

**ELABORACIÓN DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA LAS
MÁQUINAS DE CORTE Y RECTIFICADO DE LA EMPRESA MADERAS DEL
ORIENTE E.M.J EN BOGOTÁ**

JULIÁN DAVID MOLINA MERCADO

**Proyecto integral de grado para optar por el título de
INGENIERO MECÁNICO**

Orientador

José Mauricio Reyes Vergara

Ingeniero Mecánico

FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA

FACULTAD DE INGENIERÍAS

PROGRAMA DE INGENIERÍA MECÁNICA

BOGOTÁ D.C.

2.021

NOTAS DE ACEPTACIÓN

José Mauricio Reyes Vergara
Firma del director

Nombre
Firma del Presidente jurado

Nombre
Firma del Jurado

Nombre
Firma del Jurado

DIRECTIVOS DE LA UNIVERSIDAD

Presidente de la Universidad y Rector del claustro

Dr. Mario Posada García-Peña

Consejero Institucional

Dr. Luis Jaime Posada García Peña

Vicerrectora Académica y de Investigaciones

Dra. Alexandra Mejía Guzmán

Vicerrector Administrativo y financiero

Dr. Ricardo Alfonso Peñaranda Castro

Secretario General

Dr. José Luis Macías Rodríguez

Decano de la Facultad

Ing. Julio Cesar Fuentes Arismendi

Director de Programa

Ing. María Angélica Acosta Pérez

DEDICATORIA

Este proyecto está dedicado principalmente a mis padres, Carmen mercado sarmiento y José Efraín molina Colmenares, quienes creyeron en mí en cada momento del transcurso de esta etapa y nunca dudaron en brindarme su apoyo incondicional para seguir adelante y ser cada día una mejor persona y un mejor profesional, también a mi hermano, Efraín Daniel Molina Mercado por sus consejos y apoyo.

Las directivas de la Universidad de América, los jurados calificadores y el cuerpo docente no son responsables por los criterios e ideas expuestas en el presente documento. Estos corresponden únicamente a los autores.

TABLA DE CONTENIDO

Pag		
	RESUMEN	15
	INTRODUCCION	16
	1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	17
1.1.	Antecedentes	19
1.2.	Pregunta de investigación	21
1.3.	Justificación	21
1.4.	Hipótesis	24
1.5.	Objetivo General	24
1.6.	Objetivos Específicos	24
	2. GENERALIDADES DE MADERAS DEL ORIENTE	25
2.1.	Descripción de la empresa	25
2.1.1.	<i>Misión</i>	25
2.1.2.	<i>Visión</i>	25
2.1.3.	<i>Productos</i>	25
2.2.	Detalles del proceso productivo	26
2.1.	Detalles del servicio	28
	3. SITUACIÓN ACTUAL DEL MANTENIMIENTO	29
3.1.	Actividades de mantenimiento dentro de la empresa	29
3.1.1.	<i>Contratación de servicios externos</i>	29
3.1.2.	<i>Gestión y compra de repuestos</i>	30
3.1.3.	<i>Documentación de los equipos</i>	30
3.2.	Reconocimiento de equipos	31
3.2.1.	<i>Sierra reaserradora sinfín</i>	31

3.2.2.	<i>Cepillo regruesador</i>	32
3.2.3.	<i>Planeadora de rodillo</i>	34
3.2.4.	<i>Sierra radial</i>	36
3.2.5.	<i>Sierra de banco</i>	37
3.3.	Matriz de sistemas de cada equipo	38
4.	DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL DEL MANTENIMIENTO	40
4.1.	Distinción de cada subsistema por equipo	40
4.2.	Análisis de criticidad de cada uno de los subsistemas por equipo.	47
4.2.1.	<i>Orden de los subsistemas a partir de su criticidad</i>	51
4.3.	Metodologías de mantenimiento	52
4.3.1.	<i>Mantenimiento basado en confiabilidad (RCM)</i>	52
4.3.2.	<i>Mantenimiento productivo total (TPM)</i>	53
4.3.3.	<i>Mantenimiento basado en optimización</i>	54
4.3.4.	<i>Mantenimiento pro análisis de modo y efecto de falla (AMEF)</i>	55
4.4.	SELECCIÓN DEL PLAN DE MANTENIMIENTO ADECUADO ¡Error! Marcador no definido.	
4.4.1.	<i>Criterios de evaluación y selección</i>	56
4.4.2.	<i>Selección del plan de mantenimiento según las características</i>	58
5.	ELABORACIÓN DEL PLAN DE MANTENIMIENTO	60
5.1.	Análisis de modo y efecto de falla	60
5.2.	Análisis de identificación de los modos de falla por equipo	61
5.3.	Determinación de causas según los efectos de falla	67
5.3.1.	<i>Diagrama de Pareto</i>	67
5.3.2.	<i>Diagramas de Ishikawa</i>	77
5.4.	Valores de severidad, ocurrencia y detección	88

5.4.1.	<i>Severidad</i>	89
5.4.2.	<i>Ocurrencia</i>	90
5.4.3.	<i>Detección</i>	90
5.5.	Numero prioritario de riesgo (NPR)	92
5.6.	Asignación de valores de severidad, ocurrencia, detección y NPR	93
5.7.	Acciones correctivas	105
5.7.1.	<i>Toma de acciones recomendadas</i>	105
5.8.	Control y análisis de mejora	112
5.8.1.	<i>Tareas rutinarias al adecuado funcionamiento de los equipos</i>	112
5.8.2.	<i>Diagrama de decisión para causas con NPR bajos</i>	117
5.8.3.	<i>Inspección</i>	119
5.8.4.	<i>Metodología de recolección de datos</i>	120
6.	ESTUDIO DE REPUESTOS	122
6.1.	<i>Selección de repuestos</i>	122
6.2.	<i>Clasificación de repuestos</i>	123
6.3.	<i>Stock de repuestos</i>	124
7.	CONTROL Y REGISTRO	125
7.1.	Formatos de registro	125
7.1.1.	<i>Ficha técnica</i>	125
7.1.2.	<i>Solicitud de servicio.</i>	132
7.1.3.	<i>Orden de trabajo</i>	133
7.1.4.	<i>Hoja de vida</i>	134
8.	INDICADORES DE MANTENIMIENTO	136
8.1.	Calculo de indicadores	136
8.1.1.	<i>Confiabilidad</i>	137

8.1.2.	<i>Mantenibilidad</i>	137
8.1.3.	Disponibilidad	137
8.2.	Análisis de resultados	140
9.	ANALISIS DE IMPACTO AMBIENTAL	144
9.1.	Fuentes de riesgo	144
9.1.1.	<i>Posibilidad</i>	146
9.1.2.	<i>Impacto</i>	146
9.2.	Medidas de control	149
10.	ANALISIS DEL COSTO FINANCIERO	150
10.1.	Costo de mantenimiento antes de implementación	150
10.2.	Costos del mantenimiento después de implementar el plan de mantenimiento	154
10.3.	Análisis de Indicadores	159
	CONCLUSIONES	160
	BIBLIOGRAFIA	161

LISTA DE FIGURAS

	Pag
Figura 1. Diagrama de flujo del proceso productivo de MDO	18
Figura 2. Reaserradora sinfin volante 1100mm	31
Figura 3. Piña de alimentación, rodillos y sistema neumatico	32
Figura 4. Cepillo regruesador	33
Figura 5. Cepillo regruesador	34
Figura 6. Planeadora de rodillo	35
Figura 7. Sierra radial	36
Figura 8. Sierra de banco	37
Figura 9. Desarrollo del plan de mantenimiento preventivo basado en AMEF para MDO	60
Figura 10. Diagrama de Ishikawa para el subsistema de control neumático de la sierra sinfín	77
Figura 11. Diagrama de Ishikawa para el subsistema de transmisión de la sierra sinfín	78
Figura 12. Diagrama de Ishikawa para el subsistema de generación de la sierra sinfin	78
Figura 13. Diagrama de Ishikawa para el subsistema de control eléctrico y electrónico de la sierra sinfin	79
Figura 14. Diagrama de Ishikawa para el subsistema de embrague del cepillo regruesador	80
Figura 15. Diagrama de Ishikawa para el subsistema estructural del cepillo regruesador	80
Figura 16. Diagrama de Ishikawa para el subsistema de corte del cepillo regruesador	81
Figura 17. Diagrama de Ishikawa para el subsistema de alimentación del cepillo regruesador	81
Figura 18. Diagrama de Ishikawa para el subistema de corte de la sierra radial.	82
Figura 19. Diagrama de Ishikawa para el subsistema estructural de la sierra radial.	83

Figura 20. Diagrama de Ishikawa para el subsistema de control eléctrico y electrónico de la sierra radial.	84
Figura 21. Diagrama de Ishikawa para el subsistema generación de la sierra radial.	85
Figura 22. Diagrama de Ishikawa para el subsistema de corte de la sierra de banco.	86
Figura 23. Diagrama de Ishikawa para el subsistema estructural de la sierra de banco	87
Figura 24. Diagrama de Ishikawa para el subsistema de generación de la sierra de banco.	87
Figura 25. Diagrama de decision para causas con un NPR inferior	118
Figura 27. Flujo de caja de un año de MDO	151
Figura 28. Costo anual uniforme equivalente para el flujo de caja antes de implementación	154
Figura 29. Flujo de efectivo para MDO con el plan de mantenimiento	156

LISTA DE TABLAS

	Pag.
Tabla 1. Listado de productos de MDO y sus dimensiones	26
Tabla 2. Numeración del proceso productivo de MDO	28
Tabla 3. Matriz de sistemas que conforman los equipos	38
Tabla 4. Matriz de subsistema del cepillo regruesador	41
Tabla 5. Matriz de subsistemas de la planeadora de rodillo	42
Tabla 6. Matriz de subsistemas de la sierra sinfin	43
Tabla 7. Matriz de subsistemas de la sierra radial	45
Tabla 8. Matriz de subsistemas de la sierra de banco	46
Tabla 9. Criticidad de los subsistemas del cepillo regruesador	48
Tabla 10. Criticidad de los subsistemas de la sierra sin fin	48
Tabla 11. Criticidad de los subsistemas de la sierra radial	49
Tabla 12. Criticidad de los subsistemas del cepillo sierra de banco	49
Tabla 13. Criticidad de los subsistemas de la planeadora de rodillo.	50
Tabla 14. Orden de los subsistemas dependiendo de su criticidad.	51
Tabla 15. Matriz de evaluación y selección de alternativas	59
Tabla 16. Modo y efecto de falla para la sierra sinfin	62
Tabla 17. Modo y efecto de falla del cepillo regruesador	63
Tabla 18. Modo y efecto de falla de la sierra radial	64
Tabla 19. Modo y efecto de falla de la sierra de banco	65
Tabla 20. Modo y efecto de falla de la sierra finsin	66
Tabla 21. Efecto de la sierra sinfín para el diagrama de Pareto	68
Tabla 22. Datos diagrama de Pareto para las causas de la sierra sinfín	71
Tabla 23. Datos del diagrama de Pareto para el cepillo regruesador	72
Tabla 24. Efectos del cepillo regruesador	73
Tabla 25. Valores de severidad	89
Tabla 26. Valores de ocurrencia	90
Tabla 27. Valores de detección	91
Tabla 28. Valores del numero prioritario de riesgo	92

Tabla 29. Obtención del número prioritario de riesgo para las causas de la sierra sinfín.	94
Tabla 30. Obtención del número prioritario de riesgo para el cepillo regruesador	98
Tabla 31. Obtencion del numero prioritario de riesgo para la sierra radial	101
Tabla 32. Obtención del número prioritario de riesgo para la sierra de banco	103
Tabla 33. Obtención del número prioritario de riesgo para la planeadora de rodillo	104
Tabla 34. Acciones recomendadas y cálculo del nuevo NPR para la sierra sinfín	107
Tabla 35. Acciones recomendadas y calculo del nuevo NPR para el cepillo regruesador	108
Tabla 36. Acciones recomendadas y cálculo del nuevo NPR para la sierra radial	109
Tabla 37. Acciones recomendadas y calculo del nuevo NPR para la planeadora de rodillo	110
Tabla 38. Acciones recomendadas y cálculo del nuevo NPR para la sierra de banco	111
Tabla 39. Frecuencia de actividades del subsistema de corte	113
Tabla 40. Frecuencia de actividades del subsistema de generación	114
Tabla 41. Frecuencia de actividades del subsistema de transmisión	115
Tabla 42. Frecuencia de actividades del subsistema estructural	116
Tabla 43. Frecuencia de actividades del subsistema neumatico	116
Tabla 44. Lista de chequeo de las tareas de inspección	120
Tabla 45. Formato de registro para las tareas de mantenimiento	121
Tabla 46. Clasificacion de repuestos	123
Tabla 47. Stock de repuestos.	124
Tabla 48. Ficha tecnica de la sierra sinfin	126
Tabla 49. Ficha tecnica de la sierra de banco	128
Tabla 50. Ficha tecnica del cepillo regruesador.	129
Tabla 51. Ficha tecnica de la sierra radial	129
Tabla 52. Ficha tecnica de la planeadora de rodillo	131
Tabla 53. Formato de la solicitud de servicio	132
Tabla 54. Formato de la orden de trabajo	133
Tabla 55. Formato de la hoja de vida	135
Tabla 56. Indicadores de gestion universal	139

Tabla 57. Factor de fiabilidad acumulado para la sierra sinfin	140
Tabla 58. Factor de fiabilidad acumulado para el cepillo regruesador	141
Tabla 59. Factor de fiabilidad acumulada para la sierra de banco.	141
Tabla 60. Factor de fiabilidad acomulada para la sierra radial.	142
Tabla 61. Factor de fiabilidad acomulada para la planeadora de rodillo.	142
Tabla 62. Porcentaje acumulado de cada equipo.	142
Tabla 63. Fuentes de riesgo	145
Tabla 64. Posibilidad	146
Tabla 65. Impacto	146
Tabla 66. Identificación de riesgos ambientales	147
Tabla 67. Nivel de impacto	148
Tabla 68. Medidas de control	149
Tabla 69. Costos triestrales de mantenimiento correctivo	150
Tabla 70. Ingresos mensuales de MDO	151
Tabla 71. Costos asociados a las actividades de mantenimiento	155
Tabla 72. Ingresos mensuales de MDO	156
Tabla 73. Costo anual uniforme equivalente para el flujo de efectivo después de implementación	159

RESUMEN

El objetivo principal de este proyecto es la elaboración de un plan de mantenimiento preventivo para las máquinas de corte y rectificado de la empresa Maderas del Oriente E.M.J ubicada en Bogotá, con el fin de proporcionarle a la compañía una herramienta sólida para poder hacer una gestión más productiva en la obtención de una mayor disponibilidad y rendimiento de los equipos, además de eliminar las fallas repetitivas y erradicar el mantenimiento correctivo no planificado.

Para darle alcance a este objetivo, en primera instancia se hace una identificación del proceso productivo de la compañía, conociendo las generalidades, actividad económica, productos, servicios y el contexto operacional de cada una de las máquinas de corte y rectificado. En segunda instancia se realiza un análisis y descripción de las condiciones actuales del mantenimiento dentro de la compañía lo cual es de suma importancia para definir el punto de partida y las rutas más adecuadas para el desarrollo de este proyecto.

Así mismo, se hace un acercamiento al funcionamiento y sistemas de cada máquina, facilitando la comprensión de los subsistemas, para esto, se tuvo que describir y clasificar cada uno de estos sistemas y subsistemas haciendo un análisis consensuado de sus componentes y la prioridad que tienen cada uno de estos a través del análisis de modo y efecto de falla y el número prioritario de riesgo, estrategias que permitieron codificar y clasificar las diferentes fallas y causas de estas. Posteriormente, con ayuda de los diagramas de Pareto e Ishikawa se establecen las diferentes causas que ocasionan los efectos y con el número prioritario de riesgo, jerarquizar cuál de estas causas requiere mayor atención y tratamiento.

El desarrollo de las medidas correctivas y de control define la ruta de guía por donde la empresa puede iniciar con su proceso de recolección de datos y adoptar una política de mejora continua.

PALABRAS CLAVE: Madera, corte y rectificado, mantenimiento, preventivo, AMEF, causas.

INTRODUCCIÓN

MADERAS DEL ORIENTE E.M.J es una empresa dedicada al tratamiento y comercialización de especies madereras enfocados a obras civiles y construcciones, y proyectada a siempre ofrecer los mejores servicios en corte y rectificado de madera para independientes o públicos, de esta manera garantiza un servicio y productos de la más alta calidad.

Dentro del proceso productivo de la empresa, el mantenimiento resulta ser uno de los más grandes retos en la gestión de los activos de la compañía, debido a que desde que la empresa inicio su operación, no se implementó nunca una política de recolección y tratamiento de datos de esta área, y mucho menos se establecieron estrategias y toma de acciones que mitigaran los riesgos y problemas que los equipos empezaban a presenta.

Debido a esto y a la creciente demanda de sus productos, MDO empezó a presentar inconvenientes en tiempos de entrega y calidad de sus productos por paradas imprevistas ocasionadas por el mantenimiento correctivo, significando grandes pérdidas para monetarias para la empresa.

Por estas razones de gran importancia, el desarrollo de este proyecto se postula como una solución a los inconvenientes de la gestión de los activos de corte y rectificado de la compañía, con la posibilidad de ofrecer un manejo adecuado de los eventos que se presentan dentro de la línea de producción y garantizar altos índices de confiabilidad y disponibilidad de las máquinas de corte y rectificado de la empresa MADERAS DEL ORIENTE E.M.J.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Maderas del oriente E.M.J es una empresa dedicada al tratamiento y comercialización de especies madereras para la industria de la construcción y la industria de mobiliario en madera. Su operación inicio en marzo del año 2000 y desde entonces ha visto como la demanda de sus productos aumenta exponencialmente en relación a la creciente industria de construcciones y obras civiles en Bogotá.

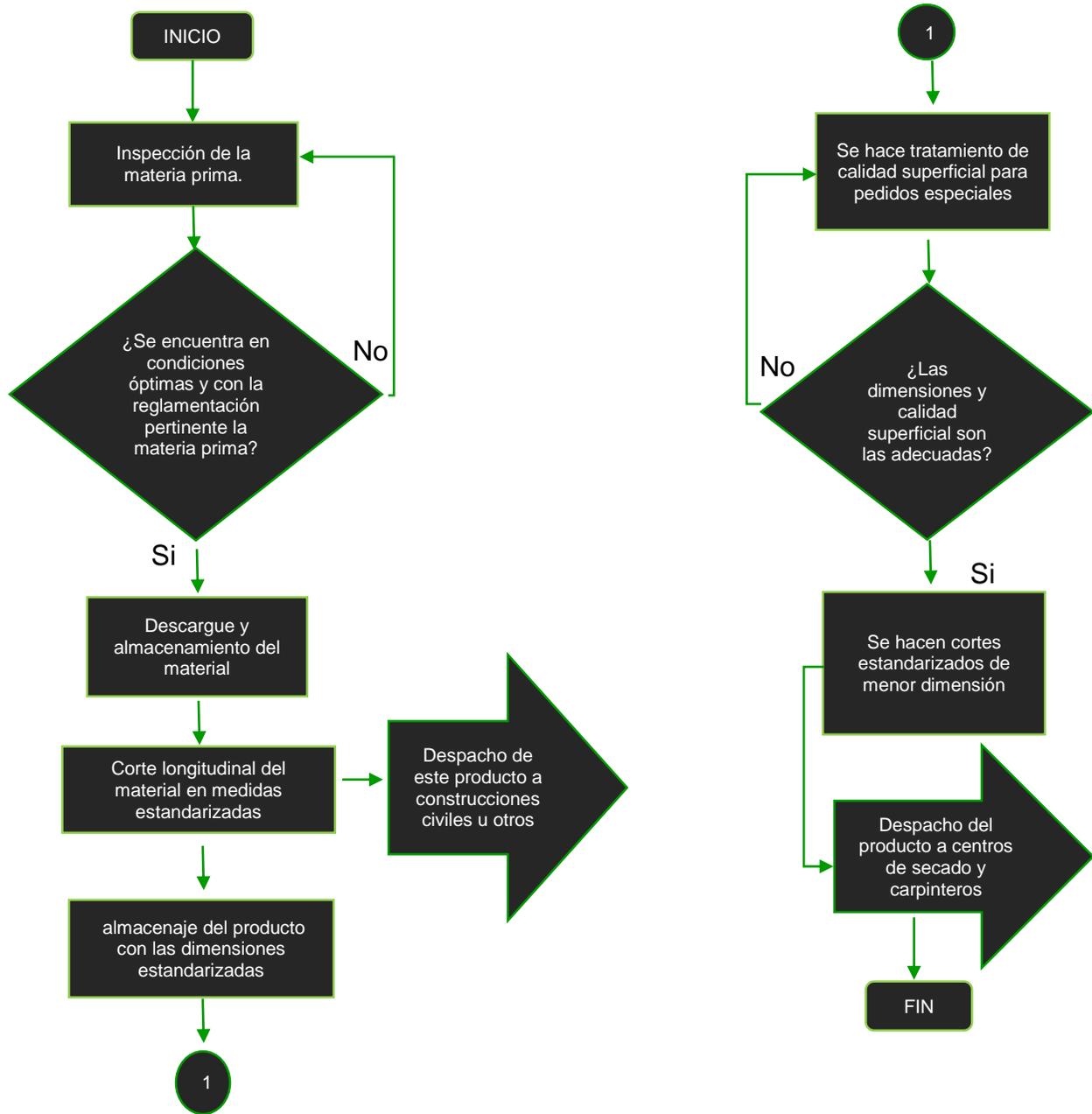
En su portafolio de productos podemos encontrar medidas estandarizadas de planchones para refuerzos estructurales de construcción o con un acabado superficial superior para carpinteros, fabricantes de puertas y molduras. Sus productos más destacados son las tablas chapas, burras, repisas, durmientes y listones, además de medidas especiales sobre pedido.

