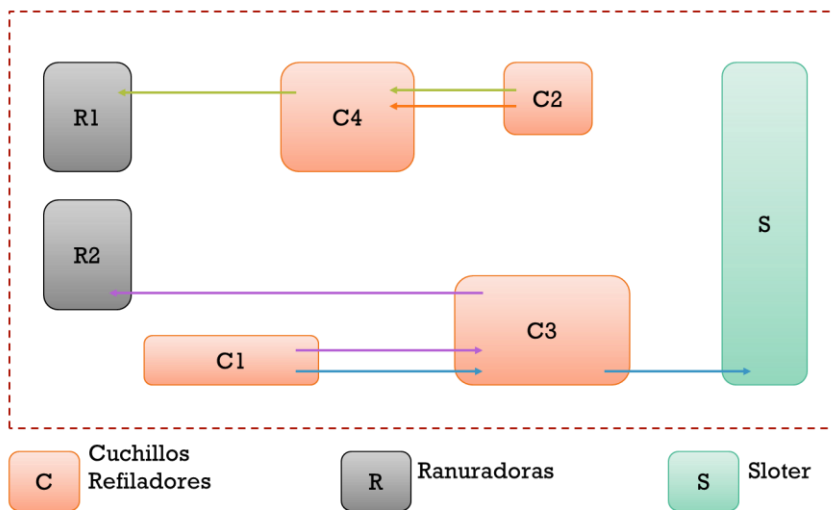
El siguiente caso de estudio se desarrolla en una compañía productora y comercializadora de empaques de cartón corrugado, ubicada en el centro del valle del cauca, la cual tiene más de 3200 referencias diferentes de productos, los cuales no están estandarizados debido a que dependen directamente de las necesidades del cliente, pero se pueden clasificar en cuatro tipos de productos básicos: Cajas rectangulares, panales, particiones y divisiones.

Para la producción de estos cuatro productos básicos, la compañía conforma un departamento de producción el cual está compuesto por tres procesos misionales:

- **Impresión:** Es un proceso en el cual debe diseñarse e imprimirse en un bastidor un arte determinado que contiene la información que el cliente especifique. Este solo se aplica a las cajas de cartón, antes de pasar a la sección de ensamble.
- **Ensamble:** En este proceso se pliegan las láminas de cartón con sus respectivos cortes y solapas de manera que queden compactas y listas para abrir y usar. Aquí se pliegan todos los tipos de productos por grupos de unidades y se dejan en la zona de despacho.
- **Corte:** Es el proceso principal en el cual se da la transformación de la materia prima, en este se cortan las láminas de cartón de diferentes formas para obtener un molde del producto, el cual es armado siguiendo con las guías de sus dobleces o cortes.

Estos tres procesos influyen directamente en la calidad del acabado final del producto, pero donde se presentan las fallas por falta de mantenimiento es en el proceso de corte, porque es único que utiliza maquinas industriales en su departamento, es el proceso principal de la producción y el que más tiempo y fuerza de trabajo necesita.

Proceso de corte y flujo del proceso



Fuente: Elaboración propia

El proceso de corte tiene a su vez diferentes subprocesos de acuerdo con el tipo de parte o tipo de producto a producir, este proceso cuenta con siete máquinas de tres tipos entre las cuales se encuentran:

- **Cuchillos Refiladores:** están conformados por unos rodillos que giran mediante un motor eléctrico, los rodillos cuentan con cuchillas circulares que aprisionan la lámina de cartón, dependiendo de qué tan separados se encuentren y el tipo de cuchilla se realiza un corte o un escore¹ en el cartón.
- **Ranuradoras:** son sierras dentadas circulares las cuales giran a altas revoluciones por minuto creando divisiones o ranuras para las aletas de las cajas o para panales.
- **Slotter:** es una prensa que funciona como un troquel, con cuchillas las cuales realizan las ranuras de las aletas en las cajas.

La compañía hasta el momento no cuenta con un plan, programa o un modelo de mantenimiento, desconoce en su totalidad las actividades necesarias para preservar el correcto funcionamiento de las máquinas (Dounce Villanueva, 1998), la filosofía de mantenimiento actualmente utilizada para las máquinas en la compañía, consiste en realizar un mantenimiento cuando se produce un fallo, se busca como disponer externamente de recursos o soluciones de acuerdo a la situación o modo de fallo de la máquina, incurriendo así en un tiempo no operativo de las máquinas,

¹ Son guías para los dobles realizados en el cartón al pasarlo por una cuchilla cóncava sin filo.

que dependerá directamente de la rapidez con la que se solucione dicha falla, afectando económicamente a la empresa en tiempos muertos de producción mientras no se encuentre una pronta solución.

Esta carencia de mantenimiento en las máquinas se ve reflejada en que, de acuerdo con datos suministrados por el Jefe de producción, las máquinas que conforman el proceso de corte incurren comúnmente en los siguientes problemas:

- Todas las cajas que pasan por el Slotter tienen un corte no prolijo, es decir queda con imperfecciones en los bordes, si el cliente exigiera un nivel de acabado para el producto ninguna de las cajas serían aceptadas, esto debido a que la máquina funciona mediante la aplicación de presión mecánica en unas cuchillas, que actúan como cizalladoras, las cuales nunca se afilan o calibran, y deben estar a determinada distancia entre sí ya que si están muy separadas como es el caso, generan cortes irregulares o si llegan a aproximarse mucho, la presión haría que las cuchillas se quebraran, pudiendo así llegar a afectar la integridad del operario.
- Cuando los clientes que exigen un acabado prolijo en el producto final se deben realizar las tareas del Slotter en la Ranuradora, la cual no está diseñada para ello, lo que conlleva a un costo de procesamiento mayor. En promedio una unidad procesada en el Slotter tarda 30 segundos, mientras en la Ranuradora tarda aproximadamente 4 minutos.
- Se estima que en promedio 1 de cada 5 cajas tiene fisuras internamente en su base debido al “doblez” y dependiendo de si la afectación a la resistencia del material es muy grave, se debe desechar dicha unidad de producto.
- En el caso de los Cuchillos Refiladores en gran parte de los casos la lámina de cartón se tuerce a medida que es cortada a causa de la falta de calibración del equipo y el filo imperfecto de la cuchilla, esto conlleva a que el operario requiere de más tiempo para realizar la labor de corte debido a que debe hacerlo lo más cuidadosamente posible con el fin de minimizar la desviación del corte.
- Comúnmente ocurre que los Cuchillos y Ranuradoras funcionen con un rendimiento inferior en vista que los rodamientos acumulan restos de cartón muy pequeños, los cuales absorben parte del lubricante de estos y aumentan la fricción de los componentes en las máquinas.

Por la falta de control en el mantenimiento en la empresa:

- No se lleva registro de fallas y paradas de los equipos por mantenimiento correctivo. Cuando ocurre una parada en el proceso, la compañía terceriza todas las actividades de mantenimiento para repararlo en el menor tiempo posible ya que el flujo de producción es continuo. De manera que la compañía subcontrata el mantenimiento, pierde información sobre la falla que presentó la máquina, los recursos y herramientas que fueron utilizados para la reparación de esa máquina.
- No existen indicadores que expresen el tiempo de producción perdido por falta de mantenimiento. A pesar de que el proceso es continuo y una parada en la línea es muy notoria, no hay indicadores como la confiabilidad y disponibilidad operacional.

Una de las razones por las cuales actualmente no se lleva a cabo el mantenimiento de los equipos es debido a la falta de planificación y programación, esto se debe a que genera una **carga indirecta al Jefe de producción**, y no dispone del tiempo suficiente para realizar.

Por todas estas razones, es necesario definir las bases, políticas, formas de actuación, definir con claridad los objetivos y valorar su cumplimiento, e identificar oportunidades de mejora; De manera concisa, es necesario el mantenimiento. (García Garrido, 2003). Lo cual da lugar a plantear la siguiente pregunta problema:

¿Cómo debería diseñarse un modelo de mantenimiento a partir de las necesidades de las máquinas en el proceso de corte en una empresa productora y comercializadora de empaques de cartón corrugado?

4. Objetivos

4.1. Objetivo general

Proponer un modelo de mantenimiento a partir de las necesidades de las máquinas para el proceso de corte del área de producción de una compañía productora y comercializadora de empaques de cartón corrugado ubicada en el centro del Valle del Cauca.

4.2. Objetivos específicos

1. Describir la situación actual de las máquinas en función de su criticidad mediante la técnica de análisis de causas, efectos y modos de fallo.
2. Formular un plan de mantenimiento a partir de las necesidades de las máquinas donde se involucre la planificación de las actividades.
3. Diseñar un programa de mantenimientos mediante el uso de Macros en Excel que permita programar la ejecución y a su vez el control de las actividades de mantenimiento.

5. Capítulo 1: descripción actual de las máquinas

Actualmente no es justificable que se realice el mismo tipo de mantenimiento para toda una planta de producción (por ejemplo, correctivo o preventivo, etc.), porque cada equipo ocupa una posición distinta en el proceso industrial, y tienen unas características propias que lo hacen diferente al resto (García Garrido, 2003). De acuerdo a lo anterior en este primer capítulo se hace de manera indispensable antes de pensar en un Modelo de Mantenimiento contar con información relevante que ayude a identificar que máquinas se encuentran disponibles y cuál es la función que desempeñan dentro del proceso productivo. Además, se realiza un proceso de recopilación de las fallas más comunes que presentan las máquinas identificadas anteriormente, para finalizar este capítulo con una jerarquización de los equipos de acuerdo a su criticidad utilizando el método de Análisis modal de fallos y efectos (AMFE).

5.1. Antecedentes

(González Sosa et al., 2018) en su artículo busca mejorar los rangos de tiempo en el mantenimiento a través de situaciones críticas de un producto o sistema, para lo cual utiliza el análisis modal fallos y efectos con una metodología de análisis de selección de equipo, especificaciones técnicas, identificación de partes del sistema o máquina, establecimiento de criterios, identificación de responsable y la aplicación del **análisis modal de fallas y efectos (AMFE)**, donde obtuvo como resultado una descripción detallada de los elementos críticos del sistema. Es decir, caracterizó la situación de las máquinas en función de su criticidad, para posteriormente plantear actividades que mitiguen el riesgo de falla de las máquinas.

A su vez (Díaz, A; Del Castillo, A; Cabrera, J & Toledo, M., 2016) plantean un modelo multicriterio que permite determinar la criticidad y complejidad para los equipos y sistemas tecnológicos de una central eléctrica, mediante la aplicación de herramientas cualitativas y cuantitativas. Para posteriormente realizar un proceso de **jerarquización multicriterio** para ello realizaron un análisis de los diferentes factores a tener en cuenta para la criticidad, como el impacto a la producción, nivel de utilización del equipo, costo promedio en mantenimiento, entre otros; Esto para la obtención del nivel de criticidad de las máquinas.