Es necesario entender el proceso productivo de la compañía para así identificar las diferentes áreas que hacen parte de este.

En el siguiente diagrama de flujo, se presenta el proceso productivo de la empresa y el funcionamiento de la operación global de la compañía.

Figura 1.

Diagrama de flujo del proceso productivo de MDO



Nota. Se representa el diagrama de flujo actual del proceso productivo de Maderas del Oriente

Como se observa en el diagrama de flujo del proceso productivo de MDO en ningún momento dentro de este proceso se identificó alguna intervención, paradas programadas o algún tipo de tarea de mantenimiento preventivo que le permita a la empresa garantizar la constante operación.

Por esta razón se ve actualmente dentro de la compañía problemas a nivel operativo a causa de las paradas imprevistas por mantenimiento correctivo, esto ocurre porque no se tiene certeza de la frecuencia de las fallas ni el tipo de fallas que pueden llegar a ocurrir, solo se interviene un equipo cuando este sale de funcionamiento, y dependiendo de su criticidad dentro del proceso, afectará en mayor o menor medida la operación global de la empresa.

1.1. Antecedentes

Como indica la revista el mueble y la madera [20] el mantenimiento mecánico en la industria maderera se ha subestimado en el tiempo por su falta de practicidad o simple desconocimiento, esto debido a que los equipos de corte y tratamientos superficial suelen trabajar en condiciones ambientales extremas de polvo y partículas derivadas del tratamiento del material, sin embargo, a medida que la producción aumenta la capacidad de trabajo de esta maquinaria va disminuyendo por diferentes factores, perdiendo eficiencia, consumiendo más energía y en el peor de los casos dejando de funcionar, comprometiendo la operación de la compañía. Los eventos dentro de Maderas del Oriente suelen ser comunes a causa de los factores mencionados anteriormente, y para una mayor competitividad en el mercado es imperativo establecer protocolos de mantenimiento que estén estrechamente ligados al proceso productivo de la compañía.

Como lo menciona García Garrido[13] El mantenimiento preventivo adecuado es una forma eficaz de garantizar la continua operación de las compañías, sin embargo, existen diferentes enfoques para aplicarlo, tradicionalmente el mantenimiento preventivo se suele programar periódicamente, lo que lo hace indiferente a la degradación progresiva de los sistemas analizados, como solución a esto se propone un mantenimiento preventivo más dinámico que permita hacer una periodización acorde a la producción actualizada. En la industria maderera y en especial en Maderas del Oriente, es muy importante lograr consistencia en la prevención de eventos, ya que el ambiente en el que

opera la maquinaria es de altos niveles de material particulado, por lo tanto, un mantenimiento dinámico y variable que se adapte a la creciente demanda, podrá garantizar una operación exitosa en el tiempo.

El mantenimiento le da la posibilidad a las pequeñas y medianas empresas de lograr ser competitivas en un entorno donde se debe garantizar la calidad de los productos y la atención en tiempos de entrega adecuados, el mantenimiento planificado de las máquinas y equipos da esa posibilidad y también puede ser precursor para que la compañía cree nuevos productos y pueda maximizar el potencial de sus activos. [13] Siendo este un tópico importante para Maderas del Oriente, brindándole la posibilidad de mejorar sus productos y desarrollar nuevas líneas de mercado que le permitan diversificar su portafolio según el mercado lo demande.

Según el artículo de ingeniería “DETERMINACIÓN DE LA FRECUENCIA ÓPTIMA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO” [16] el sub-mantenimiento que hace referencia al bajo mantenimiento genera dentro de las compañías complicaciones como:

- Alto costo de mantenimiento correctivo.
- Pérdidas en la producción por la baja o nula disponibilidad a causa de fallas en los equipos.
- Alto costo de refacciones y consumos de estos.

El sub-mantenimiento se encuentra presente dentro de Maderas del Oriente, ya que se presentan complicaciones dentro del proceso productivo y los factores anteriormente mencionados se ven reflejados.

Los objetivos que se plantean para lograr solucionar las carencias de gestión de activos en las compañías es principalmente la detección de condiciones sobre trabajo en los equipos, ya que este es el principal factor de pérdidas de tiempo en producción, también se debe monitorear el comportamiento y la tendencia del equipo, de esta manera se puede seguir trabajando sin riesgo para la operación, el equipo y el personal encargado. [16]

El proceso descrito por Hector Huacuz [16] en la elaboración inicial de un plan de mantenimiento preventivo, es de mucha relevancia como punto de partida en una

empresa donde durante toda su operación el mantenimiento ha sido mínimo, esto será fundamental en el desarrollo del presente proyecto

1.2. Pregunta de investigación

¿Cuál es el plan de mantenimiento más adecuado para las máquinas de corte y rectificado de la empresa Maderas del Oriente E.M.J.?

1.3. Justificación

Para la compañía es difícil poder determinar y clasificar las fallas en los procesos y en la maquinaria que hace parte de estos, factores como, el histórico de averías, capacitación del personal de operaciones y la documentación de los equipos son mínimos o en su caso nulos, así que es muy difícil afrontar un evento y anticiparse a este. Se debe clasificar los tipos de eventos, en qué clase de falla es, y desde ahí determinar una ruta de mantenimiento que garantice la operación de la manera más efectiva.

Se debe tener en cuenta que una de las formas de planear la elaboración de un plan de mantenimiento preventivo debe ser el resultado de un estudio previo de un análisis predictivo, ya que en este tipo de mantenimiento se descubre una posible falla y posterior a esto se realiza un análisis preventivo para evitar dicha falla.

Teniendo en cuenta lo anterior, para este caso en específico, hacer un mantenimiento de tipo predictivo no es conveniente debido a la falta de información y conocimiento de las diferentes técnicas que pueden ser aplicadas en los equipos que hacen parte del proceso de corte y rectificado, aplicar técnicas de mantenimiento correctivo implicaría costos significativos que tendría que asumir la compañía para llevar a cabo estas técnicas y obtener los indicadores necesarios para plantear un plan de mantenimiento predictivo y luego preventivo.

Para evitar esto, debemos tener en cuenta las estimaciones que nos dan los fabricantes, operarios y el personal encargado del proceso productivo los cuales tienen conocimiento extenso del estado, composición, y funcionamiento actual del equipo que se quiere estudiar, de esta forma podemos elaborar con completa fiabilidad un plan de mantenimiento de tipo preventivo.

Con este proyecto se definirán los problemas del proceso productivo, las máquinas más críticas de estos procesos y sus componentes, las fallas funcionales y técnicas además de la determinación de la falla.

El plan de mantenimiento preventivo se estima elaborar en base a un análisis que, a grandes rasgos, tenga en cuenta estas cuatro características:

- Productos
- Proceso
- Documentación
- Sistemas

Este también nos brinda soporte para un buen diseño de los procesos, recopilación de información de producción y establecimiento de indicadores.

Sin embargo, se tienen que evaluar todas las metodologías posibles de mantenimiento como lo es el RCM, TPM, AMEF o PMO, he identificar cual es la más conveniente para la elaboración de las estrategias preventivas de mantenimiento.

Como resultado de esta elaboración se estiman beneficios para la compañía como:

- Eliminación de fallas potenciales
- Modificar o reestructurar el proceso productivo si es conveniente
- Brindar información sobre las fallas comunes
- Detectar puntos críticos del proceso

Haciendo una comparación de la situación actual productiva del mantenimiento y del plan preventivo que se quiere elaborar, tenemos el análisis del siguiente indicador:

$$\text{Personal improductivo mensual (PIM)} = \frac{\text{Tiempo de detención total por falla}}{\text{Tiempo total de trabajo}} * 100$$

Este indicador financiero se construyó en base al estado financiero actual de MDO el cual relaciona el tiempo total de trabajo de los operarios con el tiempo en que las máquinas están detenidas por eventos imprevistos, de esta manera se puede establecer el costo generado por empleado, de acuerdo con esta información estadística equivale a:

$$\text{Costo improductivo} = PIM * \text{Salario del empleado}$$

Conociendo el salario mensual de cada empleado y teniendo en cuenta que para utilizar una máquina de corte sin importar cuál sea se requieren de dos operarios, tenemos lo siguiente:

$$PIM = \frac{3h}{8h} * 100$$

$$PIM = 37,5$$

$$\text{Costo improductivo} = 37,5 * 1'200,000\$$$

$$\text{Costo improductivo} = 45'000,000\$$$

Con este indicador podemos deducir que en la actualidad el costo por personal improductivo mensual haciende a 45 millones de pesos si tenemos averías en la maquinaria que retrasen alrededor de 3 horas diarias la producción.

Si hacemos este mismo análisis del PIM pero con el plan de mantenimiento preventivo tenemos lo siguiente:

$$PIM = \frac{1h}{8h} * 100$$

$$PIM = 12,5$$

$$\text{Costo improductivo} = 12,5 * 1'200,000\$$$

$$\text{Costo improductivo} = 15'000,000\$$$

Si tenemos en cuenta la aplicación del plan de mantenimiento que se quiere elaborar, tenemos que solo para el costo del personal improductivo si reducimos el número de fallas por hora de 3 horas a 1 hora, el costo desciende en un 6,75% sin contar pérdidas de producción por el producto que se obtiene por hora que son pérdidas adicionales para la compañía.

Todos los datos de horas improductivas y valor mensual del salario del operario fueron suministrados por la empresa.

1.4. Hipótesis

A partir de la elaboración del plan de mantenimiento preventivo, mediante el análisis de criticidad del proceso, análisis de criticidad de las máquinas, clasificación de los tipos de falla, documentación de los equipos, diagramas de proceso, diagramas de equipos, análisis de causa raíz, es posible contribuir al mejoramiento integral de la compañía y al correcto tratamiento de los eventos dentro de la operación diaria.

1.5. Objetivo General

Elaborar un plan de mantenimiento preventivo para las máquinas de corte y rectificado de la empresa maderas del oriente E.M.J en Bogotá.

1.6. Objetivos Específicos

- Describir las generalidades de la empresa, su proceso productivo y productos.
- Diagnosticar la situación actual del mantenimiento evaluando el tipo de mantenimiento más adecuado.
- Elaboración del plan de mantenimiento preventivo.
- Evaluar financiera y ambientalmente el proyecto.

2. GENERALIDADES DE MADERAS DEL ORIENTE

2.1. Descripción de la empresa

MADERAS DEL ORIENTE E.M.J (MDO), es una empresa con más de 20 años de experiencia dedicada al tratamiento y comercialización de especies madereras, que atiende al sector de las obras civiles y carpintería en la ciudad de Bogotá, presta el servicio de corte y rectificado para madera no tratada y sus principales clientes son los depósitos de materiales y construcciones en toda la ciudad. Responde por los productos que ofrece trabajando de la mano con la secretaría de ambiente y la secretaría de salud, dando cumplimiento a toda la regulación ambiental de la adquisición, tratamiento y venta de madera legal en Colombia.

2.1.1. Misión

Contribuir al desarrollo de la infraestructura de la ciudad y brindar productos de calidad a depósitos de materiales, carpinteros y particulares, poniendo a su disposición nuestros activos especializados en corte y rectificado de madera no tratada.

2.1.2. Visión

Ofrecer productos que respeten la normativa de legalidad en la adquisición y venta de madera que rige en el país, con los mayores estándares de calidad y agilidad en el despacho del producto específico requerido por nuestros clientes.

2.1.3. Productos

En su portafolio de productos podemos encontrar medidas estandarizadas de planchones para refuerzo estructural de construcción o con un acabado superficial mayor para carpintería, así como medidas de menor calibre como lo son las repisas, durmientes y listones. A continuación, se especifica detalladamente cada producto y sus dimensiones.

Tabla 1.

Listado de productos de MDO y sus dimensiones

PRODUCTO	LARGO (cm)	ALTO (m)	ANCHO (cm)
Tabla burra	30 – 25 – 20 – 15 – 12 – 10	3	2.5
Tabla chapa	30 – 25 – 20 – 15 – 12 – 10	3	2.5
Durmiente	4	4 – 3	4
Repisa	4	4 – 3	6
Planchón	3	4 – 3	4.5
Cerco	3	4 – 3	2.5
Viga	4	4	2.5

Nota. Para cada producto se empareja su dimensión en largo, alto y ancho, se muestra sus diferentes dimensiones en una misma casilla.

Los valores mencionados anteriormente, refieren a dimensiones estandarizadas para diferentes propósitos, sin embargo, todas estas medidas son modificables dependiendo de los requerimientos del cliente en largo, alto y ancho.

También dentro de su portafolio de productos se encuentra toda clase de maderas finas y ordinarias, las especies madereras que trata la empresa MDO en la actualidad son:

- Pino
- Cedro
- Moho
- Eucalipto
- Uruapan
- Guayacán

2.2. Detalles del proceso productivo

Como se mencionó al principio de este documento es necesario entender el proceso productivo de la compañía para así identificar las diferentes áreas que hacen parte de este. En este ítem será de estudio únicamente el papel que desempeñan las máquinas de corte y rectificado, sin embargo, se mencionan también procesos como la

comprobación visual de la materia prima y diferentes equipos de medición que están dentro de estos procesos.

Maderas del oriente E.M.J inicia su proceso productivo con una inspección visual de la materia prima, la cual debe recibirse en condiciones óptimas para posteriormente hacerse los procesos de corte y rectificado, esta es una de las etapas más importantes, ya que, si el material no cumple con las condiciones requeridas por la compañía, afectara en gran medida el correcto funcionamiento de las máquinas de corte y rectificado.

Luego de una inspección visual y metrología de la materia prima, se pasa por la sierra reaserradora sinfín, la cual nos proporciona las medidas de tablas chapas y burras para construcción, se debe tener en cuenta que las calidades superficiales que demandan los diferentes clientes varía entre medidas, es decir, no todas las medidas de menor calibre como lo son las repisas, durmientes y listones se exigen con una calidad superficial buena, pero en la mayoría de veces si se exige.

Después de obtener el producto resultante de la sierra sinfín, se pasa al cepillo regruesador el cual le dará el grosor y la calidad superficial requerida por el cliente, este proceso se hace en conjunto con la planeadora de rodillo para rectificar sus laterales.

Luego de esto para conseguir medidas más específicas de listones o durmientes, se trabaja con la sierra radial de banco, cubriendo así todas las medias estandarizadas de menor dimensión.

Por último, para conseguir altos de menor medida se trabaja con la sierra de banco la cual nos proporciona cortes transversales.

Resumiendo, el proceso productivo y la máquina que cumple ese proceso se presenta la siguiente tabla:

2.1. Detalles del servicio

Tabla 2.

Numeración del proceso productivo de MDO

Proceso	Descripción	Equipo utilizado en el proceso
1	Inspección de la materia prima	Inspección visual del estado del material y metrología
2	Corte longitudinal de grandes dimensiones.	Sierra reaserradora sinfín
3	Desbaste del grosor de los planchones.	Cepillo regruesador
4	Rectificado de filos de los planchones.	Planeadora de rodillo
5	Corte transversal de los planchones	Sierra radial
6	Corte longitudinal de pequeñas dimensiones.	Sierra de banco

Nota. Con base a los procesos descritos, se le asigna un orden de proceso a cada máquina.

Además de los productos que ofrece MDO, también presta servicios de corte y rectificado para diferentes tipos de madera, gracias a su diversidad en maquinaria de corte y rectificado, tiene la capacidad de facilitar el correcto tratamiento que requieran los clientes. Este servicio tiene condiciones específicas ya que la madera debe ser no tratada, esto se refiere a que no puede tener ningún tipo de trabajo superficial con pinturas o inmunizantes, tampoco puede tener puntillas ni elementos que hayan podido haber quedado internamente en el material.

Es mayormente solicitado el servicio del cepillo regruesador, canteado y corte transversal o longitudinal.

3. SITUACIÓN ACTUAL DEL MANTENIMIENTO

A continuación se presentan los aspectos mas importantes en relación con la situación actual del mantenimiento en MDO

3.1. Actividades de mantenimiento dentro de la empresa

En la actualidad el mantenimiento realizado en MDO se basa principalmente en mantenimiento correctivo, esto quiere decir que no se realiza en ningún momento del proceso mantenimiento predictivo ni mucho menos mantenimiento preventivo. Esto supone un gran problema para la compañía ya que cuando alguna de las máquinas que hacen parte del proceso productivo, sale de operación repentinamente a causa de una falla funcional, o funciona anormalmente a causa de una falla técnica, afecta en mayor o menor medida la operación global.

Las diferentes intervenciones relacionadas en mantenimiento, son en su mayoría reparaciones correctivas o en ocasiones correctivas programadas.

Cuando se realiza el mantenimiento correctivo, se lleva un histórico de averías donde queda consignada la falla, los repuestos utilizados y la intervención que se realizó. También se llevan a cabo tareas de limpieza, ajuste y lubricación de los equipos, pero no con una frecuencia determinada.

Se tiene conocimiento técnico por parte de los operarios y gerente de área del funcionamiento de la maquinaria, esto proporciona información de posibles fallas y desajustes que puedan ocurrir, sin embargo, de estos eventos no se lleva registro formal.

3.1.1. Contratación de servicios externos

Debido a que dentro de la compañía no se pueden llevar a cabo procesos de mantenimiento especializados en algunos casos, se acude a terceros para la reparación y supervisión de dichos eventos, a continuación, se hace un listado de los principales servicios.

- Servicio de afilado de cintas
- Reparación y mantenimiento de motores eléctrico
- Reparación y mantenimiento de componentes eléctricos (contactores, cableado, arrancadores)
- Afiliado de cuchillas de corte
- Reparación y mantenimiento de poleas y ejes

3.1.2. Gestión y compra de repuestos

La compra y adquisición de repuestos se hace a partir del momento en que se genera la falla, una vez ocurrido el evento, se evalúan los recursos que se tienen a disposición y los necesarios para corregir dicho evento, en el caso de no contar con los insumos necesarios para hacer la corrección, se procede a obtener la información necesaria del repuesto, insumo o herramienta que permita poner en funcionamiento el equipo nuevamente en el menor tiempo posible.

La compra la hace directamente el gerente operacional comparando diferentes proveedores y destinando un presupuesto mínimo para la compra.

3.1.3. Documentación de los equipos

Se cuenta con manuales de operaciones de algunos equipos en versión digital donde se presentan generalidades acerca de su instalación, operación, mantenimiento y partes, estos manuales solo se encuentran para el cepillo regruesador y la planeadora de rodillo, adquiridos recientemente por la empresa. Anteriormente la única documentación que se tenía eran fichas técnicas donde se referían sus dimensiones y características comerciales, además de esto, la compañía no cuenta con formatos de órdenes de trabajo ni rutas de mantenimiento diferentes a los que se encuentran en los manuales de operaciones mencionados anteriormente.

3.2. Reconocimiento de equipos

3.2.1. Sierra reaserradora sinfín

La sierra sinfín es el equipo que realiza el aserrado longitudinal de grandes dimensiones como se definió en la tabla 1, está diseñada para hacer cortes longitudinales en la madera con dimensiones máximas de hasta 45cm de ancho por 45cm de largo y hasta 5m de alto, y mínimas de hasta 1/2cm de ancho por 1/2cm de largo y hasta 5m de alto.

Figura 2.

Reaserradora sinfin volante 1100mm



Nota. Es el equipo más robusto dentro del proceso de corte y rectificado.

Su estructura está construida en lámina de 7,9mm y posee un volante fabricado en fundición gris de 1100mm de diámetro el cual alberga una cinta sinfín de 12,7cm, estos se encuentran torneados y balanceados dinámicamente y estáticamente.