Por otro lado (Subriadi & Najwa, 2020) en su artículo diseñan un modelo de **análisis modal de fallas y efectos mejorado**, en busca de reducir la subjetividad del modelo y obtener un índice de probabilidad de riesgo (**IPR**) más coherente de acuerdo a los criterios establecidos, con este artículo lograron identificar que tan empíricos son los resultados obtenidos por el análisis modal de fallas y efectos

tradicional, y se obtuvo como resultado unos índices de consistencia y correlación de ambos modelos de la matriz **AMFE**, validando así el modelo propuesto.

5.2. Descripción actual de las máquinas

Para abordar el primer capítulo de este trabajo de investigación se indago el jefe de producción de la compañía sobre cuales máquinas se tenían disponibles en el área de corte, además si contaban con su respectiva ficha técnica, en caso de no existir dicho recurso procederíamos a diseñar un formato de ficha técnica donde se describieran algunas características básicas y las funciones que estas cumplen. El resultado de interactuar con el Jefe de Producción arrojó que la empresa productora de cajas, cuenta con unas fichas técnicas por cada máquina, fichas que serían verificadas al cumplimiento de nuestras necesidades. En cuanto al listado de las máquinas se decidió construir uno en el cual categorizara las máquinas por grupos de acuerdo a su funcionalidad.

En el área de corte de la compañía productora de cajas se encontraron ocho máquinas divididas en un Slotter, cuatro Cuchillos Refiladores, dos Ranuradoras, y una Troqueladora. Cabe aclarar que la Troqueladora no se utiliza hace varios años debido a que no se están vendiendo productos que requieran su uso, teniendo en cuenta que la Troqueladora no se encuentra en uso la estación de corte cuenta con tres grupos de máquinas (Slotter, Cuchillos Refiladores, Ranuradoras). (*Observar Tabla 1*)

Después de construir la lista de máquinas e identificar cuáles y cuantos son los equipos que componen el área de corte de la compañía, se verifico que las fichas técnicas de las máquinas son adecuadas para nuestra investigación, porque brindan información actualizada sobre las características básicas y descripción de su funcionalidad dentro del proceso de corte. (*Observar Figura 1*)

Tabla 1. Listado de máquinas

Listado de maquinas			
Empresa: Productora de Cajas de Cartón Corrugado			
Area: Corte			
N°	Código	Grupo	Nombre
1	G0000MAQ0007	A	Slotter
2	B0000MAQ0001	B	Cuchillo Refilador N°1
3	B0000MAQ0002	B	Cuchillo Refilador N°2
4	B0000MAQ0003	B	Cuchillo Refilador N°3
5	B0000MAQ0004	B	Cuchillo Refilador N°4
6	Q0000MAQ0005	C	Ranuradora N°1
7	Q0000MAQ0006	C	Ranuradora N°2
8	F0000MAQ0008	D	Troqueladora

Elaboración Propia.

Fuente: Jefe de producción.

Figura 1. Ficha técnica de maquinaria

FICHA TÉCNICA DE MAQUINARIA			
ÚLTIMA ACTUALIZACIÓN	31/3/2020		
INFORMACIÓN DEL EQUIPO			
MÁQUINA - EQUIPO	PAPER CUTTING MACHINE	DENOMINACIÓN	SLOTTER N°1
FABRICANTE	SSS CORRUGATED PAPER MACHINERY CO.	UBICACIÓN	BODEGA PRINCIPAL
MODELO	2865	ÁREA - SECCIÓN	CORTE (PRODUCCIÓN)
MARCA	SSS	CÓDIGO ACTIVO FLUJO	G0000MAQ0007
FOTOGRAFÍA DEL EQUIPO EN UTILIZACIÓN ACTUAL			
			
DIMENSIONES Y CARACTERÍSTICAS FÍSICAS			
PESO	(SABEMOS QUE PESA MUCHO)	ANCHO	368 CM
ALTURA	189 CM	COLOR	AZUL, AMARILLO
LARGO	141 CM	COMPOSICIÓN	METALES
INFORMACIÓN TÉCNICA			
AMPERAJE (MOTOR)	18,64 A	ÁREA TRABAJO	368 X 70 CM
VOLTAJE (MOTOR)	220 V	VELOCIDAD MAX (CONTROL)	45 REV/MIN
POTENCIA (MOTOR)	5,5 HP	CAPACIDAD	4 LÁMINAS A LA VEZ
USOS Y APLICACIONES			
SE EXIGE EXTREMADA PRECISIÓN. MÁQUINA DE ALTO RIESGO Utilizada para las divisiones de las aletas de las cajas de una pieza. La máquina ejerce una gran presión con sus cuchillas sobre el cartón realizando un corte limpio, retirando una parte de este y dejando un espacio entre las aletas.			

Elaborado por: jefe de producción.

Fuente: jefe de producción.

Las otras fichas técnicas se pueden encontrar en el apartado de los anexos de este documento. Al conseguir las fichas técnicas de los cuatro grupos de máquinas, se elaboró una tabla de los modos de fallas (solo para las máquinas que están en uso en el área de corte actualmente), es decir la manera en la que la máquina pierde su función, los efectos y consecuencias de estos modos, los cuales hacen referencia a la condición en que la falla se manifiesta en la máquina. (Observar **Tabla 2**).

Dieciocho son los fallos más comunes que presentan las máquinas de la estación de corte debido a la falta de mantenimiento, causando defectuosos en el producto final. Para este proceso se realizó una entrevista a los operarios y al Jefe de Producción los cuales están relacionados con las máquinas y el proceso constantemente. Esta información sirvió para la construcción de la Tabla 2 y también útil para elaborar la matriz AMFE.

Tabla 2: Modos de fallas del área de corte por grupo de máquinas.

Modos de fallas del área de corte por grupo de maquinas		
Empresa: Productora de cartón Corrugado		
Área: Corte		
No Falla	Grupo de maquina	Modo de falla
1.1.1.1.	Slotter	Cuchilla sin filo
1.1.1.2.	Slotter	Desalineación de las cuchillas
1.1.2.1.	Slotter	Salto en la correa de arrastre
1.1.2.2.	Slotter	Perdida de holgura en las correas
1.1.2.3.	Slotter	Motor no arranca o para
1.1.2.4.	Slotter	Daño en las poleas de transmisión
2.1.1.1.	Cuchillo retilador	No arranca el motor.
2.1.1.2.	Cuchillo retilador	Los ejes de rodamientos están atascados (o alguna parte del sistema mecánico).
2.1.1.3.	Cuchillo retilador	Las cuchillas se encuentran mal ajustadas al eje.
2.1.2.1.	Cuchillo retilador	Presión inadecuada entre los ejes.
2.1.2.2.	Cuchillo retilador	Las cuchillas no están centradas entre sí.
2.1.2.3.	Cuchillo retilador	La velocidad de giro no es la adecuada.
3.1.1.1.	Ranuradora	Perdida de filo de los dientes del disco de corte
3.1.2.1.	Ranuradora	Botones no funcionales
3.1.3.1.	Ranuradora	Salto en la correa de arrastre
3.1.3.2.	Ranuradora	perdida de holgura en las correas
3.1.3.3.	Ranuradora	Motor no arranca o para
3.1.3.4.	Ranuradora	Daño en las poleas de transmisión

Elaboración Propia.

Fuente: jefe de producción.

Teniendo identificados los modos de fallas más comunes o frecuentes por grupo de máquinas en el área de corte de la compañía productora de cajas de cartón corrugado, provocados por la falta de planificación y control de mantenimientos preventivos, se desarrolló una Matriz de Modos de Fallos y Efectos, con el fin de priorizar los modos de falla, clasificando de mayor a menor su nivel de precedencia en la línea de corte para cada uno de los grupos de máquinas, en este proceso

como en el anterior fue de vital importancia la ayuda de los operarios de estas máquinas y el Jefe de Producción aportando información como;

- **Efectos de falla;** Describe los problemas que están generando cada una de las fallas en la máquina, producto terminado y en la línea de corte. Ejemplo; Ranuras con bordes no prolijo, frenado de la línea, daño en las bobinas del motor.
- **Consecuencias de falla;** Describe los síntomas que están provocando cada una de las fallas tanto como en la máquina, como en el producto final.
- **Ocurrencia de falla (O);** Determina la probabilidad de que suceda un fallo.
- **Severidad de falla (S);** Determina la gravedad del fallo percibida.
- **Criticidad (IPR);** Determina el riesgo de criticidad de los modos de fallas y sus efectos.

Para evaluar los modos de falla de acuerdo a la ocurrencia y severidad, se consultó con los tres operarios de mayor experiencia en el área de corte de la compañía y se llegó a una concertación entre ellos para calificar estos dos criterios del uno al nueve, teniendo a consideración las tablas a continuación. (Observar *Tabla 3 y Tabla 4*).

Tabla 3: Evaluación de modos de falla Ocurrencia (O).

Ocurrencia	Probabilidad de Fallo	Índice de Ocurrencia (O)
Menor	Es Impensable esperar que se produzca un fallo, porque se tiene gran experiencia.	1
		2
Baja	Probabilidad de muy pocos fallos.	3
		4
Moderada	Probabilidad moderada de que se produzca fallo. Los fallos aparecen de forma ocasional.	5
		6
Alta	Probabilidad alta de que se produzcan fallos, puesto que el proceso no se encuentra bajo control y capacidad no está asegurada.	7
		8
Muy Alta	Casi con toda seguridad se producirán fallos.	9

Elaboración Propia.

Tabla 4: Evaluación de modos de falla Severidad (S).

Severidad	Criterio de gravedad	Índice de Severidad (S)
Menor	Escasa importancia. No influirá en el producto. El cliente no se percatará de su existencia.	1
		2
Baja	El cliente lo puede detectar, pero apenas le causa molestias. No supone disminución de las prestaciones del producto.	3
		4
Moderada	El cliente probablemente detectará el fallo y le provocará cierta molestia, aunque no es un rechazo total. Puede suponer ciertos gastos para eliminar el conflicto.	5
		6
Alta	Gran descontento por parte del cliente, ya que acarrea gastos de reparación altos y disminución de las prestaciones del producto.	7
		8
Muy Alta	Fallo muy grave que aparece sin advertencia previa y puede originar graves problemas a los usuarios. Incumplimiento de normas de seguridad, reglamentos, etc.	9

Elaboración Propia.

Ecu. 1: $Criticidad = Ocurrencia\ de\ falla \times Severidad\ de\ falla$

El resultado de la matriz (AMFE) es la criticidad que resulta de multiplicar Ocurrencia por Severidad, como lo realizaron (Subriadi & Najwa, 2020). La criticidad permitirá tomar acciones que mitiguen los modos de fallas con mayor riesgo de criticidad. En este caso se busca garantizar el funcionamiento regular de las máquinas y que este activo se conserve con el tiempo (*Observar Figura 2*).

Figura 2: Matriz de análisis modal de fallos y efectos (AMFE).