Posee un pedal neumático el cual controla una piña alimentadora que aplica presión sobre la madera, tiene rodillos auxiliares que permiten el retroceso del bloque de madera. Posee una boca cintas con sistemas de cremallera de muy fácil desplazamiento, con una capacidad de corte de 50cm x 70cm acoplado a un sistema de tensión de cinta por sinfín y corona. Su potencia la da un motor trifásico de 30hp con arrancador en estrella triángulo y variador de velocidad para la piña del alimentador que pueden variar de 0 a 30m/s

Figura 3.

Piña de alimentación, rodillos y sistema neumático



Nota. El sistema de alimentación de la sierra sinfín depende de la piña neumática y el pedal de apertura del compresor al actuador.

3.2.2. Cepillo regruesador

Realiza el desbaste del grosor de los planchones especificado en la tabla 1, éste posee unos rodillos para el arrastre de la madera montados en rodamientos de agujas, su cuerpo está construido en hierro fundido para evitar vibraciones además de poseer un

sistema de avance acoplado en el mandril. Su transmisión es por correa plana y esta provista con pisadores de presión los cuales sujetan bajo las cuchillas lo más cerca.

Figura 4.

Cepillo regruesador



Nota. Se observa el sistema de alimentación, motor y estructura

Sus dimensiones son las siguientes:

- Ancho útil de la mesa 500mm
- Altura máxima o espesor a cepillar 200mm
- Espesor mínimo 5mm
- Avance de la madera 12,5m/min

Figura 5.

Cepillo regruesador



Nota. Se observa la plancha de salida

3.2.3. Planeadora de rodillo

Está constituida por dos mesas fundidas con la cara superior rectificadas, la de entrada es más larga y más ancha, por lo que se facilita el cepillado de las piezas largas.

El equipo va montado sobre un gabinete base el cual está fabricado en acero, en ella va instalado el motor y extractor de viruta por caída. La planeadora permite obtener un canto perfectamente maquinado y plano, de tal manera que, al empalmar con otro madero ya mecanizado, no queda luz entre los dos y se obtiene una unión compacta, además de esto, consta con un eje principal de corte (mandril) que se encuentra montado sobre las chumaceras que van fijadas a la estructura principal y tres cuchillas de corte que van aseguradas al mandril por medio de los contrafueros.

Figura 6.

Planeadora de rodillo



Nota. La superficie donde e apoya debe ser completamente lisa

Posee una porta cuchillas de acero con espacio para 3 cuchillas con un diámetro de corte de 95mm. Su potencia es generada por un motor eléctrico de 3hp y su transmisión es por correas trapezoidales.

Las condiciones ambientales en las que debe operar la maquina son las siguientes:

- Temperatura 0°C - 40°C
- Ambiente libre de ácidos, medios alcalinos y gases tóxicos
- Mantener alejado de posibles explosiones o descargas eléctricas
- La máquina debe ser instalada lejos de lugares de alta vibración, altas y bajas temperaturas.

3.2.4. Sierra radial

Su estructura está constituida en un 90% por fundición y el resto es lámina o en este caso en madera aglomerada de alto impacto, posee un disco de corte graduable de 14” a 18” que gira a 3,470RPM generadas por un motor asincrónico con ventilación externa el cual es trifásico de 220vol – 260vol provisto de caja de mando con una potencia de 4,8HP.

Figura 7.

Sierra radial



Nota. Se soporta sobre una estructura de acero y una plancha de corte de madera aglomerada.

La máquina está provista de 4 grados de inclinación:

- Vertical para alturas
- Ecuador de brazo – pista 360°
- Giro de la horquilla porta motor a 360°
- Graduación de motor a 90° y fijadores respectivamente

3.2.5. Sierra de banco

La máquina está construida en hierro fundido, su bastidor o cuerpo, la mesa y soporte, están fabricados en hierro fundido, con el fin de evitar vibraciones.

Posee un mandril porta sierra montado sobre balineras fijas, el cual permite el movimiento longitudinal de la mesa la cual es inclinable para cortes a falsa escuadra.

Especificaciones:

- Mesa de 1,100mm de largo x620mm
- Capacidad máxima de disco o sierra 45cm
- Altura máxima de corte 150mm
- Distancia máxima de disco al tiento 360mm
- Revoluciones del árbol por sierra 3,000RPM
- Potencia del motor 6,6 HP

Figura 8.

Sierra de banco



Nota. Su accionamiento es rápido, la seguridad frente a este equipo debe ser máxima.

3.3. Matriz de sistemas de cada equipo

Ya conociendo la disposición, funcionamiento y dimensiones de cada equipo, es importante saber exactamente qué tipos de sistemas los integran, en la siguiente tabla se hace un resumen detallado de los sistemas que conforman la maquinaria.

Tabla 3.

Matriz de sistemas que conforman los equipos

MÁQUINAS	SIERRA SINFIN	CEPILLO REGRUESADOR	PLANEADORA	SIERRA RADIAL	SIERRA DE BANCO
SISTEMAS					
Potencia	Motor trifásico de baja de 30HP	Motor asincronico de 7HP	Motor de 3 1/2HP de alta	Motor de 6HP de alta	Motor 9/2 HP de alta
Trasmisión	Polea de salida 15cm y de entrada de 76cm	Polea	Correa en V	Directa del eje a la disco de corte	polea
	Volante de 1100mm D	Correas en v	Polea		Correa en V
	Correas trapezoidales	Rodillo alberga cuchillas	Rodillo alberga chuchillas		
	cinta sinfín de 15cm largo 7m				
Neumático	Compresor de 200psi	N/A	N/A	N/A	N/A
	Pedal neumático de control				
	Actuador neumático de un sentido vástago de 45cm				

Tabla 3.

Continuación

MÁQUINAS SISTEMAS	SIERRA SINFIN	CEPILLO REGRUESADO R	PLANEADOR A	SIERRA RADIAL	SIERRA DE BANCO
Eléctrico y electrónico	Arrancador Estrella triángulo por fases	Arrancador directo	Arrancador directo con protector térmico	Arrancado r directo con protección térmico	Arrancado r directo con protector térmico
	Variador de velocidad de la piña				
Estructural	Cuerpo en Lámina de 21mm fundición	Cuerpo en fundición	rodillo con cuchillas	Riel de avance	Plancha de soporte
	volante de 1100mm de diámetro	Rodillo de cuchillas			
	Piña alimentado r			carcaza de cuchillas	Base en fundicion
	Plancha			Mesa de soporte	

Nota. La sierra reaserradora sinfín es el equipo con más sistemas.

4. DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL DEL MANTENIMIENTO

Como se describió en capítulos anteriores, cada una de las máquinas de corte y rectificado cumplen dentro del proceso productivo un papel fundamental para dar alcance a la misión y visión de la empresa MDO. Desde sus inicios hasta el día de hoy, los activos físicos han representado el sustento de la línea de producción y la calidad de los productos despachados por la empresa. Por la complejidad de su funcionamiento, cada máquina debe ser manejada por dos operarios, esto con el fin de que el uso sea el adecuado y se evite al máximo el riesgo que una máquina de corte como las mencionadas se accione accidentalmente. Una falla no solo ocasiona la pérdida de tiempo valioso en la producción, sino que también puede generar riesgos laborales que afecten la integridad física de los operarios.

Los equipos no trabajan de manera continua, es decir, sus turnos productivos no son constantes de 8 horas diarias; su uso y operación dependen exclusivamente de la cantidad de pedidos que tenga la empresa, eso quiere decir que la operación de las máquinas de corte es proporcional al volumen de trabajo, en la empresa solo 2 personas se encuentran capacitadas para manejar la sierra sinfín, mientras que los demás operarios pueden dar uso del resto de maquinaria.

Conociendo los sistemas principales de cada máquina y relacionando su operación con el proceso productivo de MDO, podemos definir los subsistemas haciendo una distinción en el funcionamiento de cada uno, para esto, se hace para cada subsistema, una matriz donde se visualice su relación con cada una de las máquinas estudiadas y los fallos comunes y posibles problemas.

4.1. Distinción de cada subsistema por equipo

Para una correcta caracterización y descripción funcional de los subsistemas de cada equipo, se realiza una matriz donde se evidencie el subsistema, características y los elementos que lo conforman. En las siguientes tablas se identifican y caracterizan los subsistemas de cada uno de los equipos de corte y rectificado que conforman el proceso productivo descrito en la figura 1.

Tabla 4.

Matriz de subsistema del cepillo regruesador

CEPILLO REGRUESADOR		
Subsistema	Características	Elementos
Corte	Consta del eje principal de corte (mandril), que se encuentra montado sobre las chumaceras que van fijadas a la estructura principal y tres cuchillas de corte que van aseguradas al mandril por medio de los contrafierros.	Mandril
		Chumaceras
		Cuchillas de corte
		Contrafierros
Alimentación	Cuenta con dos rodillos alimentadores, el primero estriado que empuja la madera y un segundo rodillo liso que hala la madera sin dejarle ninguna marca después del corte, estos dos rodillos van enfrentados a dos rodillos locos que se encuentran en la plancha para evitar la fricción de la madera con la misma. Al mismo tiempo cuenta con un pisador que funciona con un protector para el usuario que evita que la madera con el corte no se vaya a devolver y pueda causar algún accidente.	Rodillos estriados
		Rodillos lisos
		Rodamientos
		Rodillos libres
		Pisador
Embrague	Es un juego de poleas y de engranajes que le permiten al usuario detener la alimentación de madera cuando lo requiera, se usa generalmente cuando el bloque de madera no avanza o simplemente si se desea detener la alimentación.	Poleas
		Engranajes
		Resortes
		Volante de altura
Estructural	La estructura de la máquina está hecha en fundición de hierro gris para darle una resistencia alta para el trabajo pesado. Consta de dos cuñas y una plancha sobre la cual deslizan los bloques de madera, la plancha escualiza su altura permitiendo el alineamiento de la máquina para cortar cuanto requiera el usuario. Cuenta con una base en lámina sobre la cual está montada la estructura en fundición y a la cual se le puede realizar el anclaje de la máquina al suelo.	Cuñas
		Plancha
		Pernos de sujeción

Nota. Se destaca de cada subsistema sus características y elementos que lo conforman

Tabla 5.

Matriz de subsistemas de la planeadora de rodillo

PLANEADORA DE RODILLO		
Subsistema	Características	Elementos
Corte	Su sistema de corte es muy similar al del cepillo el cual consta del eje principal de corte (mandril), que se encuentra montado sobre las chumaceras que van fijadas a la estructura principal y tres cuchillas de corte que van aseguradas al mandril por medio de los contrafierros	Eje principal
		Chumaceras fijas
		Cuchillas de corte
		contrafierros
Estructural	La estructura de la máquina está hecha en fundición de hierro gris para darle una resistencia alta para el trabajo pesado. Consta de dos planchas y una cureña sobre la cual deslizan las planchas, esta escualización permite el alineamiento de la máquina para cortar cuanto requiera el usuario. Cuenta con una base en lámina sobre la cual está montada la estructura en fundición.	Planchas graduables
		Cureña
		Base en lamina
		Estructura en hierro fundido
Embrague	Es un juego de poleas y de engranajes que le permiten al usuario detener la alimentación de madera cuando lo requiera, se usa generalmente cuando el bloque de madera no avanza o simplemente si se desea detener la alimentación.	Poleas
		Engranajes
		Resortes
		Volante de altura

Nota. Al trabajar con rodillos sus subsistemas son similares al cepillo regruesador.

Tabla 6.

Matriz de subsistemas de la sierra sinfin

SIERRA SINFIN		
Subsistema	Características	Elementos
Corte	Compuesto por una sierra sinfín	Cinta sinfín de 1.8m de largo
		Volantes de 1100mm
Alimentación	Cuenta con una piña de alimentación la cual es accionada por un actuador neumático. También cuenta con unos rodillos que facilitan el avance manual y el manejo óptimo.	Actuador neumático
		Piña alimentadora
		Rodillos direccionadores
		Rodamientos de agujas
		Pedal neumático
		Valvula 2/2 de control
		Compresor de 200psi
Trasmisión	Lo conforman un juego de poleas y volantes de 1100mm de diámetro y 115mm de ancho junto con un juego de engranajes reductores que parametrizan la velocidad de arranque del motor eléctrico de baja.	Polea de salida de 15cm de diametro
		Correas en v
		Volante de 1100mm
		Correas trapezoidales
		Polea de entrada de 76cm
		Cinta sinfín de 7m de largo
		Engranajes rectos
		Ejes de trasmisión

Tabla 6.

Continuación

SIERRA SINFIN		
Subsistema	Características	Elementos
Control eléctrico y electrónico	Posee un arrancador en estrella triangulo, esto debido a que el motor trifásico tiene una punta de intensidad de arranque muy alta, para controlar esto dependiendo a como se instalen las bobinas del motor, las tensiones a las que se verá sometidas las bobinas serán diferentes.	Motor trifásico
		Bobinado
		Arrancador estrella triangulo por fases
		Variador de velocidad de la piña
Control neumático	El compresor por medio del sistema de riego, entrega una conexión de aire comprimido a un actuador instalado junto a la piña alimentadora que permite ejerciera la fuerza necesaria para el avance de la madera, este sistema es controlado por una válvula direccional accionada por el operario	Compresor de 200psi
		Pedal neumático
		Actuador de un sentido vástago de 45cm

Nota. Es el equipo con más elementos constitutivos dentro del proceso productivo.

Tabla 7.

Matriz de subsistemas de la sierra radial

SIERRA RADIAL		
Subsistema	Características	Elementos
Corte	Tiene una capacidad de disco de 35cm y 45cm el cual va acoplado directamente al motor eléctrico.	Eje principal
		Disco de 45cm
Generación	Tiene un motor eléctrico de 4,8hp que puede girar a 3,470RPM con un diámetro de eje del motor de 25mm	Motor eléctrico 4,8hp
		Arrancador directo con protector térmico
Estructural	Confirmada por una plancha en madera aglomerada y un pista de deslizamiento.	Riel de avance
		Aglomerado 1,60cm
		Carcaza protectora

Nota. La sierra radial es el único equipo que puede ser operado solo por un operario.

Tabla 8.

Matriz de subsistemas de la sierra de banco

SIERRA DE BANCO		
Subsistema	Características	Elementos
Corte	Tiene una capacidad de disco de 35cm y 45cm el cual va acoplada directamente al motor eléctrico.	Disco de 45cm
Generación	Tiene un motor eléctrico de 4,8hp que puede girar a 3,470RPM con un diámetro de eje del motor de 25mm	Motor eléctrico 4,8hp de alta
		Arrancador directo con protector térmico
Estructural	Su tiento o guía es sujetable por medio de una empuñadura por sistema de mordaza que puede retirarse en cualquier sitio de la mesa.	Plancha en fundición
		Mordaza guía

Nota. Los subsistemas de la sierra de banco y sierra radial son similares por su funcionamiento y método de corte.

A partir de los subsistemas de cada uno de los equipos y de los elementos que los constituyen junto con el reconocimiento descrito en el capítulo anterior, se tiene una idea más detallada de la composición dentro del proceso productivo que estos equipos tienen,

además de entender en qué condiciones trabajan y que tipos de fallas pueden ser las más frecuentes.

4.2. Análisis de criticidad de cada uno de los subsistemas por equipo.

Para el siguiente análisis de criticidad se evaluarán los siguientes factores que responden al mejoramiento de la confiabilidad operacional de la instalación.

- Producción: Disponibilidad de producto.
- Operación: Costo que acarrea la salida de funcionamiento de un equipo.
- Seguridad: Riesgo que corren las personas si el equipo falla.
- Calidad: Disminuye la calidad del producto.
- Medio ambiente: ¿Genera algún tipo de contaminación?
- Mantenimiento: Costo > mano de obra, repuestos.

Frecuencia > con qué frecuencia falla el equipo.

Como se explica en el artículo de empleabilidad de criterios de riesgo y confiabilidad [12], para una correcta identificación del modo de falla, se debe definir la forma en la que las fallas afectan los procesos específicos que cumple cada subsistema, teniendo esto en cuenta, los valores de asignación de cada falla se evalúan definiendo la importancia del subsistema, desde los criterios mencionados anteriormente, los valores de criticidad deben ir ligados a los posibles grados de riesgo dentro de la operación de la empresa, para esto, se define un patrón de juicio detallado que abarca todos los rangos que se deben tener en cuenta para el estudio de criticidad

- Muy alto (5)
- Alto (4)
- Medio (3)
- Bajo (2)
- Ninguno (1)

De esta forma se evalúa cada subsistema, primero, relacionando el subsistema con los criterios descritos anteriormente, y luego designando un valor dependiendo de la importancia de ese subsistema en específico con la continuidad de la operación.

Tabla 9.

Criticidad de los subsistemas del cepillo regresador

Equipo	Subistema	Producción	Operación	Seguridad	Calidad	Medio ambiente	Mantenimiento		TOTAL
							Frecuencia	Costo	
Cepillo regresador	Corte	2	2	4	3	1	2	3	17
	Alimentación	4	3	4	5	1	2	2	21
	Embrague	4	5	4	3	1	1	1	19
	Amortiguación	2	2	1	3	1	1	1	11
	Estructural	2	5	2	2	2	1	4	18

Nota. Se asignan los valores dependiendo de la importancia del subsistema para cada criterio en específico.

Tabla 10.

Criticidad de los subsistemas de la sierra sin fin

Equipo	Subistema	Producción	Operación	Seguridad	Calidad	Medio ambiente	Mantenimiento		TOTAL
							Frecuencia	Costo	
Sierra sin fin	Corte	5	4	5	3	1	3	4	25
	Alimentación	3	3	3	5	1	2	2	19
	Control eléctrico y electrónico	5	5	2	2	2	2	2	20
	Control neumático	4	4	2	3	1	2	1	17
	Estructural	4	2	2	2	2	1	2	15

Nota. Se asignan los valores dependiendo de la importancia del subsistema para cada criterio en específico.

Tabla 11.

Criticidad de los subsistemas de la sierra radial

Equipo	Subistema	Producción	Operación	Seguridad	Calidad	Medio ambiente	Mantenimiento		TOTAL
							Frecuencia	Costo	
Sierra radial	Corte	3	3	5	4	1	2	3	21
	generación	3	3	3	2	1	3	2	18
	Control eléctrico y electrónico	4	3	4	3	2	2	2	20
	Estructural	2	2	2	2	1	1	2	12

Nota. Se asignan los valores dependiendo de la importancia del subsistema para cada criterio en específico.

Tabla 12.

Criticidad de los subsistemas del cepillo sierra de banco

Equipo	Subistema	Producción	Operación	Seguridad	Calidad	Medio ambiente	Mantenimiento		TOTAL
							Frecuencia	Costo	
Sierra de banco	Corte	2	2	5	3	1	3	3	19
	generación	3	3	4	2	1	3	3	18
	Control eléctrico y electrónico	3	2	4	2	3	1	2	17
	Estructural	2	2	2	2	1	1	2	12
	Trasmisión	3	3	4	2	1	2	2	16

Nota. Se asignan los valores dependiendo de la importancia del subsistema para cada criterio en específico.

Tabla 13.

Criticidad de los subsistemas de la planeadora de rodillo.

Equipo	Subsistema	Producción	Operación	Seguridad	Calidad	Medio ambiente	Mantenimiento		TOTAL
							Frecuencia	Costo	
Planeadora	Corte	3	2	3	3	1	2	2	16
	Estructural	2	2	2	2	1	3	3	15

Nota. Se asignan los valores dependiendo de la importancia del subsistema para cada criterio en específico.

4.2.1. Orden de los subsistemas a partir de su criticidad

Al realizar el análisis de criticidad de cada subsistema por equipo, no solo podemos destacar los subsistemas más críticos de cada equipo si no también, la criticidad que cada máquina posee frente al proceso productivo de MDO; conociendo los subsistemas más importantes, es conveniente para el objetivo principal de este proyecto, clasificar la criticidad de cada uno de ellos, tanto por equipo, como globalmente dentro de las funciones operativas que se llevan a cabo en la producción.

Dando un orden de importancia, donde el subsistema con mayor puntaje será al que se le debe prestar mayor atención en el plan de mantenimiento, según los resultados obtenidos anteriormente, el orden es se representa en la siguiente tabla:

Tabla 14.

Orden de los subsistemas dependiendo de su criticidad.

Maquiná	Subsistema	Valor de criticidad
Sierra sinfín	Corte	25
Sierra radial	Corte	21
Cepillo regruesador	Alimentación	21
Sierra radial	Eléctrico y electrónico	20
Sierra sinfín	Eléctrico y electrónico	20
Sierra de banco	Corte	19
Sierra sinfín	Alimentación	19
Sierra de banco	Generación	18
Sierra radial	Generación	18
Cepillo regruesador	Estructural	18
Cepillo regruesador	Corte	17
Sierra sinfín	Control neumático	17
Sierra de banco	Eléctrico y electrónico	17
Sierra de banco	Tasmisión	16
Planeadora	Estructural	16
Sierra sinfín	Estructural	15
Planeadora	corte	15
Sierra de banco	Estructural	12
Sierra radial	Estructural	12
Cepillo regruesador	Amortiguación	11

Nota. Se representa el valor de criticidad y el subsistema de mayor a menor con distinción por colores donde el rojo es alta criticidad y el verde es muy baja criticidad.

4.3. Metodologías de mantenimiento

En la industria se deben elaborar estrategias en función del modelo productivo de la compañía, esto con el objetivo de optimizar la productividad y preservar los activos que hacen parte del proceso productivo de la empresa. Para lograr esto se deben desarrollar estrategias que nos permitan conocer cada aspecto que conforman dichos procesos y garantizar con intervenciones de diferentes tipos, el continuo funcionamiento de los activos al menor costo posible.

Existen diferentes tipos de planes de mantenimiento que nos permiten adaptar dichas estrategias dependiendo de las características del proceso de cada compañía, para conocer el plan de mantenimiento que mejor se adapte a las diferentes etapas productivas, es necesario conocer en que consiste cada uno y cual se adapta mejor a este caso en específico.

4.3.1. Mantenimiento basado en confiabilidad (RCM)

RCM por sus siglas en inglés (Reliability Centred Maintenance) determina que toda actividad dentro del mantenimiento tiene garantía de efectividad durante un periodo determinado. Esto quiere decir que todas las actividades que se hagan dentro de un proceso por RCM deben ser garantizadas, esto se logra por medio de documentación y descripción clara y precisa de cada uno de los pasos que deben llevarse a cabo para completar la tarea de mantenimiento propuesta y siempre en función del proceso productivo de la compañía [17]

El RCM fue desarrollado principalmente para la industria aeronáutica, ya que se requería aumentar la disponibilidad de los equipos que conformaban las plantas y a su vez, disminuir los costos de producción, esto parte de la necesidad de reducir los tiempos en los procesos de producción a causa de fallas imprevistas. De esta forma el objetivo del RCM es desarrollar las soluciones que le permitan a la planta y al proceso productivo de esta, operar de la manera más óptima además de crear estrategias que permitan una revisión constante de los equipos en base a tareas que se deben cumplir en la frecuencia determinada para dicho proceso [17].

Las ventajas que ofrece el mantenimiento en base al RCM son:

- Aumento en la producción de la planta
- Fiabilidad en la instalación
- Seguridad y confiabilidad en cada uno de los equipos
- Conocimiento a profundidad de los activos

El éxito de una buena gestión del RCM depende esencialmente de una buena preparación y planeación meticulosa, además de esto la evaluación de los recursos necesarios que se requieren para aplicar el proceso a los activos seleccionados y asegurarse de que el contexto operativo del activo se entienda claramente será un factor determinante en dicha aplicación. [17]

4.3.2. *Mantenimiento productivo total (TPM)*

Por sus siglas en inglés (total productive maintenance) el mantenimiento por TPM originalmente creado para la industria automotriz en Japón, se especializa en la implementación de un mantenimiento autónomo y capaz, esto quiere decir que las actividades que se tengan que realizar serán labor de todos los empleados de la planta, los cuales tendrán que velar por la conservación de los equipos que tengan a disposición, esto resulta por parte de las compañías en la promoción de una cultura organizacional y de educación continua sobre su producción y mantenimiento. Se conoce que en el pasado el éxito de la implementación del TPM depende en su mayoría de la adquisición de dicha cultura, ya que los resultados se verán reflejados en ello. [18]

Las ventajas más significativas que podemos obtener de la implementación de este plan de mantenimiento son las siguientes

- Mayor formación del recurso humano: como se realizan actividades de gestión y mantenimiento con una alta frecuencia, los operarios se ven envueltos en las actividades diarias de los equipos y aprenden de los procesos de mantenimiento implícitos en ellos.
- Control de los activos físicos de la compañía: denominamos activo en mantenimiento a la maquinaria que cumple una función dentro de un proceso productivo y le genera a la compañía ganancias monetarias. Estos activos se ven supervisados por el control que se le da al personal de producción.

- Reducción de los eventos: un evento en mantenimiento es una falla funcional o técnica que le puede ocurrir a algún activo por uso. Al ser el operario responsable del correcto funcionamiento de la maquinaria que tiene a cargo, se elimina casi por completo el número de averías ocasionadas por un uso normal del equipo.

En el planteamiento correcto del TPM se debe de considerar una de las técnicas determinadas por los japoneses denominada las “Cinco s” las cuales parametrizan las actividades principales que se deben llevar a cabo para que el TPM se desarrolle de manera exitosa. [18] El significado de estas son los siguientes:

- Seri: Organización y planificación
- Seiton: Orden
- Seiso: Limpieza e inspección
- Seiketsu: Estandarización y normalización
- Shitsuke: cumplimiento y disciplina

4.3.3. Mantenimiento basado en optimización

El PMO es utilizado cuando ya se tienen una metodología aplicada en la instalación como las que vimos anteriormente, al ser una metodología complementaria a las demás, su aporte técnico no es de mucha relevancia. El objetivo principal del PMO es conseguir una mezcla ecuánime entre los diferentes tipos de mantenimiento, como el mantenimiento preventivo, correctivo y predictivo, así se logrará una disminución en la ocurrencia de eventos. [19]

La atribución más importante que aporta el PMO es la automatización del mantenimiento, ya que se ajustan los órdenes del mantenimiento ya programado, para una correcta gestión a corto plazo y garantizar la disponibilidad de equipos al momento de efectuar las actividades de revisión, diagnóstico y corrección.

Los pasos para la gestión y desarrollo del PMO dependen de los datos que se tengan a disposición acerca de la disponibilidad de los equipos estudiados además de conocer los órdenes de mantenimiento, datos del fabricante, histórico de averías, descomposición del equipo por subsistemas y componentes. [19]

4.3.4. Mantenimiento pro análisis de modo y efecto de falla (AMEF)

Los procesos que se llevan a cabo para el desarrollo del AMEF deben ser empleados a partir del análisis del modo de falla, ya sea funcional o técnica, y los efectos que puedan ocasionar, centrándose así en las consecuencias de los fallos presentados y la criticidad de estos, esto quiere decir que no tendrá la misma relevancia un fallo prescindible a uno crítico, de esta manera se priorizan las tareas preventivas más importantes como resultado de un análisis previo. [10]

Desarrollado por la industria aeroespacial y automotriz como un procedimiento para la ejecución de un modo de falla, efectos y análisis de criticidad el cual ayudo a desarrollar estrategias de mantenimiento que permitieron a estas industrias mejorar sus procesos mediante evaluaciones y diagnósticos de las maquinas, con el fin de determinar los niveles de confiabilidad y lograr prever posibles fallas.

Esta metodología de análisis es aplicable en cualquier escenario donde se requiera optimizar procesos, corregir desviaciones y mitigar riesgos. En su aplicación se logra identificar fallas o defectos a los procesos antes que estos sucedan, además de reducir costos de producción e incrementar la confiabilidad en el producto o servicio reduciendo el desperdicio y los re-procesos, también documenta la trazabilidad y eleva el know how corporativo.

Comúnmente existen tres tipos de AMEF, el primero de ellos es el de sistemas, que asegura la compatibilidad y estabilidad de los componentes del sistema. El AMEF de diseño reduce los riesgos por errores de diseño y AMEF de proceso que revisa los procesos para encontrar posibles fuentes de error. El momento en el que se debe realizar un AMEF responde a los cambios y variaciones en los productos o servicios, frente a variaciones importantes en el ambiente de producción, también para el diseño o la implementación de un nuevo producto o servicio y en la solución de problemas por fallos o defectos. [10]

4.4. Selección del plan de mantenimiento adecuado

4.4.1. Criterios de evaluación y selección

La selección del plan de mantenimiento más adecuado para (MDO) debe de tener en cuenta las características de la empresa en cuanto a su mantenimiento actual y los aspectos que se relacionan al proceso productivo en base a los activos físicos (maquinaria), al haber definido las diferentes metodologías de mantenimiento que tenemos a disposición para la elaboración de nuestro plan de mantenimiento preventivo, podemos definir una matriz de alternativas que nos permita contrastar cada metodología y evaluar cuál se adapta mejor a los parámetros que se definen a continuación.

Se destacan 16 aspectos estrechamente ligados al mantenimiento actual y al proceso productivo de MDO donde se definen brevemente de cada uno su inclusión o no en alguna de las metodologías ya explicadas en el capítulo anterior.

- No se cuenta con plan de mantenimiento: factor importante en la aplicación de un RCM o TPM ya que, para el desarrollo de estos, se debe de tener unos criterios de mantenimiento ya desarrollados, por el contrario, al no haber plan de mantenimiento la aplicación de un AMEF sería la mejor opción de aplicación debido a que se centra en la criticidad inmediata del proceso y no requiere de un planeamiento y programación previa.
- No existe un histórico de averías actualizado: al no tener registrado los eventos y su frecuencia no es conveniente la aplicación de un PMO por su falta de información y optimización.
- Costos de mantenimiento: sin importar cuál sea la metodología de mantenimiento, al inicio de la implementación se generan costos que a mediano y largo plazo se retribuyen con los beneficios que trae un plan de mantenimiento.
- Alta frecuencia de mantenimiento correctivo: al presentar gran número de actividades de mantenimiento correctivo, se torna crucial presentar una alternativa que permita dar lugar a la corrección inmediata mientras se diseñan las estrategias que den lugar a la prevención de los eventos, y que en un corto plazo la frecuencia del mantenimiento correctivo disminuya.

- La empresa no tiene indicadores que midan el desempeño del mantenimiento: los indicadores son la base del mantenimiento basado en PMO o TPM ya que estos requieren de información para generar las estrategias que garanticen la confiabilidad y la implementación de una cultura de mantenimiento integral.
- Bajo empeño de los empleados con las actividades de mantenimiento: siendo los primeros en identificar y mitigar la frecuencia de fallas, si no se tienen un compromiso se debe considerar la implementación de un TPM.
- Mantenimiento realizado por terceros: no es de gran relevancia para la elección de la metodología preventiva, pero se considera para el desarrollo del proceso productivo y los gastos de mantenimiento.
- Presupuesto nulo para un área especializada en mantenimiento: se deben de dirigir recursos para la implementación de cualquier metodología de mantenimiento preventivo, sin embargo, se debe de evaluar dependiendo a las actividades a realizar tanto técnicas como teóricas, la que más convenga a la compañía por su efectividad de aplicación y costos adicionales.
- Paradas no programadas en el proceso productivo: para la implementación de un AMEF esta característica es importante ya que, aunque se ve comprometido el proceso, se puede aliviar las fallas repetitivas a corto plazo mientras se trabaja en la programación y ejecución de tareas para mitigar fallas más complejas.
- No se tiene departamento de mantenimiento: al no tener personal encargado de los procesos de mantenimiento en MDO se vuelve imperativo que los operarios hagan parte de las tareas diarias que se requieran para cada equipo, de esta forma con implementación de un TPM o AMEF se puede crear un equipo de trabajo que atienda únicamente a las necesidades de los activos físicos.
- Proceso productivo invariable en el tiempo: En el tiempo que la compañía lleva operando, debido a diferentes factores de mejora, no se ha podido mejorar u optimizar el proceso productivo.
- Costo actual del mantenimiento: es variable y no se tiene un registro de cuanto es el costo mensual o anual del mantenimiento correctivo.
- Conocimiento de los equipos con mayor criticidad: se sabe que dentro del proceso productivo encontramos máquinas que son más imprescindibles que otras, pero no

se sabe exactamente el riesgo que se corre al no saber cuándo puede salir de servicio por alguna falla técnica.

- Seguridad laboral: las maquinas objeto de estudio de este proyecto, tienen una criticidad elevada dentro de la seguridad operacional de estas, esto quiere decir que se debe de tratar con sumo cuidado cada una de las funciones que se hacen dentro de la compañía, en mayor medida, al operar la maquinaria.
- Estandarización de los procesos de mantenimiento: no se tiene un control estandarizado del mantenimiento correctivo.
- Mantenimiento correctivo: es el único tipo de mantenimiento que se ejecuta en MDO.

4.4.2. Selección del plan de mantenimiento según las características

Para la selección del plan de mantenimiento preventivo se definió los parámetros más relevantes que son producto de las prácticas de mantenimiento y proceso productivo actual de MDO. Para determinar la relevancia de cada una de las metodologías aplicables dentro de estos parámetros se asignó un valor numérico de 1 a 3 que dirá la competencia de cada metodología frente a cada parámetro definido anteriormente.

Para cada valor se tiene lo siguiente:

1 = no aplica

2 = aplica medianamente

3 = aplica directamente

Tabla 15.*Matriz de evaluación y selección de alternativas*

MATRIZ DE ALTERNATIVAS				
CARACTERÍSTICAS DE MDO	RCM	TPM	PMO	AMEF
No se cuenta con plan de mantenimiento	1	2	1	3
No existe un histórico de averías actualizado	1	2	1	3
Altos costos de mantenimiento	3	2	3	2
Alta frecuencia de mantenimiento correctivo	2	2	1	3
La empresa no tiene indicadores que midan el desempeño del mantenimiento	1	1	1	2
Bajo empeño de los empleados con las actividades de mantenimiento	2	1	2	2
Mantenimiento realizado por terceros	2	1	2	2
Presupuesto nulo para un área especializada en mantenimiento	1	1	1	1
Paradas no programadas en el proceso productivo	1	1	1	2
No se tiene departamento de mantenimiento	1	1	1	1
Proceso productivo invariable en el tiempo	2	2	1	2
Costo actual del mantenimiento	2	2	2	2
Conocimiento de los equipos con mayor criticidad	2	3	2	3
Seguridad laboral	3	3	2	2
Estandarización de los procesos de mantenimiento	2	3	2	3
Mantenimiento correctivo	2	2	2	3
PUNTUACION TOTAL	28	29	25	36

Nota. Para la selección se toma el valor más alto en la sumatoria final de cada uno de las características.

Como se esperaba el resultado del análisis comparativo de todas las metodologías de mantenimiento preventivo que se pueden usar, la que se adapta de forma más concisa al proceso productivo de MDO es el mantenimiento por análisis de modo y efecto de falla o AMEF con 36 puntos, este nos permitirá con la información que se tiene, brindarle un análisis inmediato a los equipos de corte y rectificado haciendo una distinción de la criticidad de cada máquina dentro del proceso productivo y definiendo tanto los tipos de falla de la maquinaria como su influencia dentro de los diferentes sistemas de estas.

5. ELABORACIÓN DEL PLAN DE MANTENIMIENTO

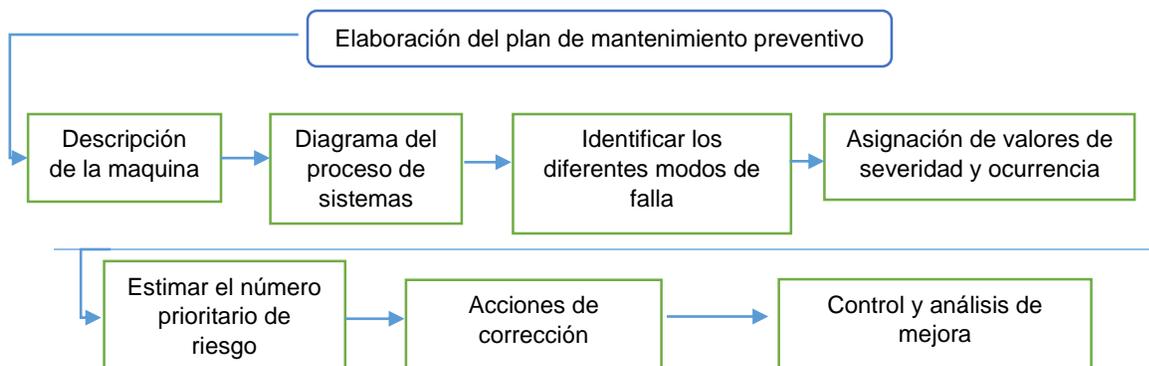
5.1. Análisis de modo y efecto de falla

Ya definida la metodología más adecuada para la elaboración de este plan de mantenimiento preventivo, se procede a establecer una serie de modos de falla, así se podrá tener un control sobre el efecto de estas fallas y asignan valores de severidad, ocurrencia y detección para cada una. Al realizar este análisis se obtendrá un número prioritario de riesgo y se conocerá la criticidad de cada falla para poder tomar acciones de mejora sobre la misma y establecer un responsable.

Esta metodología se divide en diferentes secciones que pretenden sugerir un orden para su aplicación. En la figura 9 se describen los pasos de aplicación que la metodología AMEF establece.

Figura 9.

Desarrollo del plan de mantenimiento preventivo basado en AMEF para MDO



Nota. La figura muestra el desarrollo de un plan de mantenimiento basado en la metodología AMEF. *Tomado de:* Análisis de modos de falla, efectos y criticidad (AMFEC) para la planeación del mantenimiento empleando criterios de riesgo y confiabilidad, Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/482/48215094003.pdf>

5.2. Análisis de identificación de los modos de falla por equipo

Siendo uno de los aspectos más importantes, el estudio de los modos de falla permite conocer qué elementos son más críticos dentro de los sistemas descritos en la tabla 4, ya que algunos sistemas requieren de una mayor atención y tratamiento por su complejidad y seguridad, este análisis permite conocer inmediatamente el orden en el que se deben tratar las tareas correctivas en las partes más propensas a fallar.

Al haber caracterizado cada uno de los sistemas presentes en los equipos de corte y rectificado, se realiza un análisis de modo y efecto de falla para conocer las causas principales y efectos que ocasionan averías en los equipos, posteriormente se define el número prioritario de riesgo el cual es resultado de una relación entre cada uno de los sistemas y las fallas establecidas. De esta manera se jerarquiza el orden óptimo para realizar el plan preventivo teniendo muy en cuenta la criticidad evaluada en cada sistema.

Dentro de los mecanismos o sistemas se puede clasificar las fallas en dos, fallas técnicas y fallas funcionales, esta clasificación depende exclusivamente de la severidad y repercusión que se tenga en el funcionamiento óptimo de la máquina, dando una definición exacta de cada uno tenemos que:

- Fallas técnicas son aquellas que crean una anomalía dentro del sistema, sin embargo, esta anomalía le permite al equipo seguir funcionando teniendo así una menor consecuencia sobre el funcionamiento de la máquina, con esto no se quiere decir que no sea de relevancia, ya que una falla técnica presenta un riesgo importante si no se la da corrección, ya que puede convertirse en una falla funcional.
- Las fallas funcionales ocasionan dentro de la máquina, un impedimento para realizar su función, es decir, son fallas que ocasionan una detención completa del mecanismo.

Para realizar una correcta identificación y clasificación de los diferentes tipos de falla se hará una tabla estrechamente ligada al análisis de los subsistemas descritos anteriormente en las tablas 4 hasta la 8, relacionando los subsistemas de cada equipo.

Tabla 16.

Modo y efecto de falla para la sierra sinfin

Equipo	Sistema	Modo de falla	Efecto
SIERRA REASERRADORA SINFIN	Generación (motor trifásico asincrónico)	No prende	No inicia la operación
		Pérdida de potencia y bajas revoluciones	No alcanza las revoluciones mínimas para el acerrado
			Dificultades para movilizar los volantes
		Daño de rodamientos	Desalineamiento, fricción de piezas, aumento de temperatura
	Sistema de transmisión (poleas de transmisión y correas)	Se frena	No alcanza las revoluciones mínimas para el acerrado
			Se sobrecarga el motor
		Se desliza la correa	Los volantes no giran
			La cinta no rota
		Desalineamiento de las poleas	Daños en los ejes de transmisión
	Corte (cinta sinfin)	Dientes rotos	Daño de la madera
		Elongacion excesiva	Fractura total de la cinta y volantes
	Alimentación (piña alimentadora)	No gira	No puede avanzar la madera
		Desgaste de los dientes	Puede dejar de alimentar a mitad del proceso de corte
	Control neumático (compresor, actuador de la piña y pedal de control)	No enciende el compresor	No acciona la piña alimentadora
		La presión es insuficiente	No puede avanzar la madera
			No gira la piña alimentadora
		El pedal de control no acciona el actuador	No se acciona el actuador
		El actuador no hace su recorrido	No avanza la piña alimentadora
	Control eléctrico y electrónico	Al arrancador no acciona la maquina	No inicia la operación

Nota. En la tabla se clasifican los modos y efectos de la sierra sinfin.

Tabla 17.