Fecha: 15/03/2020 Elaborado por: Bayron Lozano		Titulo: Matriz de análisis modal de fallos y efectos											
Máquina	Función	Falla Funcional	Modos de falla	Efectos de falla (Problema)	Consecuencias (Síntomas)	Acciones correctivas propuestas (solución inmediata)	Acciones de mitigación y prevención del riesgo	(O)	(S)	IPR			
1. Slotter	1.1. Realizar las ranuras para las aletas de las cajas	1.1.1. Cuchillas realizan ranuras no prolijos	1.1.1.1. Cuchillas sin filo	Mascado del cartón en la parte del corte.	Disminución en la calidad del producto final	Cambio de rodamientos y cuchillas por horas de uso	Compra de cuchillas y balineras, mantener inventario de las mismas	8	8	64			
				Ranuras con bordes no prolijo	Disminución en la calidad del producto final, pérdida de la capacidad de peso de las cajas		Afilar las cuchillas mediante una empresa externa especializada en metalmeccanica.						
			1.1.1.2. Desalineación de las cuchillas	Desgaste excesivo de las partes que transmiten movimiento	Vibraciones exageradas en funcionamiento	N/A	Cambio de balineras cada x horas de uso	6	9	54			
				Sonidos o golpeteos internamente en el sistema piston	N/A	Verificación de perno del cigüeñal							
		1.1.2. Daño en el sistema de transmisión	1.1.2.1. Saltos en las correa de arrastre	salida de la correa de las poleas y marcha en blanco de la máquina	Sonido inconstante del compresor en funcionamiento	Ajuste de tensor de correa	Inspección visual de la correa de transmisión	4	3	12			
			1.1.2.2. pérdida de holgura en las correas	Reducción de la vida útil de la correa	Golpeteo de la correa contra la guarda	Ajuste de tensor de correa	Cambio de correa	3	4	12			
				saltos en la correa que transmite movimiento al cilindro (efecto látigo)	Patinado de la transmision al arrancar	Cambio de correa porhoras de uso o cuando tenga determinada holgura	limpieza de la correa de transmision						
			1.1.2.3. Motor no arranca o para	Daño en el sistema eléctrico	Sonido del bobinado del motor al intentar arrancar	Contacto a empresa externa que provea servicio de reparación	Medición de las resistencias de los devanados del motor y verificación de bobina de arranque	2	6	12			
				Daño en las bobinas del motor	Olor a cable quemado	Inspección visual del cableado de la máquina y medición del amperaje del motor en funcionamiento							
			1.1.2.4. Daño en las poleas de transmisión	Desgaste en el eje de la polea	Ruidos agudos en la transmisión	Cambio de eje y/o polea	Inspección visual del conjunto eje, correa y polea.	2	5	10			
				Deslizamiento de la polea, la correa no agarra o patina	Marcha en blanco de la máquina	limpieza con desengrasante de la transmisión	limpieza de la correa de transmision, polea y guarda correa.						
			2. Cuchillo reafilador	2.1. Realizar cortes y escores rectos de manera continua y prolija a lo largo de la lámina de cartón con base en el tipo de materia prima.	2.1.1. No giran las cuchillas y/o estas no cortan de forma prolija.	2.1.1.1. No arranca el motor.	Mascado del cartón en la parte de corte.	Velocidad reducida.	limpieza constante.	Análisis de pérdida de filo de las cuchillas con base en el tiempo de funcionamiento de la máquinas.	2	7	14
						2.1.1.2. Los ejes de rodamientos están atascados (o alguna parte del sistema mecánico).	Atascado de la lámina del cartón en los rodillos.	Demora en puesta en marcha.	Lubricación periódica en los respectivos sistemas mecánicos.	Inspección periódica al moto y toda la parte eléctrica de la máquina. Verificar rendimiento real vs. Nominal.	2	5	10
2.1.1.3. Las cuchillas se encuentran mal ajustadas al eje.	Frenado de la producción.	Cuellos de botella.					Afilar continuamente las cuchillas.	Capacitación al personal sobre el uso adecuado de la máquina y los procedimientos de ajuste de las cuchillas y demás aspectos.	5	9			
2.1.2. No se realizan los scores de forma correcta (prolija).	2.1.2.1. Presión inadecuada entre los ejes.	Escores rasgados.			Aumento de desperdicio y fallas.	Cambio de resortes en los tensores de presión de los ejes.	Verificar presión de los ejes mediante un instrumento de medición (implementario).	8	9	72			
	2.1.2.2. Las cuchillas no están centradas entre sí.	Cortes y escores torcidos.			Agotamiento (más) acelerado de materia prima.	Restaurar recubrimientos de caucho de los rodillos guidores del cartón.	Capacitación al personal sobre el uso adecuado de la máquina y los procedimientos de ajuste de las cuchillas y demás aspectos.	7	9	63			
	2.1.2.3. La velocidad de giro no es la adecuada.	Desperdicio de materia prima.			Necesidad de horas extras y reprocesos.	Ajustar y/o cambio de guisa que permiten centrar las cuchillas entre sí.	Inspección periódica al motor y toda la parte eléctrica de la máquina. Verificar rendimiento real vs. Nominal.	5	8	40			
	3.1.1. Las ranuras no tienen un corte prolijo	3.1.1.1. Pérdida de filo de los dientes del disco de corte			Mascado del cartón en la parte del ranurado.	Disminución en la calidad del producto final, pérdida de la capacidad de peso de las cajas	Afilado de los dientes de discos de corte	Compra de discos de corte con un dentado más fino y mantener inventario de los mismos	6	9	54		
Ranuras con bordes no prolijo					Disminución en la calidad del producto final								
3.1.1.2. Mecanismo de apagado de emergencia		3.1.1.2.1. Botones no funcionales			Caida o mal funcionamiento de mecanismos de parada de emergencia	Imposibilidad de parar la máquina en caso de accidente laboral o emergencia	Cambio de componente eléctrico averiado	Comprade repuestos eléctricos y mantenimiento de inventario de los mismos	4	5	20		
								Revisión del estado de la máquina antes de iniciar labores					
3.1.3. Daño en el sistema de transmisión		3.1.3.1. Saltos en las correa de arrastre			salida de la correa de las poleas y marcha en blanco de la máquina	Sonido inconstante del compresor en funcionamiento	Ajuste de tensor de correa	Inspección visual de la correa de transmisión	4	5	20		
					3.1.3.2. pérdida de holgura en las correas	Reducción de la vida útil de la correa	Golpeteo de la correa contra la guarda	Ajuste de tensor de correa	Cambio de correa	2	4	8	
	3.1.3.3. Motor no arranca o para	Daño en el sistema eléctrico			Sonido del bobinado del motor al intentar arrancar	Medición del amperaje del motor en funcionamiento	Medición de las resistencias de los devanados del motor y verificación de bobina de arranque	1	6				6
	Daño en las bobinas del motor	Olor a cable quemado	Inspección visual del cableado de la máquina										
	3.1.3.4. Daño en las poleas de transmisión	Desgaste en el eje de la polea	Ruidos agudos en la transmisión	Cambio de eje y/o polea	Inspección visual del conjunto eje, correa y polea.	3	3	9					
		Deslizamiento de la polea, la correa no agarra o patina	Marcha en blanco de la máquina	limpieza con desengrasante de la transmisión	limpieza de la correa de transmision, polea y guarda correa.								

Elaboración Propia.
Fuente: jefe de producción

En el Slotter se identificaron seis modos de fallos. La falla funcional de mayor criticidad fue; **Cuchillas que realizan ranuras no prolijas**, teniendo los modos de falla más críticos de la maquina a **Cuchillas sin filo** con 64 de criticidad, seguido de **Desalineación de las cuchillas** 54 de criticidad, el primero causando disminución de la calidad del producto final y perdida de la capacidad de peso de las cajas, en cuanto al segundo modo de falla vibraciones exageradas en el funcionamiento y sonidos o golpes intermitentes en el pistón.

En los Cuchillos Refiladores se identificaron también seis modos de fallos como en el Slotter. La falla funcional de mayor criticidad fue; **No se realizan los Scores de forma prolija**, teniendo los modos de falla más críticos de la maquina a **Presión inadecuada entre los ejes** con 72 de criticidad, seguido de **Las cuchillas no están centradas entre sí** con 63 de criticidad, el primero causando aumento de desperdicio y fallas, en cuanto al segundo modo de falla agotamiento acelerado de la materia prima.

En las Ranuradoras se identificaron también seis modos de fallos como en el Slotter y los Cuchillos Refinadores dando un total de diez y ocho modos de fallas en el área de corte de la compañía productora de cajas. La falla funcional de mayor criticidad en las Ranuradora fue; **Las Ranuras no tienen un corte prolijo**, teniendo los modos de falla más críticos de la maquina a **Perdida de filo de los dientes del disco de corte** con 54 de criticidad, causando disminución en la calidad del producto final y perdida en la capacidad de peso de las cajas.

Por consiguiente, se realizó una tabla resumen donde contenía todos los modos de fallas encontrados en el área de corte de la empresa productora de cajas, clasificados según su grupo de máquinas y un código de criticidad que sería equivalente a número de falla. También estos modos de fallos fueron debidamente analizados por los operarios que dieron calificaciones subjetivas de acuerdo a la ocurrencia del modo de fallo (O) y la severidad del modo fallo (S), para de esta manera obtener los valores de criticidad (IPR). (*Observar Tabla 5*)

Tabla 5: Criticidad de los Modos de fallas.

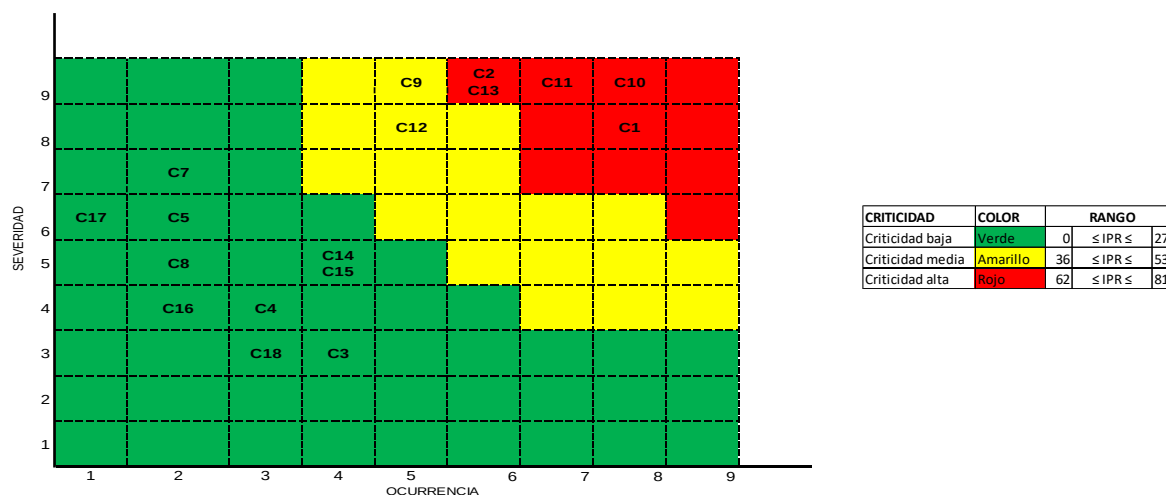
TABLA RESUMEN CRITICIDAD MODOS DE FALLA					
IDENTIFICACIÓN			ANÁLISIS		IPR
COD. CRITICIDAD	G. MAQUINA	MODOS DE FALLA	(O)	(S)	
C1	Slotter	Cuchilla sin filo	8	8	64
C2	Slotter	Desalineación de las cuchillas	6	9	54
C3	Slotter	Salto en la correa de arrastre	4	3	12
C4	Slotter	Perdida de holgura en las correas	3	4	12
C5	Slotter	Motor no arranca o para	2	6	12
C6	Slotter	Daño en las poleas de transmisión	2	5	10
C7	Cuchilloafilador	No arranca el motor.	2	7	14
C8	Cuchilloafilador	Los ejes de rodamientos están atascados (o alguna parte del sistema mecánico).	2	5	10
C9	Cuchilloafilador	Las cuchillas se encuentran mal ajustadas al eje.	5	9	45
C10	Cuchilloafilador	Presión inadecuada entre los ejes.	8	9	72
C11	Cuchilloafilador	Las cuchillas no están centradas entre sí.	7	9	63
C12	Cuchilloafilador	La velocidad de giro no es la adecuada.	5	8	40
C13	Ranuradora	Perdida de filo de los dientes del disco de corte	6	9	54
C14	Ranuradora	Botones no funcionales	4	5	20
C15	Ranuradora	Salto en la correa de arrastre	4	5	20
C16	Ranuradora	perdida de holgura en las correas	2	4	8
C17	Ranuradora	Motor no arranca o para	1	6	6
C18	Ranuradora	Daño en las poleas de transmisión	3	3	9

Elaboración Propia.