Modo y efecto de falla del cepillo regruesador

Equipo	Sistema	Modo de falla	Efecto
CEPILLO REGRUESADOR	Estructural	Vibración excesiva	Desajuste de piezas de sujeción
		Fractura de la plancha o agrietamiento	Salida de operación de la máquina
			Calibrado erróneo de la madera
			Lesiones al personal de operación
	Corte (rodillos y cuchillas)	No ajusta las cuchillas	Imperfectos en la madera
			Puede ocasionar que las cuchillas salgan disparadas o se estrellen contra la plancha
		Eje desalineado	No se hace presión contra la madera
			No se puede rectificar la madera
		Fractura de los rodamientos	Ruidos extraños
			Desalineamiento del eje de rotación
			Fractura del eje principal
		Alimentación (rodillos alimentadores)	No gira
	Desgaste de los dientes		Puede dejar de alimentar a mitad del proceso de corte
	Embrague	Desalineamiento de poleas	Rozamiento de los ejes de transmisión
			Ruidos extraños al ingresar la madera
Fractura de los tornillos expansores		Colapsa el sistema de embrague	
Amortiguación	El arrancador no acciona la maquina	No inicia la operación	

Nota. En la tabla se clasifican los modos y efectos del cepillo regruesador.

Tabla 18.

Modo y efecto de falla de la sierra radial

Equipo	Sistema	Modo de falla	Efecto
SIERRA RADIAL	Corte (disco)	Fractura parcial o total del disco de corte	Se para la operación
			Se pone en riesgo la seguridad del operario
			Ruido excesivo al momento de activar el arrancador
	Generación (Motor de alta)	Se frena	No alcanza las revoluciones mínimas para el acerrado
			Se quema el motor
		No arranca el motor	Quema del bobinado
	Control eléctrico y electrónico	Dientes rotos	Daño de la madera
		Elongacion exesiva	Fractura total de la cinta y volantes
	Estructural	No gira	No puede avanzar la madera
		Desgaste de los dientes	Puede dejar de alimentar a mitad del proceso de corte
		No enciende el compresor	No acciona la piña alimentadora
			No puede avanzar la madera
		La presión es insuficiente	No gira la piña alimentadora
		El pedal de control no accina el actuador	No se acciona el actuador
		El actuador no hace su recorrido	No avanza la piña alimentadora
	Al arrancador no acciona la maquina	No inicia la operación	

Nota. Se describe los efectos segun los modos de falla de los subsistemas de la sierra radial.

Tabla 19.

Modo y efecto de falla de la sierra de banco

Equipo	Sistema	Modo de falla	Efecto
SIERRA DE BANCO	Corte (disco)	Fractura parcial o total del disco de corte	Se para la operación
			Se pone en riesgo la seguridad del operario
			Ruido excesivo al momento de activar el arrancador
	Generación	Se frena	No alcanza las revoluciones mínimas para el acerrado
			se quema el motor
		No arranca el motor	Quema del bobinado
			Dientes rotos
Estructural	Fractura de la plancha	Salida de operación del equipo	

Nota. Se describe los efectos según los modos de falla de los subsistemas de la sierra de banco.

Tabla 20.

Modo y efecto de la planeadora de rodillo

Equipo	Sistema	Modo de falla	Efecto de falla
PLANEADORA DE RODILLO	corte (rodillo de cuchillas)	Fractura del eje principal de corte	No rectifica la madera
		Rudos extraños en la plancha principal	Rodamientos fracturados
			Dificultad para el avance de la madera sobre el rodillo
			Desajuste de las cuñas
	Estructural	Desalineamiento de las planchas	La altura de la plancha de entrada y de salida no es la misma
			Se desbasta más madera de la deseada
		Se fractura la plancha principal	Salida de operación del equipo
			Posible riesgo para el operario
		Desalineamiento de las poleas	Daños en los ejes de transmisión
	Embrague	Poleas desalineadas	Vibración y ruido excesivo

Nota. Se describe los efectos según los modos de falla de los subsistemas de la planeadora de rodillo

Al haber identificado los diferentes modos de falla, ya sea funcional o técnica dependiendo de su importancia dentro del proceso productivo podemos también determinar los efectos relacionados a estas fallas y darle prioridad por medio de la obtención del número prioritario de riesgo el cual se analizará a continuación.

5.3. Determinación de causas según los efectos de falla

5.3.1. Diagrama de Pareto

El diagrama de Pareto e Ishikawa, también conocido como causa y efecto o espina de pescado, se describe como *“una gráfica en donde se organizan diversas clasificaciones de datos por orden descendente, de izquierda a derecha por medio de barras sencillas después de haber reunido los datos para identificar las causas”* [4] este diagrama afirma que el 20% de las fallas, genera el 80% de las consecuencias. Al haber realizado un análisis previo de los efectos y conociendo los elementos de cada equipo, se determina con la ayuda del diagrama de Pareto, un porcentaje de los fallos más representativos a partir de cada subsistema y efecto de este.

Para la determinación del diagrama de Pareto se evalúan cada uno de los subsistemas definidos anteriormente en el análisis de criticidad, de tal forma, se logra establecer un orden para los efectos de cada equipo y hacer una comparación entre el realizado anteriormente y un análisis porcentual de los subsistemas más críticos.

En las tablas 21 y 22 se establece una clasificación entre el modo de falla y los subsistemas que involucra, identificando además la criticidad de los subsistemas desde el análisis de los efectos obtenidos anteriormente, con este análisis se podrá determinar si la criticidad de los subsistemas definida en el capítulo anterior, tiene concordancia con el análisis del efecto de falla y a partir de éste, consolidar acciones correctivas y las recomendaciones a que haya lugar.

Tabla 21.

Efecto de la sierra sinfín para el diagrama de Pareto

Equipo	Subsistemas											
	Efecto de falla	Corte	Alimentación	Control eléctrico y electrónico	Control neumático	Estructural	Embrague	Amortiguación	Generación	Trasmisión	N	%
SIERRA RE ASERRADORA SINFIN	No inicia la operación	x	x		x				x	x	5	7%
	No alcanza las revoluciones mínimas para el acerrado	x	x		x					x	4	5%
	Dificultades para movilizar los volantes	x	x								2	3%
	desalineamiento, fricción de piezas, aumento de temperatura	x				x			x	x	4	5%
	No alcanza las revoluciones mínimas para el acerrado	x	x						x	x	4	5%
	Se sobrecarga el motor								x		1	1%
	Los volantes no giran	x	x	x					x	x	4	5%
	La cinta no rota	x								x	2	3%

Tabla 21.

Continuación

Equipo	Subsistemas											
	Efecto de falla	Corte	Alimentación	Control eléctrico y electrónico	Control neumático	Estructural	Embrague	Amortiguación	Generación	Trasmisión	N	%
SIERRA RE ASERRADORA SINFIN	Daños en los ejes de trasmisión									x	1	1%
	Daño de la madera	x									1	1%
	Fractura total de la cinta y volantes	x	x								2	3%
	No puede avanzar la madera		x								1	1%
	Puede dejar de alimentar a mitad del proceso de corte		x								1	1%
	No acciona la piña alimentadora		x	x	x						3	4%

Tabla 21.

Continuación

Equipo	Subsistemas											
	Efecto de falla	Corte	Alimentación	Control eléctrico y electrónico	Control neumático	Estructural	Embrague	Amortiguación	Generación	Trasmisión	N	%
SIERRA RE ASERRADORA SINFIN	No puede avanzar la madera	x	x		x					x	4	5%
	No gira la piña alimentadora		x							x	2	3%
	No se acciona el actuador				x						1	1%
	No avanza la piña alimentadora				X						1	1%
	No inicia la operación	X	X	X					X	X	5	7%
	TOTAL											48

Nota. Para cada subsistema se clasifican los efectos que los afectan.

Tabla 22.

Datos diagrama de Pareto para las causas de la sierra sinfín

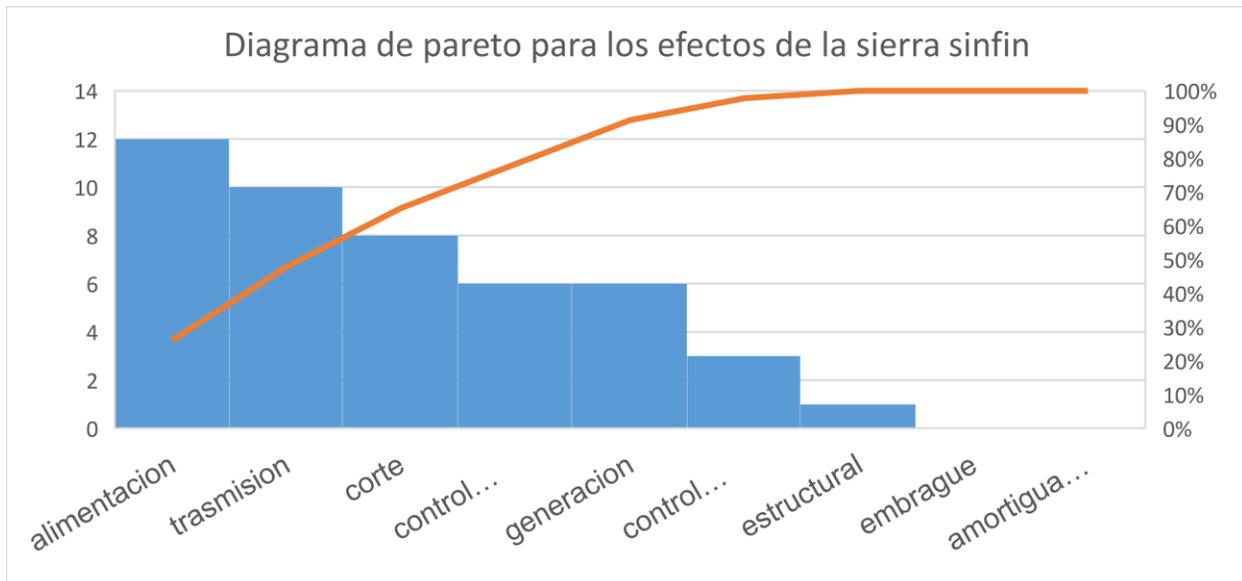
SUBSISTEMA	N°	%	% acumulado
Alimentación	12	28%	28%
Trasmisión	10	17%	45%
Corte	8	15%	60%
Control neumático	6	13%	73%
Generación	6	13%	86%
Control eléctrico y electrónico	3	8%	94%
Estructural	1	6%	100%
Embrague	0	0%	100%
Amortiguación	0	0%	100%
Total	47		

Nota. Se destaca un ponderado de las cusas para el diagrama de pareto de la sierra sinfin

Luego de clasificar y hallar el porcentaje acumulado de cada uno de los subsistemas, se visualiza en orden de mayor a menor los subsistemas con mayor número de efectos.

Figura 10.

Diagrama de Pareto para efectos de la sierra sin fín



Nota. Se clasifica cada subsistema por su numero de efectos

En la gráfica 1, se observa el orden de los subsistemas luego se hace la asignación de los modos de falla y sus efectos en cada uno de los subsistemas que componen el equipo. A diferencia de los resultados obtenidos en el análisis de criticidad, se deduce que el subsistema más crítico para este equipo es el de alimentación, seguido por el de transmisión y luego el de corte, sin embargo, si se revisa la tabla 14, se puede observar que aunque no se cumpla el mismo orden de criticidad de igual forma los subsistemas determinados en este apartado siguen siendo los de mayor criticidad, concluyendo para este equipo, que los efectos afectan presentados son los que presentan mayor incidencia en el correcto funcionamiento de este equipo.

Aplicando la misma metodología, se especifican el diagrama de Pareto para el cepillo regruesador:

Tabla 23.

Datos del diagrama de Pareto para el cepillo regruesador

SUBSISTEMA	N°	%	% acumulado
TRASMISIÓN	10	20%	20%
AMORTIGUACIÓN	9	17%	37%
ALIMENTACIÓN	8	14%	51%
CORTE	8	14%	65%
CONTROL NEUMÁTICO	6	12%	77%
EMBRAGUE	3	8%	85%
ESTRUCTURAL	2	7%	92%
GENERACIÓN	1	4%	96%
CONTROL ELÉCTRICO Y ELECTRÓNICO	1	4%	100%
TOTAL	48		

Nota. Se pondera el porcentaje acumulado de cada subsistema

Tabla 24.

Efectos del cepillo regruesador

Equipo	Subsistemas											
	Efecto	Corte	Alimentación	Control eléctrico y electrónico	Control neumático	Estructural	Embrague	Amortiguación	Generación	Trasmisión	N	%
CEPILO REGRUESADOR	Desajuste de piezas de sujeción					x					1	1%
	Salida de operación de la maquina	x								x	2	3%
	Calibrado erróneo de la madera	x						x		x	2	3%
	Lesiones al personal de operación	x	x			x	x	x			5	7%
	Inperfectos en la madera	x									1	1%

Tabla 24.

Continuación

Equipo	Subsistemas											
	Efecto	Corte	Alimentación	Control eléctrico y electrónico	Control neumático	Estructural	Embrague	Amortiguación	Generación	Trasmisión	N	%
CEPILLO REGRUESADOR	Puede ocasionar que las cuchillas salgan disparadas o se estrellen contra la plancha	x	x				x	x	x	x	6	8 %
	No se hace presión contra la madera						x	x			2	3 %
	No se puede rectificar la madera	x						x			2	3 %
	Ruidos extraños		x							x	2	3 %

Tabla 24.

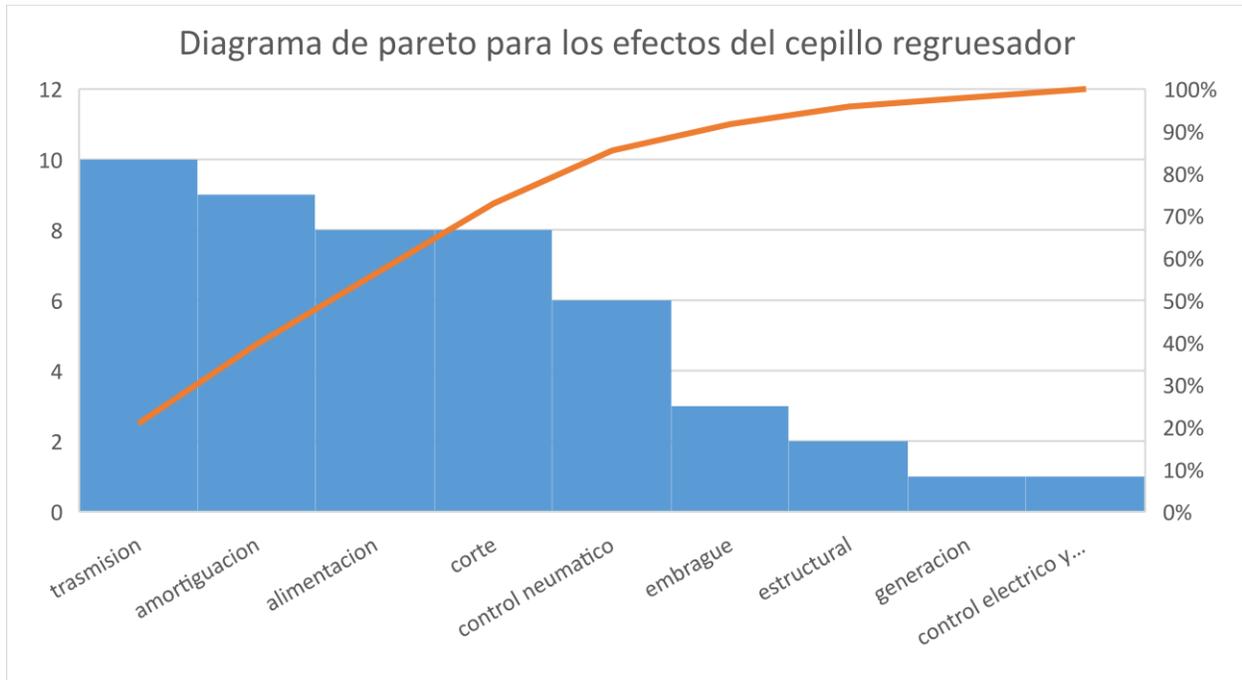
Continuación

Equipo	Subsistemas											
	Efecto	Corte	Alimentación	Control eléctrico y electrónico	Control neumático	Estructural	Embrague	Amortiguación	Generación	Trasmisión	N	%
CEPILLO REGRUESADOR	Desalineamiento del eje de rotación		x					x		x	3	4%
	Fractura del eje principal									x	1	1%
	No puede avanzar la madera	x	x					x		x	4	5%
	Puede dejar de alimentar a mitad del proceso de corte							x		x	2	3%
	Rozamiento de los ejes de transmisión		X	X	X						3	4%
	Ruidos extraños al ingresar la madera		X							X	2	3%
	Colapsa el sistema de embrague							x			1	1%
	No inicia la operación	x	x							x	3	4%

Nota. Para cada subsistema se clasifican los efectos que los afectan

Figura 11.

Diagrama de Pareto para el cepillo regruesador



Nota. Se pondera el porcentaje acumulado de cada subsistema

Para la gráfica 2, se deduce que de igual manera que la gráfica 1, se obtienen valores de criticidad operacional en los mismos subsistemas determinados anteriormente en los análisis de criticidad del capítulo. El 80% de las fallas funcionales y técnicas se encuentra distribuido entre el subsistema de transmisión, amortiguación y alimentación, los demás subsistemas representan el 20% de fallas en los demás subsistemas de este equipo.

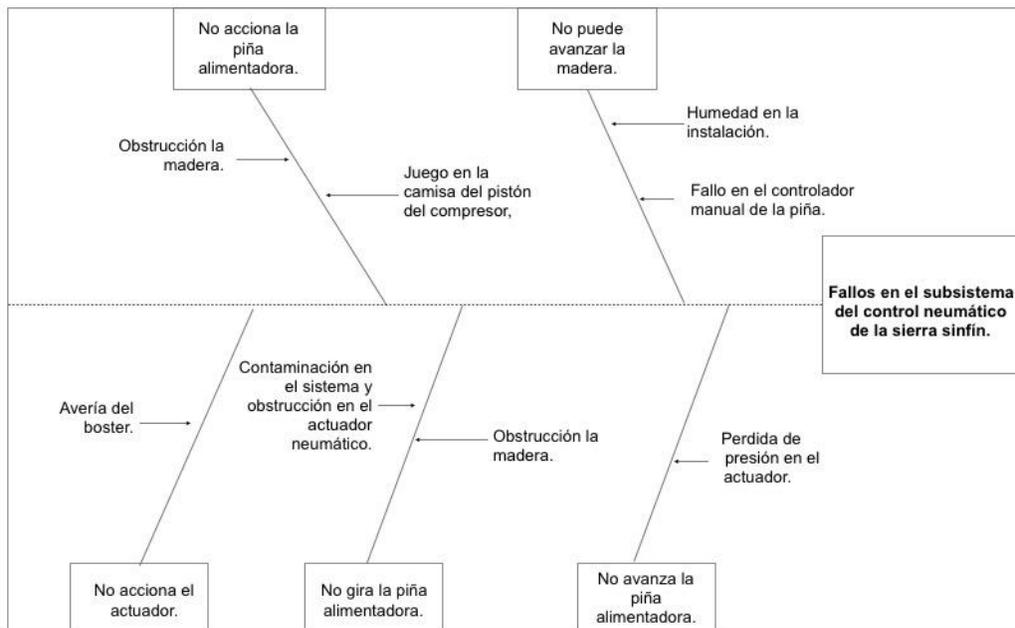
El análisis de Pareto se concentró únicamente en los equipos más críticos del proceso productivo definido en el primer capítulo de este proyecto, para los demás equipos se realiza un análisis de causas con ayuda de los diagramas de Ishikawa, con esto se evalúa de forma acertada las diferentes causas para cada equipo, sistema y subsistema.

5.3.2. Diagramas de Ishikawa

Para una correcta identificación de las causas que pueden generar los efectos descritos anteriormente, se realiza el diagrama de Ishikawa, también conocido como “espina de pescado”, donde en cada una de las ramificaciones se ubican los fallos funcionales y en cada espina las posibles causas o modos de falla.

Figura 12.

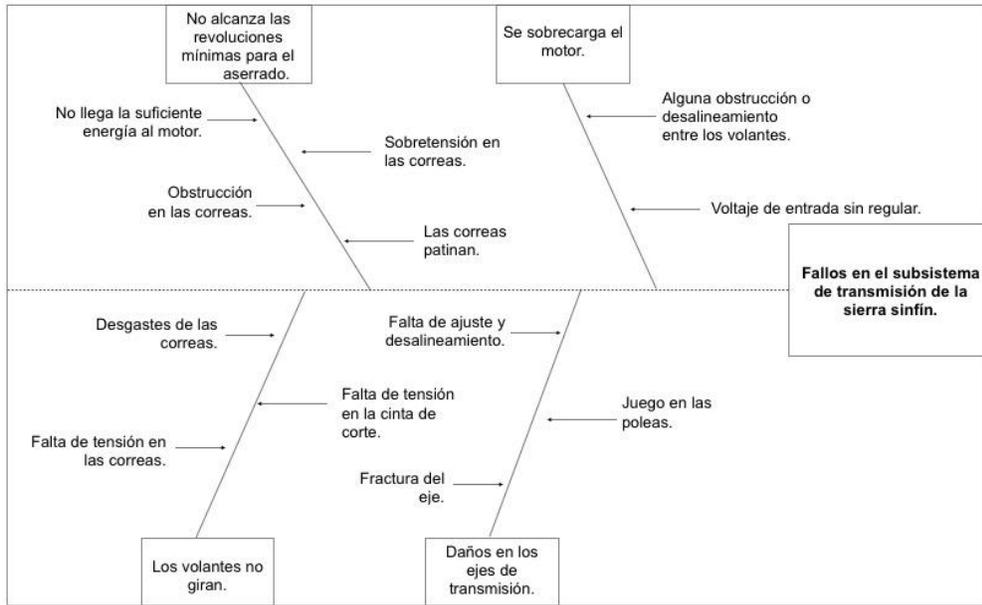
Diagrama de Ishikawa para el subsistema de control neumático de la sierra sinfín



Nota. En la figura se describe las causas para cada uno de los efectos.

Figura 13.

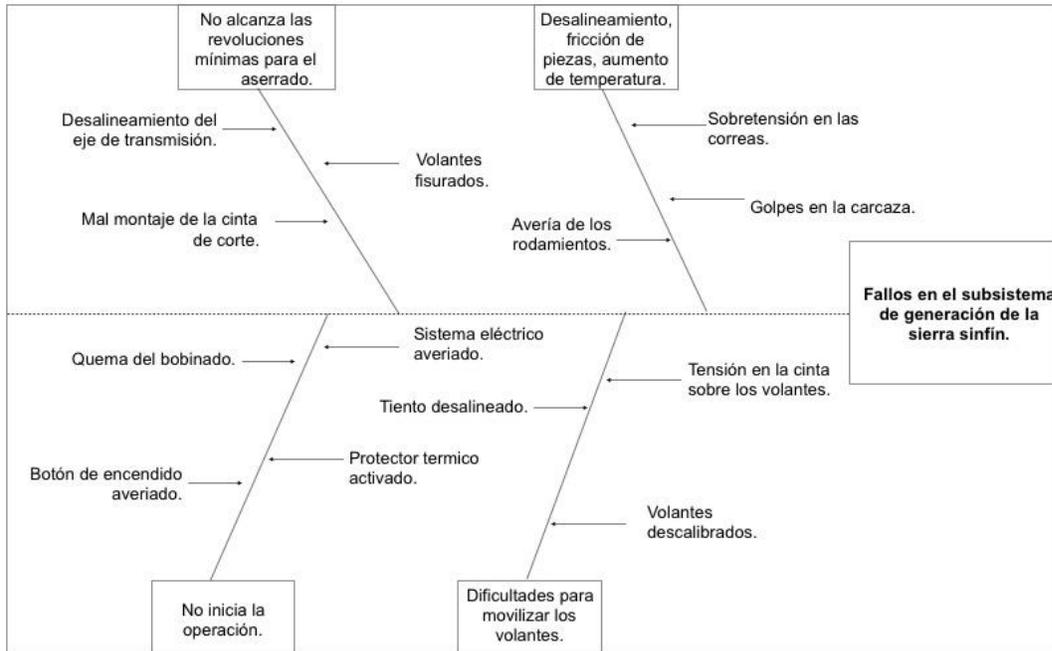
Diagrama de Ishikawa para el subsistema de transmisión de la sierra sinfín



Nota. En la figura se describe las causas para cada uno de los efectos.

Figura 14.

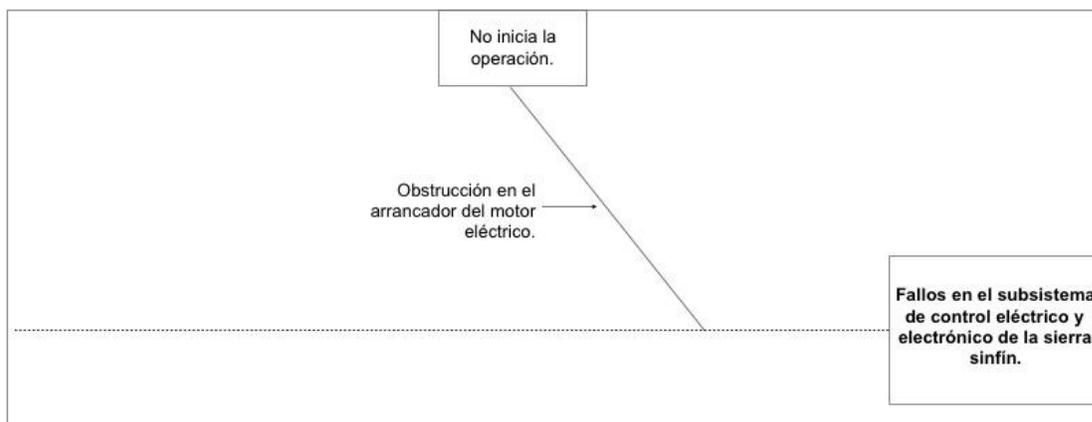
Diagrama de Ishikawa para el subsistema de generación de la sierra sinfin



Nota. En la figura se describe las causas para cada uno de los efectos.

Figura 15.

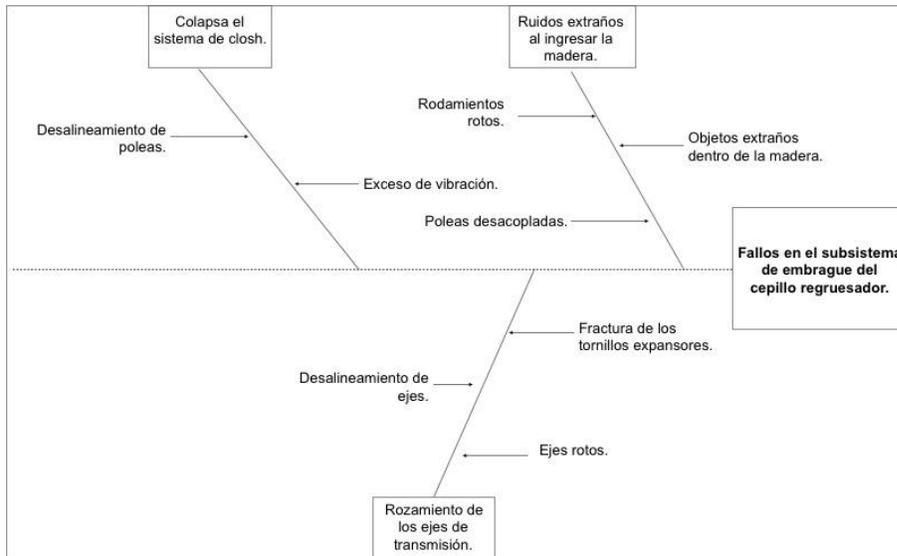
Diagrama de Ishikawa para el subsistema de control eléctrico y electrónico de la sierra sinfin



Nota. En la figura se describe las causas para cada uno de los efectos.

Figura 16.

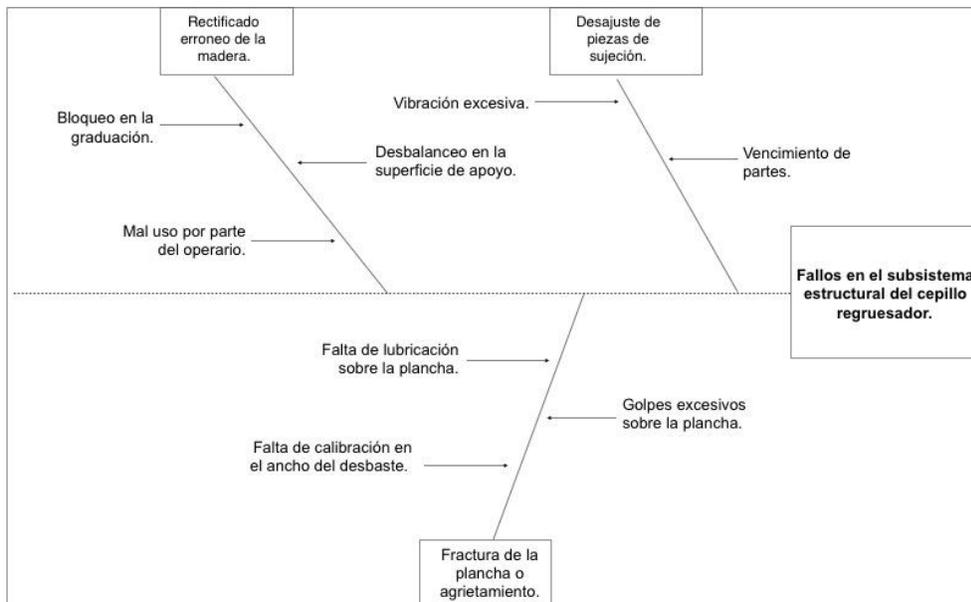
Diagrama de Ishikawa para el subsistema de embrague del cepillo regruesador



Nota. En la figura se describe las causas para cada uno de los efectos.

Figura 17.

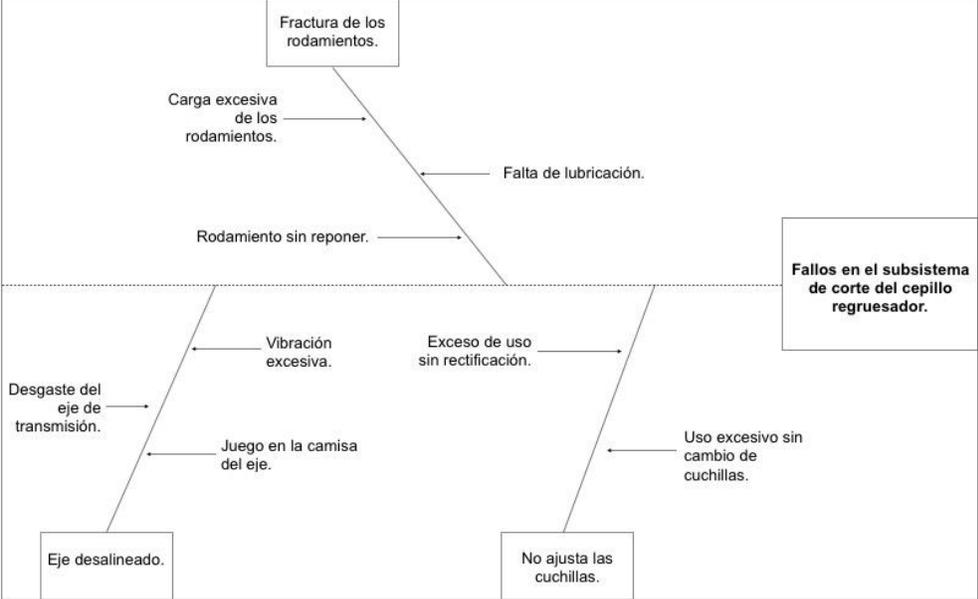
Diagrama de Ishikawa para el subsistema estructural del cepillo regruesador



Nota. En la figura se describe las causas para cada uno de los efectos.

Figura 18.

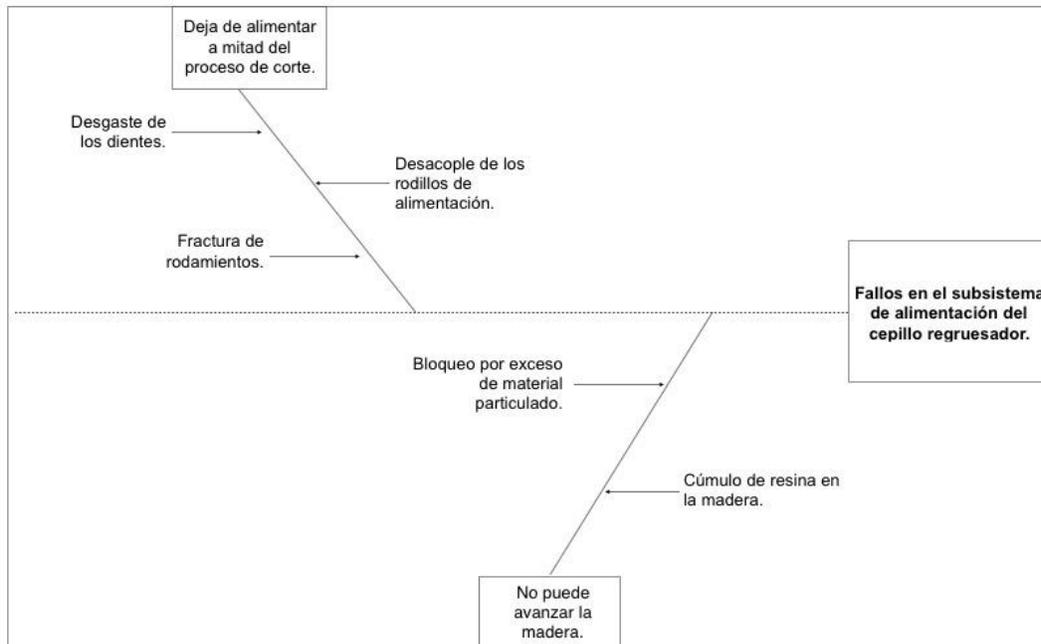
Diagrama de Ishikawa para el subsistema de corte del cepillo regruesador



Nota. En la figura se describe las causas para cada uno de los efectos.

Figura 19.

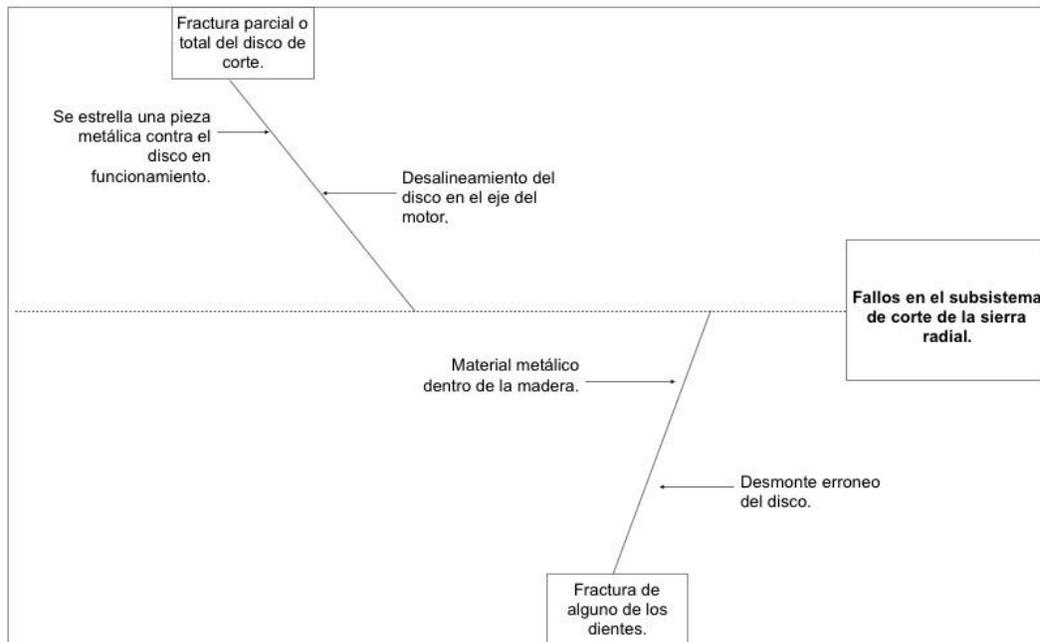
Diagrama de Ishikawa para el subsistema de alimentación del cepillo regruesador



Nota. En la figura se describe las causas para cada uno de los efectos.

Figura 20.

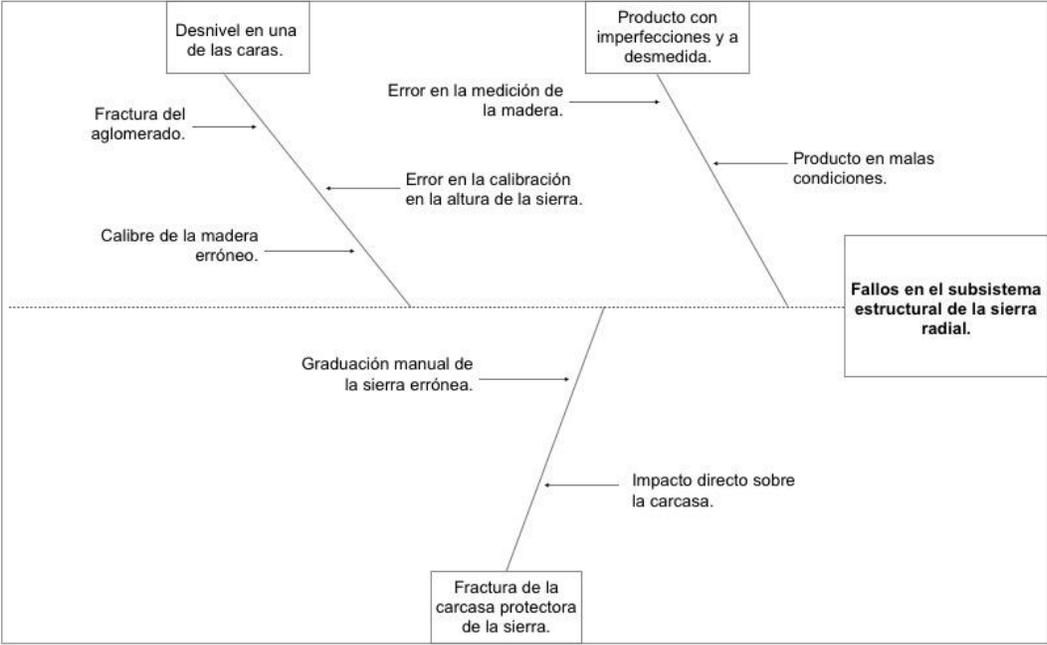
Diagrama de Ishikawa para el subistema de corte de la sierra radial.



Nota. En la figura se describe las causas para cada uno de los efectos.

Figura 21.

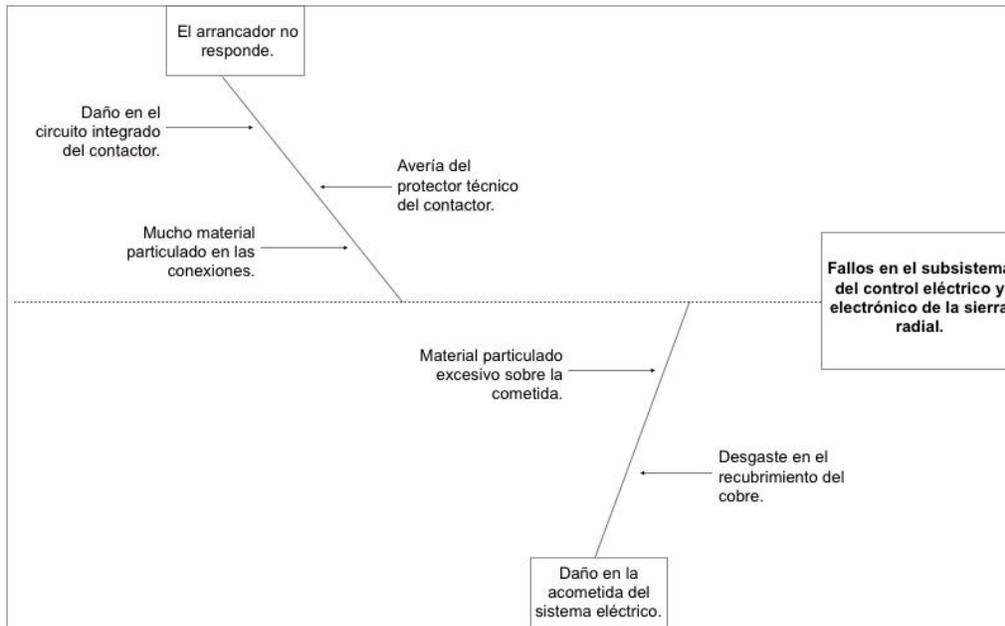
Diagrama de Ishikawa para el subsistema estructural de la sierra radial.



Nota. En la figura se describe las causas para cada uno de los efectos.

Figura 22.