Fuente: jefe de producción.

Una vez obtenido el valor de criticidad, se construye la Matriz de Criticidad para determinar el nivel de criticidad de acuerdo con los valores de IPR y la jerarquización establecidos anteriormente en las tablas 3 y 4. (Observar **Figura 3**).

Figura 3: Matriz de criticidad de los modos de falla.



Elaboración Propia.

Fuente: Jefe de Producción

Los resultados obtenidos de esta matriz, serán analizados en el siguiente capítulo para definir acciones que minimicen los impactos asociados a los modos de fallas identificados que causan las fallas funcionales, provocando productos defectuosos y demoras en la línea de producción entre otros. (DAFP, 2018)

6. Capítulo 2: Formulación de un modelo de mantenimiento

El objetivo del presente capítulo es formular un modelo de mantenimiento, basado en las necesidades de las máquinas, planificando las actividades de mantenimiento. La planeación del mantenimiento es el proceso mediante el cual se determinan los elementos necesarios para realizar una tarea, antes del momento en que se inicie dicho trabajo, mientras que la programación tiene que ver con la hora o momento específico y establecimiento de las fases o etapas de los trabajos a realizar (Duffuaa, Raoud & Dixon, 2000).

6.1. Antecedentes

(Ospina Molina, C & Balanta González, J., 2019) en este documento detallan una propuesta para implementar un sistema de gestión integral de activos en una empresa del sector papelerero del Valle del Cauca, dónde hacen énfasis en el área de mantenimiento, según Ospina y Balanta “Un sistema de gestión integral de activos facilita la planificación, programación y control de la ejecución del mantenimiento, buscando siempre una mejora continua y teniendo en cuenta aspectos económicos relevantes para la compañía.” En este modelo de gestión obtuvieron como ellos lo llaman “unos costos de mantenimiento acordes a estándares internacionales”, siendo retribuido en el costo final por tonelada de producto, todo esto obtenido mediante la planificación, programación y control del mantenimiento, mediante la implementación del sistema de gestión integral de activos.

(Falla Albarracín, 2015) describe de manera precisa la metodología utilizada para el desarrollo e implementación de un modelo de gestión de mantenimiento, a su vez estructura de manera gerencial y jerárquica la composición del modelo, mediante la propuesta de usar diferentes indicadores para la medición y control del departamento de mantenimiento y la evaluación económica del modelo al ser implementado.

A su vez (Grass Arenas, 2011) plantea los procesos y programas complementarios relacionados a la gestión de mantenimiento y los indicadores de gestión relevantes para medir en los diferentes niveles de decisión. En su proyecto de grado para obtener una especialización en gerencia del mantenimiento.

De igual manera, (Montaña Bernal, 2006) relata de manera metodológica el diseño y desarrollo de un modelo de gestión del mantenimiento, para ello utiliza una serie de “*factores de equilibrio*” en el modelo, mediante una propuesta estratégica basada en la optimización de las labores y disminución de tiempos de entrega, a su vez

enfatisa en el mantenimiento preventivo con base en las condiciones (Mantenimiento predictivo) y el cálculo del costo productivo por horas de mantenimiento y su afectación en la eficiencia global productiva.

(Viveros, Stegmaier, Kristjanpoller, Barbera & Crespo., 2013) presentan una metodología para la gestión integral del mantenimiento, mediante el uso de herramientas del mantenimiento basado en confiabilidad (RCM), teniendo en consideración la característica de mejora continua en el tiempo. A su vez se explica la importancia que tiene la alineación de objetivos a todo nivel organizacional para lograr la integración y correcta gestión de la unidad de mantenimiento. El modelo que presentan se compone de siete principales etapas, las cuales deben desarrollarse progresivamente según el escenario de la organización caso de estudio, haciendo énfasis en la gestión y optimización sostenida en el tiempo de procesos asociados a la planificación, programación y ejecución del mantenimiento. Adicionalmente, el modelo que presentan complementa herramientas de apoyo para el desarrollo e implementación de las etapas, y características operacionales reales, las cuales según definen los autores “podrían afectar el desempeño de la unidad de mantenimiento”. Finalmente, cómo resultado se presenta un modelo de gestión de mantenimiento el cual sigue una secuencia lógica de actuación jerarquizada.

6.2. Lineamientos del mantenimiento

Para la organización del mantenimiento se plantea continuar con la estructura actual con la que cuenta la empresa, es una estructura centralizada y casi autónoma, la cual busca que gran parte de las actividades de mantenimiento sean realizadas por los operarios mismos que en su mayoría tienen los conocimientos teórico-prácticos y aptitudes para la realización de estas, mediante el trabajo conjunto de los cuatro operarios de producción, disponiendo así de parte del tiempo de trabajo.

De acuerdo con la información obtenida de la empresa y la experiencia al evidenciar el funcionamiento o requerimientos de mantenimiento de las máquinas y equipos, se sugiere la implementación de filosofías preventivas y correctivas. La filosofía correctiva se aborda ya que, de acuerdo a la información recolectada en la entrevista con el Jefe de Producción y Personal Operativo, debido a que en algún momento las máquinas son susceptibles a presentar un fallo imprevisto, por lo que se debe tener presente que se requiere equipo capacitado y materiales para realizar un mantenimiento correctivo y reestablecer la condición funcional de la máquina (Duffuaa, Raoud & Dixon, 2000). Básicamente lo que se hace es únicamente lo necesario para mantenerlas en operación sin invertir en cuidados significativos (mantenimiento hasta el fallo). Además, se debe tener en cuenta que fueron

adquiridas como maquinaria industrial excedente, aumentando las probabilidades de sufrir fallas durante la operación.

La filosofía de mantenimiento preventivo se considera en parte por lo anteriormente mencionado, porque es una estrategia acertada para aumentar la vida útil de los equipos y reducir las probabilidades de fallo (Tavares, 2000), esto se ve reflejado (potencialmente) en la reducción de costos de reparación, disminución de paros no planeados y directamente el aumento de la disponibilidad de los equipos, y como factor principal se encuentra la notable mejoría en la calidad final del producto

Con el fin de cumplir el objetivo del presente capítulo, se definieron en primera instancia las actividades de mantenimiento preventivo con el fin de mitigar la probabilidad de ocurrencia de cada uno de los modos de fallo a su vez se describieron las actividades realizadas para dar solución inmediata a dichos modos de fallo (mantenimiento correctivo) descritos en el capítulo anterior, al igual que la frecuencia de mantenimiento de dichas actividades preventivas y la manera en la cual se gestionará cada una de las actividades de mantenimiento a realizar, se obtuvo información basados en fichas técnicas similares, experiencia de los operarios y consulta a empresas externas dedicadas a la reparación y mantenimiento de máquinas (*Observar Tablas 6, 7 y 8*).

Algunos de los referentes de esta información se encuentran en:

- Operations & Maintenance Best Practices. Pacific Northwest National Laboratory. (G. P. Sullivan, 2002)
- Guía para el mantenimiento de correas. Entrenamiento mecánico de TEL-A-TRAIN. (Servicio Nacional de Aprendizaje, 1995)
- Maintenance and Troubleshooting of Electric Motors. (Reliance Electric, 2005)
- Onderhoudskunde (Ciencia del mantenimiento) (Smit, 2015)
- Mantenimiento predictivo de motores trifásicos de corriente alterna. (Rojas, 1992)

Mediante los referentes anteriormente mencionados, las acciones de mitigación de riesgo se recopiló la información sobre la frecuencia y tiempo estimado de mantenimiento descrito en las siguientes tablas:

Tabla 6: Actividades de mantenimiento preventivo con su respectiva frecuencia y tiempo estimado Slotter

Maquina: Slotter			
Modos de falla	Acciones de mitigación y prevención del riesgo	Frecuencia	Tiempo estimado
1.1.1.1. Cuchillas sin filo	Afilar las cuchillas mediante una empresa externa especializada en metalmecánica. ³	12 meses	30 minutos
1.1.1.2. Desalineación de las cuchillas	Inspección y cambio de balineras. ²	6 meses	40 minutos
	Verificación de perno del cigüeñal. ¹	12 meses	10 minutos
1.1.2.1. Saltos en las correas de arrastre	Inspección visual de la correa de transmisión. ²	3 meses	5 minutos
1.1.2.2. Aumento de holgura en las correas	Cambio de correa. ²	12 meses	30 minutos
	limpieza de la correa de transmisión. ²	6 meses	15 minutos
1.1.2.3. Motor no arranca o para	Medición de las resistencias de los devanados del motor y verificación de bobina de arranque. ²	12 meses	10 minutos
	Inspección visual del cableado de la máquina y medición del amperaje del motor en funcionamiento. ²	6 meses	10 minutos
1.1.2.4. Daño en las poleas de transmisión	Inspección visual del conjunto eje, correa y polea. ²	3 meses	5 minutos
	limpieza de la correa de transmisión, polea y guarda correa. ²	6 meses	20 minutos

Fuente: ¹ Operarios.

² Fichas técnicas similares.

³ Consulta a empresas externas.

Tabla 7: Actividades de mantenimiento preventivo con su respectiva frecuencia y tiempo estimado Cuchillo Refilador

Modos de falla	Acciones de mitigación y prevención del riesgo	Frecuencia	Tiempo estimado
2.1.1.1. No arranca el motor.	Inspección visual del cableado de la máquina y medición del amperaje del motor en funcionamiento. ²	6 meses	15 minutos
2.1.1.2. Los ejes de rodamientos están atascados (o alguna parte del sistema mecánico).	Inspección visual del conjunto eje, correa y polea. Y cambio de rodamientos de ser necesario. ²	12 meses	20 minutos
2.1.1.3. Las cuchillas se encuentran mal ajustadas al eje.	Ajuste de cuchillas con respecto al eje. ¹	Semanal	5 minutos
2.1.2.1. Presión inadecuada entre los ejes.	Verificar presión de los ejes mediante un instrumento de medición. ³	6 meses	15 minutos
2.1.2.3. La velocidad de giro no es la adecuada.	Inspección periódica al motor y toda la parte eléctrica de la máquina. ¹	12 meses	30 minutos
2.1.2.1. Pérdida de tensión en la cadena	Revisión del sistema de transmisión de manera periódica. ²	3 meses	15 minutos
2.1.2.2. Desgaste en los piñones de la transmisión			
2.1.2.3. Piñones obstruidos o atascados	Limpieza de la máquina de manera frecuente. ¹	semanal	10 minutos
	Revisión del sistema de transmisión de manera periódica. ²	3 meses	15 minutos
2.1.2.4. Motor no arranca o para	Medición de las resistencias de los devanados del motor y verificación de bobina de arranque. ²	12 meses	10 minutos
	Inspección visual del cableado de la máquina y medición del amperaje del motor en funcionamiento. ²	6 meses	10 minutos

Fuente: ¹ Operarios.

² Fichas técnicas similares.

³ Consulta a empresas externas.

Tabla 8: Actividades de mantenimiento preventivo Ranuradora

Modos de falla		Acciones de mitigación y prevención del riesgo	Frecuencia	Tiempo estimado
3.1.1.1.	Perdida de filo de los dientes del disco de corte	Afilado de los dientes de discos de corte. ³	12 meses	30 minutos
3.1.2.1.	Botones no funcionales	Inspección del sistema de parada de la máquina antes de empezar turno y cambio de componentes de ser necesario. ¹	Semanal	10 minutos
3.1.2.2.	Cableado en mal estado			
3.1.2.3.	Terminales o componentes mal conectados			
3.1.3.1.	Salto en la correa de arrastre	Inspección visual de la correa de transmisión. ²	6 meses	10 minutos
3.1.3.2.	perdida de holgura en la cadena	Cambio de correa. ²	12 meses	15 minutos
		limpieza de la correa de transmisión. ²	3 meses	5 minutos
3.1.3.3.	Motor no arranca o para	Medición de las resistencias de los devanados del motor y verificación de bobina de arranque. ²	12 meses	10 minutos
		Inspección visual del cableado de la máquina	6 meses	10 minutos
3.1.3.4.	Daño en las poleas de transmisión	Inspección visual del conjunto eje, correa y polea. ²	6 meses	15 minutos
		limpieza de la correa de transmisión, polea y guarda correa. ²	3 meses	15 minutos

Fuente: ¹ Operarios.

² Fichas técnicas similares.

³ Consulta a empresas externas.

6.3. Estandarización de los procesos de mantenimiento

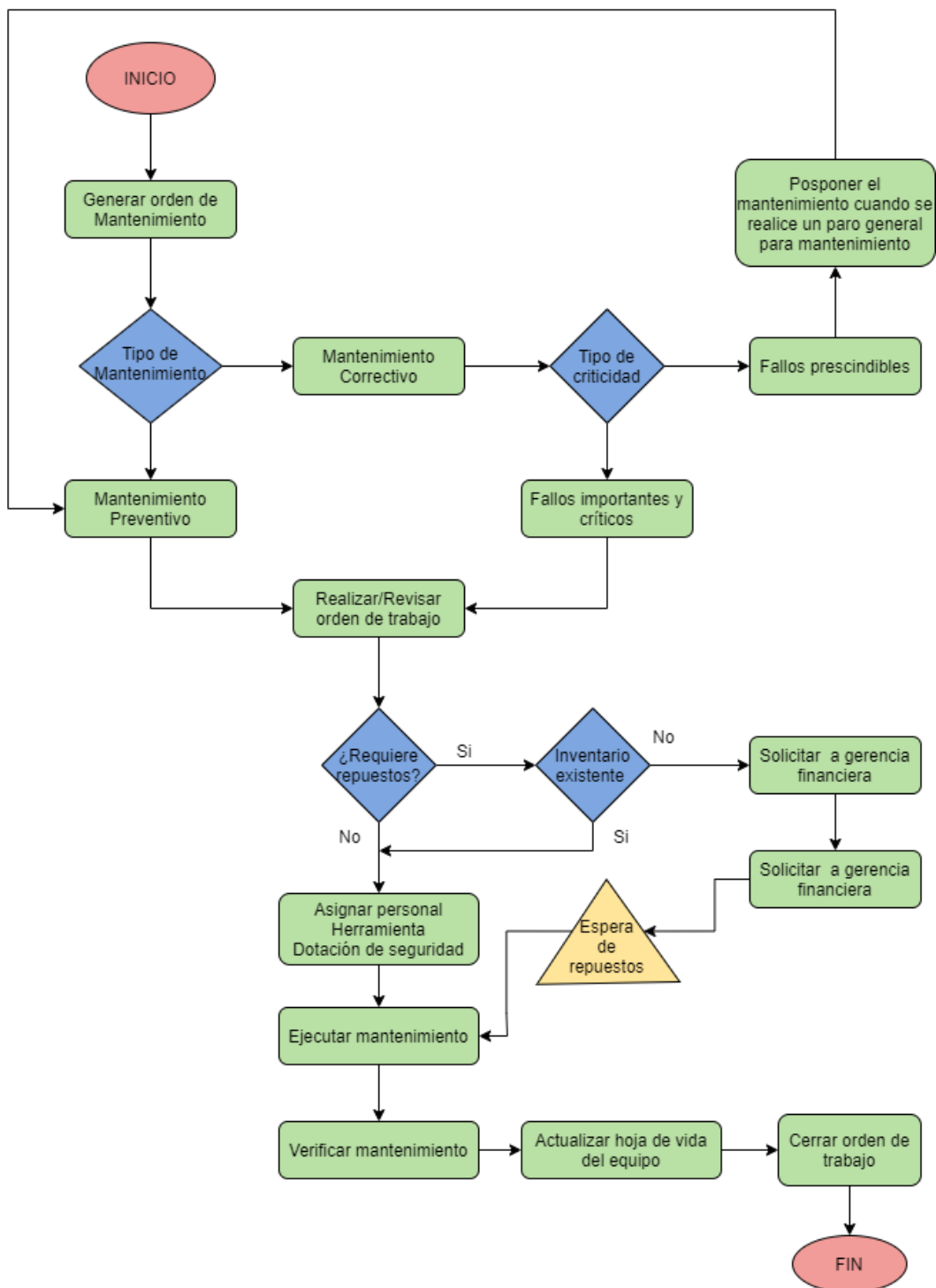
Para la ejecución y control del mantenimiento una vez planteadas las actividades se indagó acorde a los lineamientos de la compañía sobre los procesos burocráticos administrativos a realizar para autorizar la ejecución de la actividad de mantenimiento, satisfaciendo así la demanda de mantenimiento y cumpliendo al mismo tiempo con los requerimientos de producción, con el fin de entender de mejor manera la forma en la cual se deberá realizar este proceso se desarrolló un diagrama de flujo (*figura 4*) en el cual se detalla directamente las partes de la organización involucradas de mejor manera.

El proceso comienza cuando el Jefe de Producción, quien en este caso también es encargado del mantenimiento, recibe una solicitud de mantenimiento, ya sea por parte de los operarios para corregir una falencia en la máquina, o un mantenimiento preventivo programado con el fin de conservar el estado funcional de la máquina. Para ello se propuso un formato de orden de trabajo con el fin de ser utilizada como solicitud de trabajo, registro histórico y herramienta para el monitoreo y control, donde se especifican directamente los insumos necesarios para dicha tarea de mantenimiento (repuestos, herramientas, elementos de protección personal) (Duffuaa, Raoud & Dixon, 2000)

Para el diseño de la orden de trabajo se realizó la siguiente plantilla (*observe figura 5*), la cual contiene un numero de orden de trabajo, la actividad a realizar y máquina a la cual se le va a realizar dicha actividad, si es una actividad programada o si es una actividad solicitada, a su vez contiene las herramientas a utilizar, elementos de protección personal necesarios para realizarla y un registro de conformidad por parte del encargado de la máquina o solicitante del mantenimiento.

Una vez diligenciado este formato se remite directamente a la gerencia con el fin de comunicar la actividad que será realizada y en caso de requerir repuestos se solicitan ante la gerencia financiera con el fin de esperar la compra de los insumos, para posteriormente ejecutar el mantenimiento y registrar en la orden de trabajo el mantenimiento realizado y el tiempo que realmente tardó el mantenimiento.

Figura 4: Diagrama de flujo, procesamiento de orden de trabajo



Fuente: Elaboración Propia.

Figura 5: Formato de orden de trabajo

ORDEN DE TRABAJO DE MANTENIMIENTO				
OT:		FECHA DE EMISIÓN:		
PRIORIDAD: Emergencia ☐ Normal ☐		☐ Solicitada ☐ Programada		
EQUIPO:		COD MAQUINA:		
MANTENIMIENTO:		TIPO DE MANTENIMIENTO:		
PERIODICIDAD:		TIEMPO ESTIMADO:		
RECOMENDACIONES Se recomienda el uso de los elementos de protección personal obligatorios, DE SEGURIDAD además de portar el carnet de ARL y se hace especial énfasis en el uso de:				
Herramienta recomendada o utilizada		Trabajo:		
		N°	Descripción detallada de actividad	Hora inicio
		1		
		2		
		3		
		4		
		5		
		6		
		7		
		8		
		9		
		10		
		11		
		12		
		13		
		14		
		15		
OBSERVACIONES Y CONDICIÓN GENERAL DEL EQUIPO:				
MEDICIONES REALIZADAS	VALOR OBTENIDO	OBSERVACIÓN DE LA MEDICIÓN		
Evaluación de servicio por:		Fecha de evaluación:		
Plenamente atendido ☐ Parcialmente atendido ☐ Reproceso ☐ En tiempo ☐ Atrasado ☐				
Notas de la evaluación:				
Responsable:		Firma:		

Fuente: Elaboración Propia.

Luego de registrar la información respecto a la actividad realizada se cierra la orden de trabajo para posteriormente registrar en el formato de historia de la máquina dicho mantenimiento.

Para el formato de historia del equipo (*figura 6*) se tuvo en cuenta el evento ocurrido (ej. mantenimiento preventivo o correctivo), la fecha en la que ocurrió el evento, el responsable de solucionar o realizar la acción de mantenimiento, los minutos de producción perdida y la duración en minutos del mantenimiento, a su vez la hoja de Excel calcula automáticamente el tiempo promedio entre fallas (*MTBF*) en minutos.