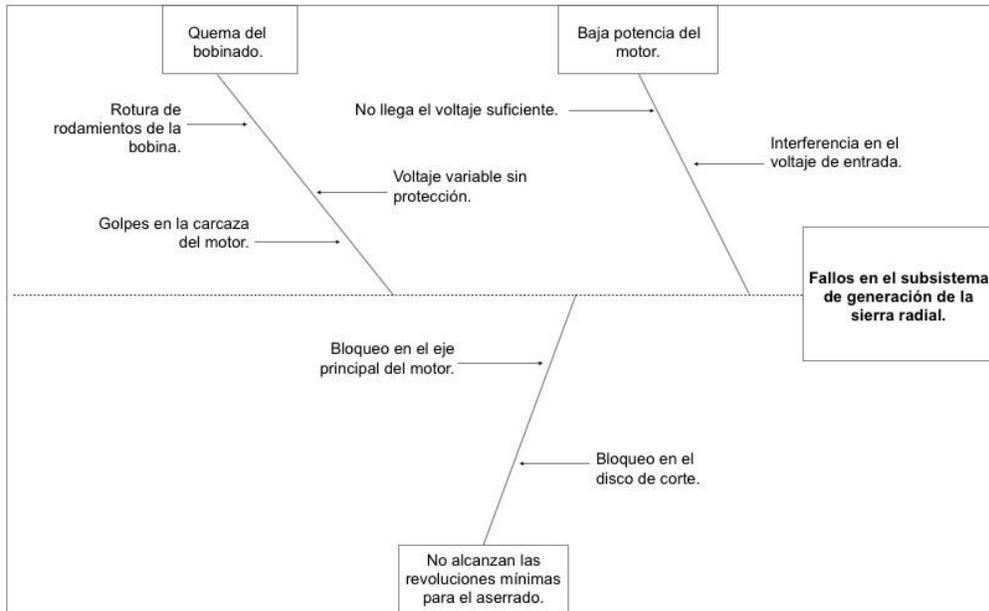
Diagrama de Ishikawa para el subsistema de control eléctrico y electrónico de la sierra radial.



Nota. En la figura se describe las causas para cada uno de los efectos.

Figura 23.

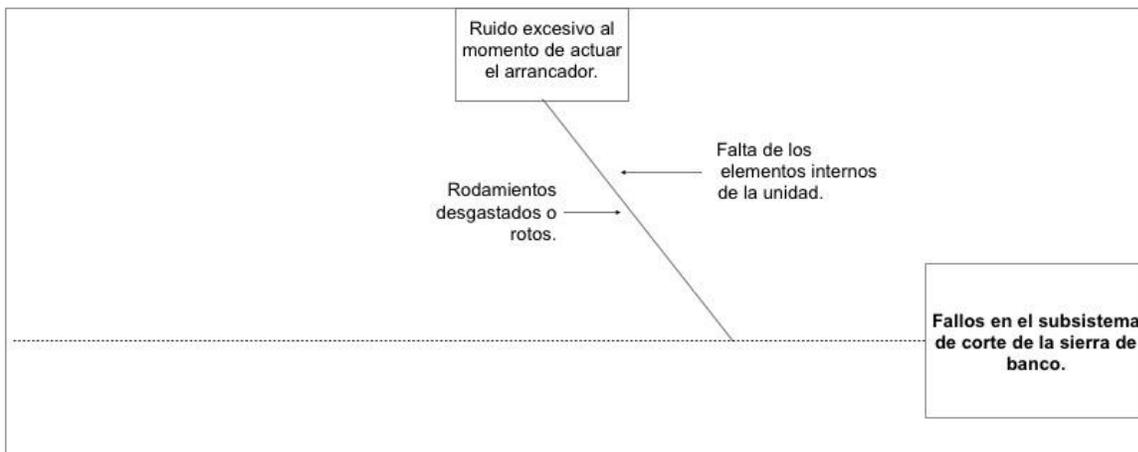
Diagrama de Ishikawa para el subsistema generación de la sierra radial.



Nota. En la figura se describe las causas para cada uno de los efectos.

Figura 24.

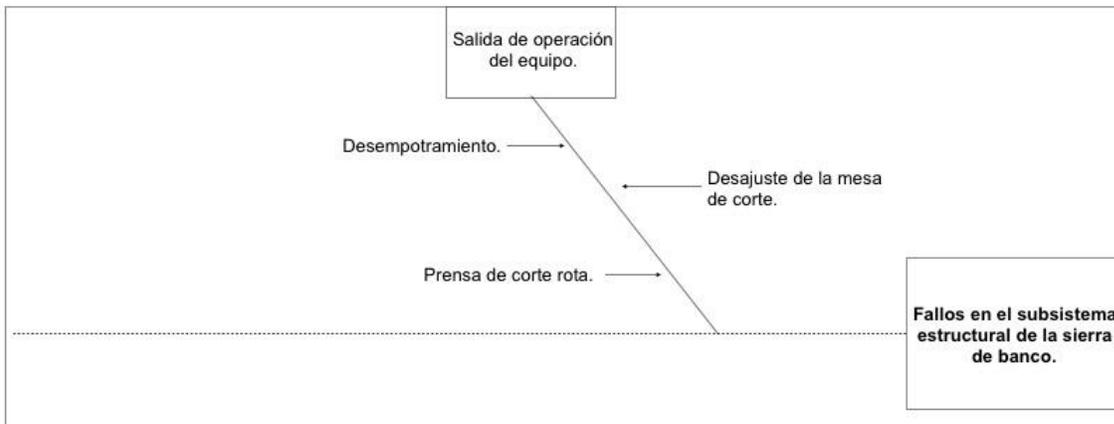
Diagrama de Ishikawa para el subsistema de corte de la sierra de banco.



Nota. En la figura se describe las causas para cada uno de los efectos.

Figura 25.

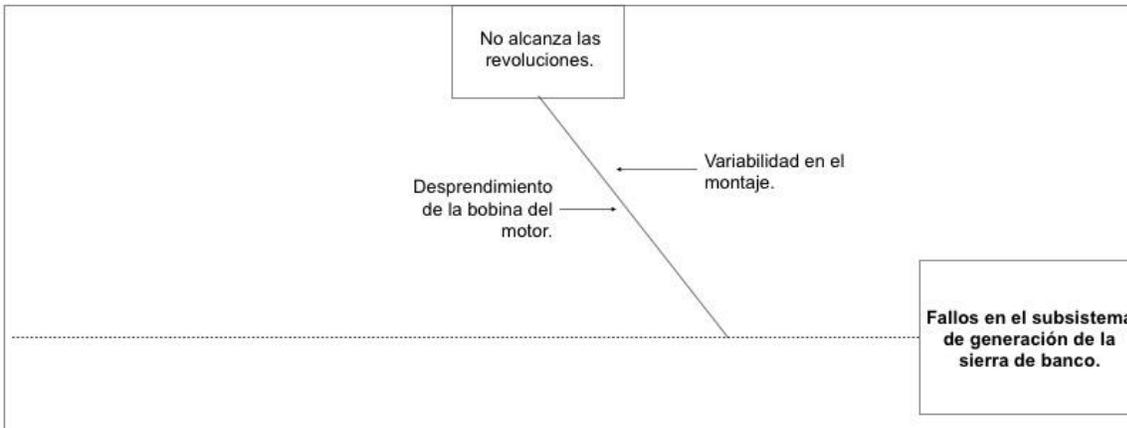
Diagrama de Ishikawa para el subsistema estructural de la sierra de banco



Nota. En la figura se describe las causas para cada uno de los efectos.

Figura 26.

Diagrama de Ishikawa para el subsistema de generación de la sierra de banco.



Nota. En la figura se describe las causas para cada uno de los efectos.

Al observar los resultados obtenidos en los diagramas de Pareto e Ishikawa, se evidencia la relevancia de los subsistemas más críticos para cada equipo y también los equipos más imprescindibles de la compañía, desde el análisis de criticidad realizado en el capítulo anterior, y evidenciado en los diagramas, se definen las posibles causas que originan los efectos, esto se tendrá en cuenta para la consolidación de las acciones pertinentes dentro del plan de mantenimiento.

5.4. Valores de severidad, ocurrencia y detección

Como se describe al inicio de este capítulo, es necesario para la implementación adecuada de la metodología AMEF un análisis de severidad y ocurrencia que responda a los diferentes modos de falla tratados anteriormente. La asignación de valores de severidad, ocurrencia y detección, permite cuantificar un valor representativo a la severidad que puede tener la falla a nivel de seguridad de los operarios y calidad del producto, también a la ocurrencia que tiene cada uno de los eventos y a la detección de estos eventos.

Para definir los parámetros de evaluación y asignación en valores de severidad, ocurrencia, detección y número prioritario de riesgo, se toman en cuenta los estudios realizados en el artículo científico “Análisis de modos de falla, efectos y criticidad (AMFEC) para la planeación del mantenimiento empleando criterios de riesgo y confiabilidad” [4]

5.4.1. Severidad

Los criterios que se deben tomar en cuenta para la asignación de valores en el caso puntual de este proyecto, a continuación, vemos la clasificación de severidad y el valor asignado dependiendo del grado de severidad encontrado en las fallas descritas [9]

Tabla 25.

Valores de severidad

NIVEL	EFEECTO	SEVERIDAD DEL DAÑO
10	Peligroso (Sin aviso)	Puede poner en peligro al operador, afecta la seguridad de la operación y/o involucra NO conformidades, la falla se presenta SIN AVISO.
9	Peligroso (Con aviso)	Puede poner en peligro al operador, afecta la seguridad de la operación y/o involucra NO conformidades, la falla se presenta CON AVISO
8	Muy alta	Interrupción total, productos o servicios NO conformes, inoperables, clientes muy molestos e insatisfechos.
7	Alto	Interrupción menor, buena parte de los productos y servicios no conformes, clientes inconformes
6	Moderado	Interrupción menor, algunos productos o servicios defectuosos, algunos clientes con insatisfacciones.
5	Bajo muy bajo	Interrupción menor, algunos productos o servicios con imperfecciones, algunos clientes inconformes.
4	Pequeño	Interrupción menor, devoluciones de productos y servicios defectos percibidos por clientes.
3	Muy pequeño	Interrupción menor, productos y servicios reprocesados, defectos de baja incidencia.
2	Ninguno	Interrupción mínima, defectos de producto o servicio imperceptibles, detectado exclusivamente por expertos
1	Ninguno	Productos y servicios conformes, clientes satisfechos.

Nota. En la tabla se clasifican los valores de severidad del daño. Tomado de: Análisis de modos de falla, efectos y criticidad (AMFEC) para la planeación del mantenimiento empleando criterios de riesgo y confiabilidad , Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/482/48215094003.pdf>

5.4.2. Ocurrencia

Para clasificar que tan ocurrencia es una falla es necesario establecer unos valores cualitativos de ocurrencia de la falla en específico, además de un rango donde la falla puede actuar y un concepto que describa los dos parámetros anteriores, de esta forma se puede obtener un valor que represente la probabilidad de que se presente una falla en un elemento, sistema o proceso determinado [9]. En la siguiente tabla se presenta los conceptos y valores establecidos por la metodología AMEF para la clasificación de la ocurrencia.

Tabla 26.

Valores de ocurrencia

NIVEL	VALOR CUALITATIVO DE OCURRENCIA DE LA FALLA	RATA DE OPORTUNIDADES DE FALLA	CONCEPTO
10	Extremadamente alta	1 en 2	Certeza casi absoluta de falla
9	Muy alta	1 en 3	Falla casi inevitable
8	Alta	1 en 8	Asociada con procesos similares
7	Recurrente	1 en 20	Sucesos de fallas frecuentes
6	moderado	1 en 80	Asociada con procesos previos
5	Ocasional	1 en 400	Es típico presentar fallas
4	Esporádica	1 en 2,000	De cuando en vez hay fallas
3	Baja	1 en 15,000	Hay fallas excepcionales
2	Muy baja	1 en 150,000	Fallas muy aisladas e imperceptibles
1	Remota	1 en 1'500,000	Es imposible que haya falla

Nota. En la tabla se clasifican los valores de ocurrencia. Tomado de: Análisis de modos de falla, efectos y criticidad (AMFEC) para la planeación del mantenimiento empleando criterios de riesgo y confiabilidad, Disponible en:

<https://www.redalyc.org/pdf/482/48215094003.pdf>

5.4.3. Detección

La detección es el indicador que permite obtener una probabilidad de que la falla o evento sea detectado antes de que se genere una avería que pueda afectar en menor o mayor medida la operación de la compañía, para esto, la mitología AMEF nos sugiere la asignación de valores que representan una capacidad de detección desde lo “improbable” con un una probabilidad de menos del 40% en la detección de las fallas hasta un escenario ideal de “casi seguro” donde se detecta hasta el 60% de las fallas, esto se ve consignado en la siguiente tabla [9].

Tabla 27.

Valores de detección

NIVEL	CAPACIDAD DE DETECCION	SENSIBILIDAD EN LOS CONTROLES PARA LA DETECCION DE FALLAS O DESVIACIONES
10	Improbable	Controles detectan menos del 40% de las fallas
9	Muy remota	Controles detectan el 40% de las fallas
8	Remota	Controles detectan el 50% de las fallas
7	Muy baja	Controles detectan el 60% de las fallas
6	Baja	Controles detectan el 70% de las fallas
5	Moderada	Controles detectan el 80% de las fallas
4	Moderada alta	Controles detectan el 85% de las fallas
3	Alta	Controles detectan el 90% de las fallas
2	Muy alta	Controles detectan el 95% de las fallas
1	Casiseguro	Controles detectan el 99,5% de las fallas

Nota. En la tabla se clasifican los valores de severidad del daño. Tomado de: Análisis de modos de falla, efectos y criticidad (AMFEC) para la planeación del mantenimiento empleando criterios de riesgo y confiabilidad , Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/482/48215094003.pdf>

5.5. Numero prioritario de riesgo (NPR)

El número prioritario de riesgo o NPR, es un indicador resultante del producto directo de los valores de severidad, ocurrencia y detención asignados a las fallas determinadas en el modo y efecto de falla de cada sistema y subsistema [10]. Este valor es útil para identificar los riesgos más representativos dentro de la empresa y determinar unas acciones correctivas que mitiguen esos riesgos.

$$NPR = S * O * D$$

Los valores de NPR se clasifican desde su atributo de prioridad y se definen desde el valor resultante del producto de los parámetros definidos anteriormente, teniendo esto en cuenta la metodología AMEF nos brinda esta organización:

Tabla 28.

Valores del numero prioritario de riesgo

ATRIBUTO DE PRIORIDAD	NIVEL NPR	CODIGO DE CALOR
Riesgo de falla ALTO	500 - 1000	
Riesgo de falla MEDIO	125 - 499	
Riesgo de falla BAJO	1 - 124	
NO existe riesgo de falla	0	

Nota. En la tabla se clasifican los valores de NPR. Tomado de: Análisis de modos de falla, efectos y criticidad (AMFEC) para la planeación del mantenimiento empleando criterios de riesgo y confiabilidad , Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/482/48215094003.pdf>

5.6. Asignación de valores de severidad, ocurrencia, detección y NPR

Para un correcto análisis e interpretación del número prioritario de riesgo (NPR) se debe tener en cuenta que los valores obtenidos ayudan a identificar cuáles son las causas más críticas dentro de los subsistemas de cada uno de los equipos; con ayuda de los diagramas de Pareto e Ishikawa se determinan las causas ligadas a cada efecto de falla, estas causas serán evaluadas de tal modo que se defina cuáles son las que más repercusión tienen al presentarse, en el correcto funcionamiento del equipo, de este modo se asignarán valores de severidad, ocurrencia, y detección, teniendo en cuenta las tablas expuestas anteriormente.

Tomando como referente el efecto de falla para cada uno de los equipos enunciados en la tabla 16. Se procede a calcular el NPR para cada una de las causas de cada equipo:

Tabla 29.

Obtención del número prioritario de riesgo para las causas de la sierra sinfín.

Equipo	Subsistema	Efecto	Causas	S	O	D	NPR
SIERRA SINFÍN	Generación (motor trifasico asincrónico)	No inicia la operación	Quema del bobinado	9	4	8	288
			Botón de encendido averiado	8	5	5	200
			Sistema eléctrico averiado	7	3	6	126
			Protector térmico activado	5	3	5	75
		No alcanza las revoluciones mínimas para el aserrado	Desalineamiento del eje de transmisión	6	3	4	72
			Mal montaje de la cinta de corte	7	5	5	175
			Volantes fisurados	5	4	6	120
		Dificultades para movilizar los volantes	Tensión de la cinta sobre los volantes	6	4	7	168
			Volantes des calibrados	8	5	6	240
			Tiento desalineado	7	5	5	175
		Des alineamiento, fricción de piezas, aumento de temperatura	Avería de los rodamientos	5	6	4	120
			Secuencia de inicio desfasada	6	4	5	120
			Sobre tención en las correas	7	5	7	245
			Golpes en la carcasa del motor	5	6	8	240

Tabla 29.

Continuación

Equipo	Subsistema	Efecto	Causas	S	O	D	NPR
SIERRA SINFIN	Sistema de transmisión (poleas de transmisión y correas)	No alcanza las revoluciones mínimas para el aserrado	No llega la suficiente energía al motor	7	7	9	441
			Obstrucción en las correas	8	4	8	256
			Sobre tensión en las correas	8	6	5	240
			Las correas se deslizan	7	5	5	175
		Se sobrecarga el motor	Alguna obstrucción o desalineamiento entre los volantes	6	7	5	210
			Voltaje de entrada sin regular	7	6	6	252
		Los volantes no giran	Desgaste de las correas	8	5	7	280
			Falta de tensión en las correas	5	6	8	240
			Falta de tensión en la cinta de corte	7	7	7	343
		Daños en los ejes de transmisión	Falta de ajustes y desalineamiento por vibración	7	6	6	252
			Fractura del eje	8	7	5	280
			Juego en las poleas	5	5	6	150

Tabla 29.

Continuación

Equipo	Subsistema	Efecto	Causas	S	O	D	NPR
SIERRA SINFÍN	Corte (cinta sinfín)	Daño de la madera	Exceso de uso sin rectificación de la cinta de corte	9	6	8	432
	Alimentación (piña alimentadora)	No puede avanzar la madera	Fugas de presión	7	6	5	210
		Puede dejar de alimentar a mitad del proceso de corte	Velocidad de rotación excesiva	8	5	6	240
			Velocidad de rotación muy baja	7	6	5	210

Tabla 29.

Continuación

Equipo	Subsistema	Efecto	Causas	S	O	D	NPR
SIERRA SINFÍN	Control Neumático (compresor, actuador de la piña y pedal de control)	No acciona la piña alimentadora	Obstrucción en la manguera	5	6	6	180
			Juego en la camisa del pistón del compresor	6	4	4	96
		No puede avanzar la madera	Humedad en la instalación	6	3	5	90
			Fallo en el controlador manual de la piña	7	4	6	168
		No gira la piña alimentadora	Contaminación del sistema	8	5	7	280
			Obstrucción actuador neumático	7	6	6	252
		No se acciona el actuador	Avería del boster	6	7	5	210
		No avanza la piña alimentadora	Pérdida de presión en el actuador	8	6	4	192
	Control eléctrico y electrónico	No inicia la operación	Obstrucción en el arrancador del motor eléctrico	6	5	4	120

Nota. Se calcula el NPR por cada uno de los efectos y causas que actúan dentro de los subsistemas.

Tabla 30.

Obtención del número prioritario de riesgo para el cepillo regruesador

Equipo	subsistema	Efecto	Causas	S	O	D	NPR
CEPILLO REGRUESADOR	Estructural	Fractura de la plancha o agrietamiento	Falta de lubricación sobre la plancha	5	4	7	140
			Golpes excesivos sobre la plancha	6	5	6	180
			Falta de calibración en el ancho del desbaste	8	7	6	336
	Corte (rodillos y cuchillas)	Fractura de los rodamiento del eje principal	Carga excesiva de los rodamientos	4	2	4	32
			Rodamientos sin reponer	5	4	6	120
			Falta de lubricación	8	6	5	240
		No ajusta las cuchillas	Uso excesivo sin cambio de cuchillas	10	6	8	480
			Exceso de uso sin rectificación de cuchillas	7	6	7	294
		Eje principal desalineado	Desgaste del eje de transmisión	8	5	4	160
			Vibración excesiva	7	7	6	294
			Juego en la camisa del eje	4	5	6	120

Tabla 30.

Continuación

Equipo	subsistema	Efecto	Causas	S	O	D	NPR
CEPILLO REGRUESADOR	Alimentación (rodillos alimentadores)	Deja de alimentar a mitad del proceso del proceso de corte	Desgaste de los dientes	7	5	6	210
			Desacople de los rodillos de alimentación	4	3	5	60
			Fractura de rodamientos	7	6	4	168
		No puede avanzar la madera	Bloqueo por exceso de material particulado	6	5	7	210
			Cúmulo de resina en la madera	8	6	4	192

Tabla 30.