Figura 6: Formato de Historia de la máquina

Evento	Fecha (FT)	Responsable	Minutos de producción perdida (MDT)	Duración en minutos del mantenimiento (MAT)	MTBF (minutos)

Fuente: Elaboración Propia.

6.4. Pronóstico de la carga de trabajo

Posterior a tener la frecuencia de mantenimiento de cada actividad y su tiempo estimado para ser culminada se establece el pronóstico de la carga de trabajo que tendrán los operarios. Para ello se debe realizar un estimado del tiempo requerido para las intervenciones de las máquinas, luego de tener un promedio estimado en tiempo de cada una de las actividades preventivas se puede determinar mediante la periodicidad de dichas actividades cuanto tiempo en horas-hombre son necesarios para desarrollar dichas labores, puesto que de este dependen; la planeación de la capacidad, la programación del mantenimiento y el control del mantenimiento (Duffuaa, Raoud & Dixon, 2000).

Para calcular el total de horas mensuales necesarias para el mantenimiento preventivo, en primera instancia se establecen la cantidad de veces en el año que se realiza dicha actividad de mantenimiento (*Frecuencia Anual*), luego se multiplica por el tiempo estimado en minutos por dicha actividad y la cantidad de máquinas que actualmente están contempladas en el modelo de mantenimiento. Una vez realizada esta operación se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 9: tiempo total de mantenimiento anual Slotter

Slotter				
Cantidad de máquinas	Actividad de mantenimiento preventivo	Frecuencia Anual	Tiempo estimado por actividad (minutos)	Tiempo total de mantenimiento Anual (minutos)
1	Afilar las cuchillas mediante una empresa externa especializada en metalmecánica.	1	30	30
	Cambio de balineras	2	40	80
	Verificación de perno del cigüeñal	1	10	10
	Inspección visual de la correa de transmisión	4	5	20
	Cambio de correa	1	30	30
	limpieza de la correa de transmisión	2	15	30
	Medición de las resistencias de los devanados del motor y verificación de bobina de arranque	1	10	10
	Inspección visual del cableado de la máquina y medición del amperaje del motor en funcionamiento	2	10	20
	Inspección visual del conjunto eje, correa y polea.	4	5	20
	limpieza de la correa de transmisión, polea y guarda correa.	2	20	40

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 10: tiempo total de mantenimiento anual Cuchillos Refiladores

Cuchillos refiladores				
Cantidad de máquinas	Actividad de mantenimiento preventivo	Frecuencia Anual	Tiempo estimado por actividad (minutos)	Tiempo total de mantenimiento Anual (minutos)
4	Inspección visual del cableado de la máquina y medición del amperaje del motor en funcionamiento.	2	15	120
	Inspección visual del conjunto eje, correa y polea. Y cambio de rodamientos de ser necesario	1	20	80
	Ajuste de cuchillas con respecto al eje	52	10	2080
	Verificar presión de los ejes mediante un instrumento de medición (implementarlo).	2	15	120
	Inspección periódica al motor y toda la parte eléctrica de la máquina.	1	30	120
	Revisión del sistema de transmisión de manera periódica	4	15	240
	Limpieza de la máquina de manera frecuente	52	10	2080
	Revisión del sistema de transmisión de manera periódica	4	15	240
	Medición de las resistencias de los devanados del motor y verificación de bobina de arranque	1	10	40
	Inspección visual del cableado de la máquina y medición del amperaje del motor en funcionamiento	2	10	80

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 11: tiempo total de mantenimiento anual Ranuradora

Ranuradoras				
Cantidad de máquinas	Actividad de mantenimiento preventivo	Frecuencia Anual	Tiempo estimado por actividad (minutos)	Tiempo total de mantenimiento Anual (minutos)
2	Afilado de los dientes de discos de corte	1	30	60
	Inspección del sistema de parada de la máquina antes de empezar turno y cambio de componentes de ser necesario	52	10	1040
	Inspección visual de la correa de transmisión	2	10	40
	Cambio de correa	1	15	30
	limpieza de la correa de transmisión	4	5	40
	Medición de las resistencias de los devanados del motor y verificación de bobina de arranque	1	10	20
	Inspección visual del cableado de la máquina	2	10	40
	Inspección visual del conjunto eje, correa y polea.	2	15	60
	limpieza de la correa de transmisión, polea y guarda correa.	4	15	120

Fuente: Elaboración Propia.

Una vez obtenido el tiempo estimado por actividad y tipo de máquina, se multiplica el tiempo total de mantenimiento anual en minutos por la cantidad de máquinas de cada grupo, luego se suma dichos valores, para obtener así un total por grupo de máquinas, resumido en la siguiente tabla:

Tabla 12: tiempo total de mantenimiento anual por máquina

Máquina	Total Minutos al año
Sloter	290
Cuchillo Refilador	5200
Ranuradora	1450
Total	6940,0

Fuente: Elaboración Propia.

7. Capítulo 3: Diseño de herramienta para la ejecución y control del mantenimiento

Con el fin de concretar el objetivo planteado para el presente capítulo, se recopila la información obtenida en el capítulo 1 y 2 en una herramienta computacional mediante Microsoft Excel, esto debido a que los sistemas de información y comunicaciones se utilizan en la industria cada vez más para capturar, registrar, almacenar, transmitir y recuperar datos para gestionar el mantenimiento de equipos e infraestructura física. (Amadi-Echendu, 2015)

7.1. Antecedentes

(Lopes, Senra, & Vilarinho, 2016), publican un artículo en el cual se presenta un proyecto con el objetivo de desarrollar un sistema computarizado para la administración del mantenimiento para una empresa de fabricación. En este explican las fases cruciales del proyecto, que implican la identificación de los requisitos y las especificaciones del sistema, y se describen en detalle, mostrando el enfoque que se siguió y reflexionando sobre su eficacia y eficiencia, el sistema se desarrolla mediante una metodología RCM y a su vez aplican un análisis modal de fallas y efectos, y concluyen con una serie de recomendaciones entre las cuales consideran el análisis de la información, el acceso a esta en tiempo real, la relación que tiene el plan de mantenimiento con la programación del mismo y cómo dependen de la habilidad técnica y el plan de producción y los costos a tener en cuenta.

(Amadi-Echendu, 2015), realiza una investigación sobre la post implementación de un software para la administración del mantenimiento, para ello realizó una encuesta mediante la cual se llega a la conclusión de que los factores que más afectan la implementación de un sistema como este, son los que afectan directamente la percepción del usuario, es decir esta percepción está directamente relacionada en la aceptación o no posterior a la fase de la implementación, en la percepción del usuario influyen también diversos factores como la facilidad de uso, la utilidad y las características del sistema, que a su vez dependen en gran medida del nivel de la capacitación del usuario durante la implementación del software de gestión de mantenimiento computarizado.

(Stejskal & Valenčík, 2014), plantean que existe una complejidad a la hora de implementar los diversos sistemas de mantenimiento y es que la planeación del mantenimiento requiere estar bien preparada y ello conlleva tiempo, es decir la asignación de personal, planes de acción, recursos necesarios, y las planillas de ruta a seguir, y los diferentes elementos que conlleva la planeación no se generan de manera automatizada, pero mediante el uso de herramientas ofimáticas se puede llegar a ello. Por otro lado, el problema fundamental que tienen los sistemas computarizados es la complejidad para el usuario. Para ello realizan el diseño de un sistema computarizado para la gestión del mantenimiento mediante el uso de Microsoft Office Excel y concluyen en que el uso de estas herramientas en plataformas como MS office mejoran la aceptación del planeador del mantenimiento debido a que son flexibles al usuario y son de conocimiento básico.

7.2. Programa de mantenimiento preventivo

Con base en las actividades de mantenimiento preventivo obtenidas y la frecuencia de las mismas (*capítulo 2*), se desarrolló la programación de mantenimiento preventivo (*figura 7*), en la cual se tuvieron en cuenta 52 semanas del año, y de acuerdo a ello se programaron las actividades buscando minimizar la cantidad de tiempo de mantenimiento preventivo total en cada semana, obteniendo así en promedio un tiempo total de mantenimientos preventivos semanales de 133,5 minutos o 2,4 horas semanales

Figura 7: Programa de mantenimiento preventivo

[illegible]

Fuente: Elaboración Propia.

7.3. Indicadores para el área de aplicación y para los equipos

A su vez en dicha herramienta se registran las fallas y fecha de las mismas con el fin de tener un indicativo del tiempo medio entre fallos (**MTBF**) y el tiempo medio de reparación (**MTTR**), Donde:

- **MTTR (Mean time to Repair)**: Tiempo promedio desde que la máquina falla, hasta el momento en el que retoma su estado operativo.
- **MTBF (Mean Time Between Failures)**: Es el Tiempo promedio entre Fallas.
- **MUT (Mean Up Time)**: Es Tiempo Promedio en Operación o Tiempo promedio hasta fallar, también considerado como tiempo promedio en estado operativo de la máquina.

Una vez tenidos en cuenta se proponen los siguientes indicadores de evaluación para los equipos:

La confiabilidad es una medida de la frecuencia de las fallas definida como el tiempo de operación sobre el número de fallas (Duffuaa, Raoud & Dixon, 2000)

$$\text{Confiabilidad operacional} = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR}$$

La disponibilidad operacional se puede definir como el tiempo en que el dispositivo opera correctamente sobre el tiempo en el que el elemento puede llegar a fallar (Mora Gutierrez, 2009).

$$\text{Disponibilidad operacional} = \frac{MUT}{MUT + MTTR}$$

La mantenibilidad a su vez se define como el inverso proporcional del tiempo en el cual la máquina tarda en recuperar su estado operativo, entre mayor sea este indicador, menor tiempo no operativo tendrá la máquina. (Duffuaa, Raoud & Dixon, 2000)

$$\text{Mantenibilidad} = \frac{1}{MTTR}$$

De igual manera se propusieron indicadores basados en la metodología de mantenimiento total productivo (**TPM**), donde se involucran todos los empleados de una organización en la mejora de los indicadores del equipo (Garcia Garrido, 2003); Para que a futuro una vez implementado el modelo de mantenimiento se permita evaluar la eficiencia global de los equipos (**OEE**), mediante la mejora del rendimiento de los equipos y el conocimiento de los operarios sobre los mecanismos fundamentales de cómo funcionan las máquinas (*mantenimiento autónomo*) y tareas elementales de mantenimiento ligero que no requieren de cierta capacitación o instrucción (Duffuaa, Raoud & Dixon, 2000).

La eficiencia global de los equipos se enfoca directamente en tres aspectos fundamentales: Disponibilidad, Rendimiento y Tasa de Calidad. Definidos cómo:

$$\text{Disponibilidad} = \frac{\text{Tiempo operativo}}{\text{Tiempo planeado de producción}}$$

$$\text{Rendimiento} = \frac{\text{Piezas producidas por tiempo de ciclo teorico}}{\text{Tiempo de ciclo ideal}}$$

$$\text{Tasa de Calidad} = \frac{\text{Unidades de producto conforme}}{\text{Unidades de Producto procesado}}$$

Para los cuales:

Tiempo planeado de producción: Tiempo de turno – Pausas

Tiempo operativo: Tiempo planeado de producción – Tiempo Muerto

Producto conforme: Total de unidades producidas – Unidades no conformes

Tiempo de ciclo ideal: Capacidad de producción máxima por unidad de tiempo

Una vez definidos los tres indicadores clave de la eficiencia global de los equipos, se puede calcular cómo:

$$\text{Eficiencia global (OEE)} = \text{Disponibilidad} * \text{Rendimiento} * \text{Tasa de calidad}$$

7.4. Herramienta para la automatización de formatos, actividades e indicadores

Mediante el uso del programa *Microsoft Excel* © se diseñaron los formatos del capítulo 2 y a su vez se anidaron fórmulas para el cálculo de los indicadores propuestos, de igual manera el libro de cálculo de Excel consta de 7 funcionalidades, entre las cuales están las siguientes:

7.4.1. Menú principal

En este menú se puede desplazar entre las diferentes funciones principales del programa las cuales serán explicadas posteriormente.

Figura 8: menú principal de la herramienta en Excel



Fuente: Elaboración Propia.

7.4.2. Indicadores

En este menú se calculan los indicadores del rendimiento global de los equipos, para ello es necesario ingresar los datos en la tabla que se muestra a continuación

Figura 9: Indicadores de la herramienta en Excel

Datos a ingresar
Días trabajados en la semana
Horas de turno diario
Horas de descanso y pausas activas
Calculo para mes
Piezas producidas en el mes
Piezas con defectos en el mes

Fuente: Elaboración Propia.

Posterior a ello la hoja de cálculo computa los siguientes datos para retroalimentar las fórmulas del **OEE**, Obteniendo así la siguiente tabla de datos

Tabla 13: Datos a ingresar en la herramienta:

Datos de Producción obtenidos	Datos	Unidades
Tiempo de turnos	0	Minutos
Mantenimientos Preventivos mes	0	Minutos
Mantenimientos Correctivos mes		Minutos
Otras Paradas en el mes		Minutos
Comidas, descansos, pausas activas	0	Minutos
Tiempo Muerto	0	Minutos
Ideal piezas en un turno		PPT
Tiempo de ciclo Ideal	0,000	PPM
Total de Piezas	0	Piezas
Piezas Rechazadas		Piezas

Fuente: Elaboración Propia.

Para el cálculo de las piezas por minuto de la corrida ideal se debe toma en cuenta la tasa ideal de piezas producidas por turno, posterior a ello se debe dividir dicha tasa entre el tiempo por un turno, para obtener así el valor de piezas por minuto de la corrida ideal.

$$Ideal\ piezas\ en\ un\ turno = \frac{Máxima\ cantidad\ posible\ a\ producir\ por\ turno}{Tiempo\ de\ turno}$$

Luego de ingresar dichos datos en la tabla, la hoja de cálculo de Microsoft Excel calculará automáticamente los indicadores de Disponibilidad, Rendimiento y Tasa de Calidad para posteriormente calcular la eficiencia global (OEE)

7.4.3. Menú Operarios

En esta función se visualizan los operarios actualmente, a su vez cuantas ordenes de trabajo tienen pendientes y también la duración total de las mismas, igualmente el tiempo disponible de cada operario en la semana.

En este menú se aplicó la opción de ordenar los operarios por disponibilidad y de buscar por operario, los datos mostrados a continuación son únicamente de ejemplo, para el momento en el cual se implemente.

Figura 10: Menú operarios

Buscar por operario  Ordenar por disponibilidad 				
NOMBRE	CLASIFICACION	OT Pendientes	Duración de OT (min)	Tiempo Disponible semana (h)
Operario 1	Electrico	1	30	47,5
Operario 2	Mecanico	1	135	45,8

Fuente: Elaboración Propia.

7.4.4. Menú Solicitudes de mantenimiento

Este menú permite la visualización de las solicitudes de mantenimiento realizadas, el estado de las mismas y la información relevante cómo: Fecha de solicitud, Estado, Causa del fallo, entre otros.

Figura 11: Menú solicitudes de mantenimiento

Generar Nueva solicitud

cod maquina	Equipo	Trabajo solicitado	Solicitante	Responsable	Fecha de solicitud	Estado	N° OT	Tipo de mnto	Parada mqn (min)	Tipo de falla	Causa de la falla
11B	Slotter	Cambio de bot	Jefe		30/3/2020	pendiente	7752	Correctivo		Electrica	Daño en botón de parada
4B	Ranuradora	Cambio de cab	Operario 1	Operario 1	31/3/2020	pendiente	7761	Correctivo	5	Electrica	Peladura en los cables

Fuente: Elaboración Propia.

A su vez permite generar una nueva solicitud de mantenimiento llenando los siguientes campos

Figura 12: Generación de solicitud de mantenimiento

Equipo	
Trabajo solicitado	
Solicitante	
Responsable	
Tipo de mantenimiento	
Tiempo no operativo maquina (min)	
Tipo de falla	
Causa de la falla	

Fuente: Elaboración Propia.

la cual genera una orden de mantenimiento automáticamente al presionar guardar, y llena directamente la tabla de solicitudes de mantenimiento, en el caso de que el tiempo de parada de la máquina sea mayor a cero el programa automáticamente marca la casilla de prioridad como emergencia en la orden de trabajo.

7.4.5. Menú Programa de mantenimiento preventivo

En esta función se visualiza el cronograma de mantenimientos preventivos, al modificar la frecuencia de mantenimiento el cronograma se modifica automáticamente, a su vez la carga total de mantenimiento para dicho cronograma

7.4.6. Menú Equipos

En este menú permite visualizar las máquinas existentes en una lista desplegable, a su vez permite visualizar el código y la fotografía del equipo, en este menú se tienen dos opciones, ver todos los equipos e ingresar un nuevo equipo, al seleccionar “ingresar nuevo equipo” se abre el siguiente menú, en el cual se ingresa el nombre, el código y la marca de la máquina, la imagen de la máquina debe guardarse en una carpeta indexada en el programa en la ubicación “Programa\Equipos\Fotos” con el código de la máquina y en archivo “.JPG”, ejemplo “S1.JPG

El formato en Excel generado para la máquina luego de pulsar en “guardar”, contiene tres pestañas, en la primera están contenidos los datos de la máquina y especificaciones técnicas (*Figura 14*), en el cual se deberá llenar los datos en blanco de manera manual. A su vez este libro de Excel para la máquina contiene otra hoja en la cual se encuentra la historia de la máquina. La siguiente es una imagen con datos únicamente de ejemplo para mostrar cómo funcionaría la herramienta.

Figura 13: Historia de la máquina

Evento	Fecha (FT)	Responsable	Minutos de producción perdida (MDT)	Duración en minutos del mantenimiento (MAT)	MTBF (minutos)
Falla motor	25-ene	Operario 1	23	12	
Daño en la clavija conectora	29-ene	Operario 2	8	5	1920
Despurgado del tanque	3-feb	Operario 1	5	5	2400
Daño en la manguera	19-feb	Operario 3	12	7	7680

Fuente: Elaboración Propia.

Figura 14: Ficha técnica de la máquina

FICHA TÉCNICA DE Slotter (S&S corrugated paper machinery co.) - S1		
REALIZADO POR: Jhon Valencia		FECHA: 31-mar-20
EQUIPO: Slotter		COD MAQUINA: S1
MARCA: S&S corrugated paper machinery co.		UBICACIÓN: Bodega principal
MODELO: 2865		SECCIÓN: Corte (Producción)
N° SERIE: G0000MAQ003		
CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS		
CARACTERÍSTICA TÉCNICA	VALOR	IMAGEN DEL EQUIPO
Peso	8 ton - aprox	
Altura	189 CM	
Ancho	368 CM	
Largo	141 CM	
Color	Azul, amarillo	
Composición	Metales	
Voltaje de trabajo	220 v	
Amperaje del motor	18,64 A	
Potencia del motor	5,5 HP	
Velocidad de control	45 RPM	
Area de trabajo	368 x 70 CM	
FUNCIONES Y DEMÁS DEL EQUIPO:		
Máquina utilizada para las divisiones del de las aletas de las cajas de una pieza.		
la máquina ejerce gran presión con sus cuchillas sobre el cartón realizando un corte limpio y retirando una parte del carton de este, dejando un espacio entre las aletas		
INSTRUCCIONES DE USO DEL EQUIPO:		
Se recomienda especial cuidado a la hora de manipular la máquina debido a que ejerce más de 1 tonelada de presión, se recomienda revisar las guardas y botones de parada y puesta en marcha de la máquina antes de manipularla		
ELEMENTOS DE PROTECCIÓN PERSONAL PARA EL USO DEL EQUIPO:		
DATOS DE COMPRA		
FABRICANTE: S&S corrugated paper machinery co.		ECHA DE COMPRA:
DIRECCIÓN: Brooklyn		
MEDIO DE CONTACTO:		
TELEFONO:		

Fuente: Elaboración Propia.

Y para la hoja de indicadores, existe la opción de evaluar un periodo entre un rango de tiempo dado por una fecha inicial y una fecha final para obtener los indicadores de Disponibilidad operacional, confiabilidad operacional y Mantenibilidad de la máquina.

Figura 15: Indicadores del formato de máquina

Periodo a evaluar				
Fecha Inicial	27-ene			
Fecha Final	5-feb			
Datos de turno				
Horas de turno	9,5			
Horas de descanso	1,5			
Datos obtenidos				
Minutos de trabajo diario	480			
Minutos de trabajo semanal	2880			
Minutos de trabajo al mes	11520			
Tiempo operativo (MUT)	11130			

Confiabilidad Operacional:	99,70%
Disponibilidad Operacional:	99,70%
Mantenibilidad:	15,38%

Promedios	
MTBF	2160,00
MTTR	6,5
MAT	5
MTTF	2153,50

Fuente: Elaboración Propia.

Los minutos de trabajo al mes se calculan con base en las horas de turno restando las horas de descanso multiplicado por los días de trabajo en el mismo periodo, el tiempo operativo (MUT) se toma como los minutos de trabajo del periodo evaluado menos los minutos de producción perdida (MDT) de la tabla historia de equipo.

7.4.7. Menú Tabla de equipos

En esa opción se visualiza la lista de equipos registrados en la herramienta applicativa de Excel, al hacer clic sobre un nombre en la lista el programa automáticamente permitirá visualizar la imagen del equipo seleccionado, también contiene los vínculos a la ficha técnica, indicadores e historia del equipo.

Figura 16: Menú Tabla de equipos

nombre de equipo	Codigo	indicadores de equipo	historia de equipo	ficha tecnica
Ranuradora 2	R2	ver	ver	ver
Ranuradora 1	R1	ver	ver	ver
Cuchillo Refilador 4	C4	ver	ver	ver
Cuchillo Refilador 3	C3	ver	ver	ver
Cuchillo Refilador 2	C2	ver	ver	ver
Cuchillo Refilador 1	C1	ver	ver	ver
Slotter	S1	ver	ver	ver



Fuente: Elaboración Propia.

7.4.8. Menú Solicitud de Orden de Trabajo

En esta función se solicita una orden de trabajo seleccionando el equipo en la lista desplegable, mostrando el código de la máquina automáticamente, posterior a ello se genera otra lista desplegable la cual permite seleccionar la actividad provisionada por el cronograma de actividades, seleccionar el responsable e ingresar el tiempo estimado de la actividad.

Figura 17: Menú solicitud de orden de trabajo

Equipo	Cuchillo Refilador 1
Código equipo	
Actividad	
Responsable	
Tiempo est	



Fuente: Elaboración Propia.

Al presionar guardar se genera una orden de trabajo en formato .PDF la cual es guardada automáticamente en la carpeta “Programa\Ordenes de trabajo” con el código de la orden, a su vez es añadida al menú de órdenes de trabajo, el cual contiene un vínculo para ver la misma.

Figura 18: Menú ordenes de trabajo

N° Orden	Estado	Equipo	Cod Eq	Actividad	Responsable	Tiempo est	Fecha emision	ver OT completa	Tipo

Fuente: Elaboración Propia.

8. Conclusiones y recomendaciones

Al inicio de este trabajo se identificó que la compañía actualmente no posee una planificación (programa, plan o un modelo) del mantenimiento ni mucho menos lleva un control sobre ello y los esfuerzos realizados son intuitivos por parte de los operarios, provocando una serie de fallas y paradas inesperadas y poco previsibles, en una línea de producción continua donde cada una de las máquinas tiene inventario en proceso de la máquina consecutiva y la detención de alguna significa interrumpir toda la línea.

De acuerdo al trabajo realizado, los beneficios que obtendría la compañía en caso de que implemente esta propuesta, que busca mejorar la confiabilidad operacional de las máquinas y la mejora de la condición operativa para no tener afectaciones en la calidad de sus productos, ni interrupciones en la línea de producción. De esta manera se permita crear condiciones suficientes para beneficiar la productividad como empresa.

La metodología utilizada permitió la obtención de datos de manera idónea y es una herramienta de fácil aplicación y que da luz de oportunidades de mejora en este trabajo, las técnicas para identificar los fallos que provocaban las afectaciones anteriormente mencionadas y cuáles de ellos tenían el mayor índice de criticidad a través de una matriz AMFE. Tener detallados estos fallos permitió proponer una serie de actividades programadas de mantenimiento a las máquinas del área de corte, con el fin de mitigar estos fallos y se reduzca su probabilidad de ocurrencia.

Con la aplicación de este modelo de mantenimiento estandarizado en procesos se espera que los operarios que controlan este tipo de máquinas, los cuales poseen los conocimientos teórico-prácticos y aptitudes conceptuales, tengan la capacidad de realizar mantenimientos preventivos autónomos.

El uso de herramientas ofimáticas como los SCAM mejoran la aceptación del planeador de mantenimiento a la hora de implementar de un modelo como el que se propuso anteriormente, influyendo en factores como la facilidad de uso, la utilidad y las características del sistema, que también dependerán de un conocimiento básico o alguna capacitación sobre el software de *Microsoft Excel* ©.

Se sugiere a la compañía en caso de implementar este modelo de mantenimiento que se realice de manera progresiva, asignando gradualmente estas responsabilidades y tareas a personal dentro de la compañía que va a participar en las actividades de mantenimiento.

Por último, es necesario actualizar el modelo de mantenimiento de acuerdo a las necesidades que vaya presentando la compañía durante la práctica de este mismo, realizar los mantenimientos de acuerdo al programa y cumplir con los procesos de estandarización, de esta manera se garantizará que el modelo de mantenimiento propuesto para la compañía sea el adecuado para ellos y haga una mejora continua de sus procesos de mantenimiento.

BIBLIOGRAFÍA

- Amadi-Echendu, J. (2015). Technology adoption: A study on post-implementation perceptions and acceptance of computerised maintenance management systems. *Technology in Society*, PP (209-218).
doi:<https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2015.09.001>
- Asociación Colombiana de Ingenieros. (2018). *Diagnóstico del Mantenimiento en Colombia*. Cundinamarca: ACIEM. From
https://educacion.aciem.org/CIMGA/2018/Especial/Escrito/Cartilla_Mantenimiento_Colombia.pdf
- Cueva Sánchez, J., & Velasquez Daga, P. (2019). *Análisis de experiencias exitosas de implementación en gestión de mantenimiento en empresas industriales*. Trabajo de investigación, Universidad Privada del Norte, Facultad de Ingeniería Industrial, Lima, Perú. From
<https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/23005?locale-attribute=en>
- DAFP. (2018). Guía para la administración de riesgo y el diseño de controles en entidades públicas.
- Díaz, A; Del Castillo, A; Cabrera, J & Toledo, M. (2016). Obtención de un modelo de criticidad para los equipos y sistemas tecnológicos de una termoeléctrica. *Ingeniería Energética*, Vol. 37(N° 3), pp 207-217. From
http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1815-59012016000300006&lng=es&tlng=es.
- Dounce Villanueva, E. (1998). *La productividad en el mantenimiento industrial* (2 ed). México: Compañía Editorial Continental, CECSA.
- Duffuaa, Raoud & Dixon. (2000). *Sistemas de mantenimiento, Planeación y control*. México D.F.: Limusa Wiley.
- Durán, O. (2011, Octubre). Computer-aided maintenance management systems selection based on a fuzzy AHP approach. *Advances in Engineering Software*, Vol. 42(Issue 10), PP(821-829).
doi:<https://doi.org/10.1016/j.advengsoft.2011.05.023>
- Falla Albarracín, C. (2015). *Modelo gerencial para la gestión del mantenimiento en linde colombia S.A para los equipos de operación cilindros y en comodato para el suministro de gases industriales*. Especialización en gerencia de mantenimiento, Universidad Industrial de Santander, Escuela de Ingeniería Mecánica, Bucaramanga, Colombia. From
<http://noesis.uis.edu.co/bitstream/123456789/37768/1/156317.pdf>

- G. P. Sullivan. (2002). Operations & Maintenance Best Practices. *Pacific Northwest National Laboratory*.
- García Garrido, S. (2003). *Organización y gestión integral del mantenimiento*. Madrid, España.: Ediciones Díaz de Santos.
- García Monsalve, G., González S, H., & Cortés M, E. (2009). METODOLOGÍA DE MANTENIMIENTO CON POSIBLE APLICACIÓN SECTOR AGROINDUSTRIAL. *Revista CES Medicina Veterinaria y Zootecnia*, PP(137-150).
- González Sosa et al. (2018). Mantenimiento industrial en máquinas herramientas por medio del AMFE. *revista Ingeniería Industrial*, Vol. 17(N° 3), pp (209-225). From <http://revistas.ubiobio.cl/index.php/RI/article/view/3923>
- Grass Arenas, J. (2011). *Modelo de gestión de mantenimiento para la compañía Colombiana de Inversiones S.A.* Especialización en gerencia de mantenimiento, Universidad Industrial de Santander, Escuela de Ingeniería Mecánica, Bucaramanga, Colombia. From <http://noesis.uis.edu.co/bitstream/123456789/38089/1/141158.pdf>
- Lopes, I., Senra, P., & Vilarinho, S. (2016). Requirements Specification of a Computerized Maintenance Management System – A Case Study. *Procedia CIRP*, Vol. 52, PP (268-273). From <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.07.047>
- Microsoft. (2020). Soporte técnico de Office.
- Ministerio de trabajo. (2019, Febrero 13). Resolución 0312. *Estándares mínimos del sistema de gestión y salud en el trabajo SG-SST*, Hoja N°10. Bogota D.C.
- Montaña Bernal, E. (2006). *Diseño de un modelo de gestión de mantenimiento para máquinas impresoras con base en el proceso productivo de la Imprenta Nacional de Colombia*. Universidad de La Salle, Facultad de Ingeniería. Bogotá D.C: Ciencia Unisalle. From https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1019&context=esp_gerencia_proyectos
- Mora Gutierrez, L. A. (2009). *MANTENIMIENTO: Planeación, ejecución y control*. Antioquia, Colombia: Alfaomega Grupo Editor.
- Navarro, L., Pastor, A., & Mugaburu, J. (1997). *Gestión integral del mantenimiento*. Barcelona, España: Marcombo Boixareu Editores.

- Olarte, W., Botero, M., & Cañon, B. (2010). Importancia del mantenimiento industrial dentro de los procesos de producción. *Scientia et Technica*, Vol 1(N° 44), PP(354-357).
- Ospina Molina, C & Balanta González, J. (2019). *Propuesta para implementar un sistema de gestión integral de activos en una empresa del sector papelero del Valle del Cauca*. Maestría en administración, Cali, Colombia. From <https://bibliotecadigital.univalle.edu.co/handle/10893/13885>
- Real Academia Española. (2019). *Diccionario de la lengua española* (Vol. Edición del tricentenario). Madrid, España: Asociación de Academias de la Lengua Española.
- Reliance Electric. (2005). Maintenance and Troubleshooting of Electric Motors.
- Rojas, A. J. (1992). Mantenimiento predictivo de motores trifásicos de corriente alterna. *Corporación Universitaria Autonoma de Occidente*.
- Servicio Nacional de Aprendizaje. (1995). Guía para el mantenimiento de correas. *Entrenamiento mecánico de TEL-A-TRAIN*.
- Smit, K. (2015). *Onderhoudskunde (Ciencia del mantenimiento)*. Leeghwaterstraat, Países Bajos: Delft Academic Press. From <https://www.delftacademicpress.nl/bij/b025extract.pdf>
- Socconini, L. (2016). *Lean Manufacturing: Paso A Paso*. México: Alfaomega Grupo Editor.
- Stejskal, T., & Valenčík, Š. (2014). Creation cmms applications in MS excel. *Faculty of Business Economics*(N° 29), 168-170. From <https://www.sjf.tuke.sk/transferinovacii/pages/archiv/transfer/29-2014/pdf/046-049.pdf>
- Subriadi, A. P., & Najwa, N. F. (2020). The consistency analysis of failure mode and effect analysis (FMEA) in information technology risk assessment. *Heliyon Journal*, Volume 6,(Issue 1). From <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405844020300062>
- Tavares , L. (2000). *Administración moderna de mantenimiento*. Rio de Janeiro, Brasil: Novo Polo Publicacoes.
- Toro Osorio, J., & Céspedes Gutiérrez, P. (2001). *Metodología para medir Confiabilidad, Mantenibilidad y Disponibilidad en mantenimiento*. Universidad EAFIT, Facultad de Ingeniería Mecánica. Medellín, Colombia: Instituto de Mejora Continua. From <http://bdigital.eafit.edu.co:8080/bdng/query/single.xsp?idregistro=1818056>

Viveros, Stegmaier, Kristjanpoller, Barbera & Crespo. (2013). Propuesta de un modelo de gestión de mantenimiento y sus principales herramientas de apoyo. *Ingeniare, Revista chilena de ingeniería*, Vol. 21(Nº 1), pp 125-138. From <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-33052013000100011>