Continuación

Equipo	subsistema	Efecto	Causas	S	O	D	NPR
CEPILLO REGRUESADOR	Embrague	Rozamiento de los ejes de trasmisión	Ejes rotos	5	5	4	100
			Desalineamiento de ejes	6	5	6	180
			Fractura de los tornillos expansiones	7	7	6	294
		Ruidos extraños al ingresar la madera	Objetos extraños dentro de la madera	3	4	6	72
			Rodamientos rotos	5	6	7	210
			Poleas desacopladas	7	8	5	280
		Colapsa el sistema de embrague	Desalineamiento de poleas	7	3	5	105
			Exceso de vibración	8	8	7	448

Nota. Se calcula el NPR por cada uno de los efectos y causas que actúan dentro de los subsistemas.

Tabla 31.

Obtencion del numero prioritario de riesgo para la sierra radial

Equipo	subsistema	Efecto	Causas	S	O	D	NPR
SIERRA RADIAL	Corte (disco)	Fractura de alguno de los dientes	Desmante erróneo del disco de corte	8	3	5	120
			Material metálico dentro de la madera	10	6	7	420
		Fractura total o parcial del disco de corte	Se estrella una pieza metálica contra el disco en funcionamiento	10	3	3	90
			Desalineamiento del disco en el eje del motor	6	5	4	120
	Generación (Motor de alta)	No alcanza las revoluciones mínimas para el aserrado	Bloqueo en el eje principal del motor	6	5	3	90
			Bloqueo en el disco de corte	5	6	7	210
		Baja potencia del motor	No llega el voltaje suficiente	8	4	4	128
			Interferencia en el voltaje de entrada	4	3	2	24
		Quema del bobinado	Rotura de rodamientos de la bobina	6	6	7	252
			Golpes en la carcasa del motor	8	7	8	448
			Voltaje variable sin protección	4	5	6	120

Tabla 31.

Continuación

Equipo	subsistema	Efecto	Causas	S	O	D	NPR
SIERRA RADIAL	Control eléctrico y electrónico	El arrancador no responde	Daño en el circuito integrado del contactor	6	3	4	72
			Mucho material particulado en las conexiones	6	4	3	72
			Avería del protector térmico del contactor	6	5	3	90
		Daños en la acometida del Sistema eléctrico	Desgaste en el recubrimiento del cobre	3	4	5	60
			Material particulado excesivo sobre la acometida	9	3	5	135
			Producto con imperfecciones y a desmedida	6	5	6	180
	Estructural	Producto con imperfecciones y a desmedida	Producto en malas condiciones	4	3	2	24
			Fractura del aglomerado	5	6	4	120
		Desnivel en una de las caras	Error en la calibración de la altura de la sierra	7	4	3	84
			Fractura de la carcasa protectora	3	5	5	75
		Fractura de la carcasa protectora	Impacto directo sobre la carcasa	7	5	6	210

Nota. Se calcula el NPR por cada uno de los efectos y causas que actúan dentro de los subsistemas.

Tabla 32.

Obtención del número prioritario de riesgo para la sierra de banco

Equipo	subsistema	Efecto	Causas	S	O	D	NPR
SIERRA DE BANCO	Corte (disco)	Ruido excesivo al momento de activar el arrancador	Desajuste de los elemento internos de la unidad	9	3	4	108
			rodamientos desgastados o rotos	7	4	5	140
	Generación	No alcanza las revoluciones minimas para el acerrado	Desprendimineto de la bobina del motor	8	5	6	240
			Se quema el motor	6	4	5	120
	Estructural	Salida de operación del equipo	Desempotramiento	9	5	4	180
			Desajuste de la mesa de corte	8	5	5	200
			Prensa de corte rota	9	6	6	324

Nota. Se calcula el NPR por cada uno de los efectos y causas que actuan dentro de los subsistemas.

Tabla 33.

Obtención del número prioritario de riesgo para la planeadora de rodillo

Equipo	subsistema	Efecto	Causas	S	O	D	NPR
PLANEADORA DE RODILLO	Corte (rodillo de cuchillas)	No rectifica la madera	Cuchillas desgastadas	7	5	6	210
		Rodamientos fracturados	Fuerza sobre los rodamientos excesiva	9	4	7	252
		Dificultad para el avance de la madera sobre el rodillo	Falta de lubricación	7	5	6	210
		Desajuste de las cuñas	Vibración excesiva	6	5	4	120
	Estructural	La altura de la plancha de entrada y de salida no es la misma	Desgaste en el estriado de los tenedores	6	6	6	216
		Se desbasta más madera de la deseada	Calibración errónea en los rodillos	5	5	7	175
		Salida de operación del equipo	Fractura de la plancha de entrada	9	4	6	216
			Quema del motor eléctrico de alta	8	4	7	224
	Embrague	Daños en los ejes de transmisión	Ingresa madera con mucha fuerza	9	4	6	216
			Fuerza excesiva a la entrada de la plancha	8	5	5	200
		Vibración y ruido excesivo	Falta de ajuste en los elementos de unión	6	5	6	180

Nota. Se calcula el NPR por cada uno de los efectos y causas que actúan dentro de los subsistemas.

Luego de haber determinado las causas con ayuda del diagrama de Pareto e Ishikawa y el valor del NPR, se definen las estrategias que logren mitigar o eliminar todos los posibles efectos de falla y estimar los beneficios que estas estrategias aporten a todas las áreas de la empresa y en específico al proceso productivo de esta.

5.7. Acciones correctivas

La toma de acciones correctivas fundamenta su análisis por medio de dos aspectos, el tiempo y el estado del elemento, esto quiere decir, que se pueden programar tareas de prevención en una maquina basándose en el tiempo en que esta ha estado en servicio, debido a que este es el tiempo donde la pieza y sistemas han estado en funcionamiento y es en este momento que se presentan desgastes y averías.

El mantenimiento preventivo por condición programa tareas de prevención basándose en el estado actual de los elementos, debido a que algunas piezas no tienden a poseer desgastes notorios, de esta forma se establecen una serie de parámetros que permiten tomar la decisión de reemplazo del elemento ya sea por deformaciones, por reducción de alguna de sus medidas, por rotura o alguna otra señal de falla que no esté relacionada con el tiempo en uso de la misma.

En este orden de ideas, las acciones preventivas tienen como finalidad evitar fallas potenciales que afecten el funcionamiento correcto del equipo de corte y rectificado, se debe tener en cuenta que al ser máquinas de corte que trabajan a revoluciones altas se debe garantizar seguridad tanto para el operario como para la empresa.

Para que las acciones recomendadas tengan validez, se debe hacer un contraste entre el NPR definido para las causas de cada equipo, y un nuevo NPR calculado después de la posible implementación de dichas acciones. Si la acción correctiva a implementar no representa una mejoría frente al efecto de falla o funcionamiento del equipo, este arrojará un NPR con riesgo de falla medio o alto, en este caso, se debe verificar dicha acción y garantizar que el valor de NPR sea bajo o inexistente.

5.7.1. Toma de acciones recomendadas

Para reducir o eliminar el riesgo de modo y efecto de falla, se establece el plan de manejo para mitigar el riesgo, y una vez implementadas las posibles acciones recomendadas, se calcula nuevamente el NPR para determinar el nivel de mejora logrado, y analizar si aún el riesgo está por sobre los umbrales máximos o mínimos tolerables de conformidad, o de lo contrario, entrarían nuevamente a un proceso de evaluación.

Una vez que las causas de fallo se han ordenado en valor por medio de la obtención del NPR las acciones recomendadas deben responder a las causas que hayan arrojado el valor más alto de NPR por cada subsistema.

Para darle una nueva valoración a cada una de las causas más críticas, se tuvo en cuenta desde el proceso calificativo la disminución de la gravedad la cual actúa sobre el diseño del proceso, la frecuencia la cual actúa sobre las causas, las cuales son, la materia prima, la mano de obra, la maquinaria, los métodos y el mantenimiento. Por último, la detección se evalúa desde los controles que esa acción recomendada brinda.

Teniendo en cuenta lo anterior se tiene que:

Tabla 34.

Acciones recomendadas y cálculo del nuevo NPR para la sierra sinfín

subsistema	Causas	NPR	Acciones recomendadas	S	O	D	NPR
Generación	Quema del bobinado	288	Verificación del cableado y voltaje entregado	5	4	6	120
	Mal montaje de la cinta de corte	175	Verificación del nivel de tensionado aplicado antes del encendido	6	5	3	90
	Volantes descalabrados	240	Sin encender la máquina, hacer rotal los volantes manualmente	6	6	5	180
	Sobretensión en las correas	245	Comprobación en bajas revoluciones de ruidos extraños	6	4	3	72
Trasmisión	No llega la suficiente energía al motor	441	Cerciorarse de que el voltaje es el correcto	5	5	4	100
	Voltaje de entrada sin regular	252	Verificar el estado de las instalaciones eléctricas	5	6	3	90
	Falta de atención en la cinta de corte	343	Comprobar su tención manualmente	6	7	5	210
	Fractura del eje	280	Comprobar si el montaje está firme	7	6	4	168
Corte	Exceso de uso sin rectificación de la cinta de corte	432	Desmontar la cinta y revisar grosor y dureza	6	5	3	90
Alimentación	Velocidad de rotación excesiva	240	Mantener una velocidad adecuada dependiendo del tipo de madera	5	5	5	125
Control neumático	Obstrucción en la manguera	180	Verificación de las líneas neumáticas instaladas	5	4	6	120
	Fallo en el controlador manual de la piña	168	Verificación de las líneas neumáticas instaladas	7	4	5	140
	Contaminación del sistema	280	Purgar el sistema de compresión	6	5	5	150
	Avería del boster	210	Cambio de la válvula boster	5	4	6	120
	Perdida de presión en el actuador	192	Revisión de la presión de las mangueras	6	6	3	108
Control eléctrico y electrónico	Obstrucción en el arrancador del motor eléctrico	120	Cambio de arrancador esporádico	5	4	5	100

Nota. Se calcula un Nuevo NPR teniendo en cuenta la toma de acciones recomendadas.

Tabla 35.*Acciones recomendadas y calculo del nuevo NPR para el cepillo regruesador*

Subsistema	Causas	NPR	Acciones recomendadas	S	O	D	NPR
Estructural	Falta de calibración en el ancho del desbaste	336	Verificar si el material posee el grosor máximo permitido antes de hacer el tratamiento de desbaste	7	5	6	210
Corte	Falta de lubricación	240	Revisar los niveles de ACPM sobre la plancha principal	5	4	5	100
	Uso excesivo sin cambio de cuchillas	480	Realizar un cambio periódico de las cuchillas según lo especifica el fabricante	4	5	6	120
	vibración excesiva	294	Realizar ajustes periódicos después cumplidas las horas de operación diarias	6	6	5	180
Alimentación	Bloqueo por exceso de material particulado	210	Limpiar la salida de viruta luego de acerrar un planchón	5	5	5	125
	Desgaste de los dientes	210	Según el fabricante, realizar una rectificación periódica del estriado del eje impulsor	5	4	4	80
Embrague	Fractura de los tornillos expansores	294	No exceder la tención optima al momento de calibrar los tornillos expansares	6	3	5	90
	Poleas desacopladas	280	Verificar que no tenga juego el eje principal y la polea de trasmisión	4	6	6	144
	Exceso de vibración	448	Posicionar sobre una superficie adecuada el equipo	5	7	7	245

Nota. Se calcula un Nuevo NPR teniendo en cuenta la toma de acciones recomendadas.

Tabla 36.

Acciones recomendadas y cálculo del nuevo NPR para la sierra radial

subsistema	Causas	NPR	Acciones recomendadas	S	O	D	NPR
Corte	Material metálico dentro de la madera	336	Inspeccionar la madera antes de rectificar	6	3	5	90
	Des alineamiento del disco en el eje del motor	120	Verificar los acoples antes del encendido	5	4	4	80
Generación	Bloqueo en el disco de corte	210	Verificar que el disco de corte se encuentre libre de residuos	6	3	3	54
	No llega el voltaje suficiente	128	Rectificar el voltaje de salida de la acometida	4	5	4	80
	Golpes en la carcasa del motor	448	Ingresar la madera de forma adecuada al equipo	5	6	7	210
Control eléctrico y electrónico	Avería del protector térmico del contacto	90	Verificar antes de encender el equipo el voltaje entregado	4	3	5	60
	Material particulado excesivo sobre la acometida	135	Limpiar la zona de conexiones eléctricas	6	4	4	96
Estructural	Error en la medición de la madera	180	Rectificar las medidas entregadas al operario	4	3	6	72
	Fractura del aglomerado	120	No dejar caer planchones de gran espesor a la plancha aglomerada	6	4	5	120
	Impacto directo sobre la carcasa	210	Antes de encender, ubicar la madera de forma correcta	5	5	7	175

Nota. Se calcula un Nuevo NPR teniendo en cuenta la toma de acciones recomendadas.

Tabla 37.

Acciones recomendadas y calculo del nuevo NPR para la planeadora de rodillo

subsistema	Causas	NPR	Acciones recomendadas	S	O	D	NPR
Corte	Cuchillas desgastadas	210	Cambio de cuchillas periódicamente según el fabricante	6	5	3	90
	Fuerza sobre los rodamientos excesiva	252	No sobrecargar los rodillos porta cuchillas	7	4	4	112
	Falta de lubricación	210	Lubricar periódicamente según el fabricante	5	3	5	75
	Vibración excesiva	120	Ajustar los elementos de unión periódicamente	4	4	6	96
Estructural	Desgaste en el estriado de los tenedores	216	Enviar a rectificar los tenedores periódicamente	6	3	3	54
	Calibración errónea en los rodillos	175	Ajustar los rodillos al ancho de desbaste requerido antes de iniciar la operación del equipo	5	4	4	80
	Quema del motor eléctrico de alta	224	Limpiar la zona del motor y su carcasa, verificar el voltaje de entrada y posibles bloqueos del eje de transmisión	4	5	5	100
Embrague	Ingreso madera con mucha fuerza	216	Ubicar de manera adecuada la madera	6	4	4	96
	Falta de ajuste en los elementos de unión	218	Ajustar periódicamente lo elementos según el fabricante	7	3	4	84

Nota. Se calcula un Nuevo NPR teniendo en cuenta la toma de acciones recomendadas.

Tabla 38.*Acciones recomendadas y cálculo del nuevo NPR para la sierra de banco*

Subsistema	Causas	NPR	Acciones recomendadas	S	O	D	NPR
Corte	Rodamientos desgastados o rotos	140	Cambio de rodamientos periodicos según fabricante	5	5	4	100
Generación	Desprendimiento de la bobina del motor	240	Limpiar la zona del motor y su carcasa, verificar el voltaje de entrada y posibles bloqueos del eje de transmisión	6	6	5	180
	Variabilidad en el voltaje	120	Verificar el voltaje entregado antes de iniciar la operación	7	5	2	70
Estructural	Desempotramiento	180	No balancear ni aplicar fuerza axial sobre el equipo	5	4	5	100
	Desajuste de la mesa de corte	200	Antes del encendido, verificar que la mesa este firme y rectificada por ambos lados	7	4	3	84
	Prensa de corte rota	324	Antes del encendido verificar la capacidad máxima de fuerza que soporta la prensa de corte y no exceder su valor en el momento de realizar el tratamiento a la madera	6	4	4	96

Nota. Se calcula un Nuevo NPR teniendo en cuenta la toma de acciones recomendadas.

Para darle esta nueva valoración a cada una de las causas más críticas, se tiene en cuenta dentro del proceso evaluativo la disminución de la gravedad la cual actúa sobre el diseño del proceso, la frecuencia la cual actúa sobre las causas, las cuales son, la materia prima, la mano de obra, la maquinaria, los métodos y el mantenimiento. Por último, la detección se evalúa desde los controles que esa acción recomendada brinda.

5.8. Control y análisis de mejora

Se deben efectuar controles que proporcionen a la empresa un permanente monitoreo de los productos y procesos para que de este modo se pueda crear una política de mejora continua.

5.8.1. Tareas rutinarias al adecuado funcionamiento de los equipos

Para definir la periodización de tareas preventivas se debe tener en cuenta que los subsistemas de cada uno de los equipos son muy parecidos y solo cambian algunos subsistemas de la sierra sinfín, por esta razón las acciones periódicas correctivas se definieron de modo que se realicen de manera secuencial en cada una de las máquinas de corte y rectificado.

La clasificación de las tareas preventivas se planteó para periodos de tiempo semestral, bimestral y trimestral, dentro de estas actividades se encuentran labores de mantenimiento asociadas a fallas operativas mas no funcionales que se deben realizar periódicamente de la mano con el análisis de criticidad y de causas realizado anteriormente, cabe mencionar que estas actividades pueden variar en el tiempo de ejecución dependiendo de observaciones y posibles eventos que se puedan presentar en cualquier momento.

En las tablas de la 41 a 43 se establecen las frecuencias de las actividades rutinarias junto con los insumos necesarios para realizar estas actividades, dependiendo de los subsistemas comunes a los equipos:

Tabla 39.*Frecuencia de actividades del subsistema de corte*

No	Tareas preventivas subsistemas de corte	Mensuales	Trimestral	Semestral	Insumos
1	Afilado de dientes de la cinta de corte	x			Terceros
2	Rectificado de los dientes de los disco de corte	x			Terceros
3	Cambio de cuchillas de los rodillos		x		Llave boca fija 9/16"
4	Cambio de rodamientos de los rodillos de corte			x	Llave hexagonal de 1/2" y hexagonal de 9/6"
5	Lubricación de la guía de corte (sierra radial)	x			ACPM
6	Afilado de cuchillas		x		Terceros
7	Rectificado del grosor de las cintas de corte	x			Terceros
8	Cambio de la cinta de corte		x		Bocacintas
9	Cambio del disco de corte (Radial y de banco)			x	Lave de expansión

Nota. La frecuencia de acciones preventivas se clasifican en base a las acciones de mantenimiento actuales.

Tabla 40.*Frecuencia de actividades del subsistema de generación*

No	Tareas preventivas subsistemas de generación	Mensuales	Trimestral	Semestral
1	Limpieza interna de la carcasa	x		Cepillo convencional
2	Verificación del voltaje entregado	x		Multímetro digital
3	Cambio de rodamientos de los ejes			Terceros
4	Cambio de bobinado			Terceros
5	Cambio de cableado		x	Terceros
6	Limpieza de las acometidas	x		Cepillo manual
7	Rectificación de las revoluciones entregadas por el motor	x		Terceros
8	Verificar las conexiones externas del armario de control a los demás componentes		x	Manual

Nota. La frecuencia de acciones preventivas se clasifican en base a las acciones de mantenimiento actuales.

Tabla 41.*Frecuencia de actividades del subsistema de transmisión*

No	Tareas preventivas subsistemas de transmisión	Mensuales	Trimestral	Semestral	Insumos
1	Templado de correas	x			Llave exagonal $\frac{3}{4}$ "
2	Cambio de correas		x		Llave hexagonal $\frac{3}{4}$ " y atornillador de pala
3	Ajuste de poleas		x		Terceros
4	Cambio de poleas			x	Llave Bristol de 8mm
5	Calibrado de ejes de transmisión		x		Terceros
6	Limpieza de poleas	x			Terceros
7	Limpieza de árboles de transmisión	x			Terceros
8	Templado de cinta	x			Terceros
9	Rectificación de volantes			x	Terceros
10	Rectificación del tiento			x	Terceros

Nota. La frecuencia de acciones preventivas se clasifican en base a las acciones de mantenimiento actuales.

Tabla 42.*Frecuencia de actividades del subsistema estructural*

No	Tareas preventivas subsistemas estructural	Mensuales	Trimestral	Semestral	Insumos
1	Ajuate de los elementos de unión	x			Laves $\frac{3}{4}$ ", $\frac{9}{16}$ ", $\frac{5}{32}$ ", $\frac{1}{2}$ "
2	Limpieza de los empotramientos	x	x		Cepillo metalico
3	Aplicación de anticorrosivos			x	ZRC cold galvanizing
4	Ajuste de planchas		x		Manual
5	Remoción de aserrín impregnado	x			Cepillo metalico y ACPM

Nota. La frecuencia de acciones preventivas se clasifican en base a las acciones de mantenimiento actuales.

Tabla 43.*Frecuencia de actividades del subsistema neumático*

No	Tareas preventivas subsistemas Neumático	Mensuales	Trimestral	Semestral	Insumos
1	Cambio de filtros		x		Lave para filtros 3"
2	Limpieza de filtros	x			Aire comprimido
3	Cambio de aceite		x		Lave de 7/16"
4	Purga de Humedad		x		Terceros
5	Verificación de la válvula de seguridad	x			Manual
6	Limpieza externa de todo el compresor	x			Cepillo y ACPM

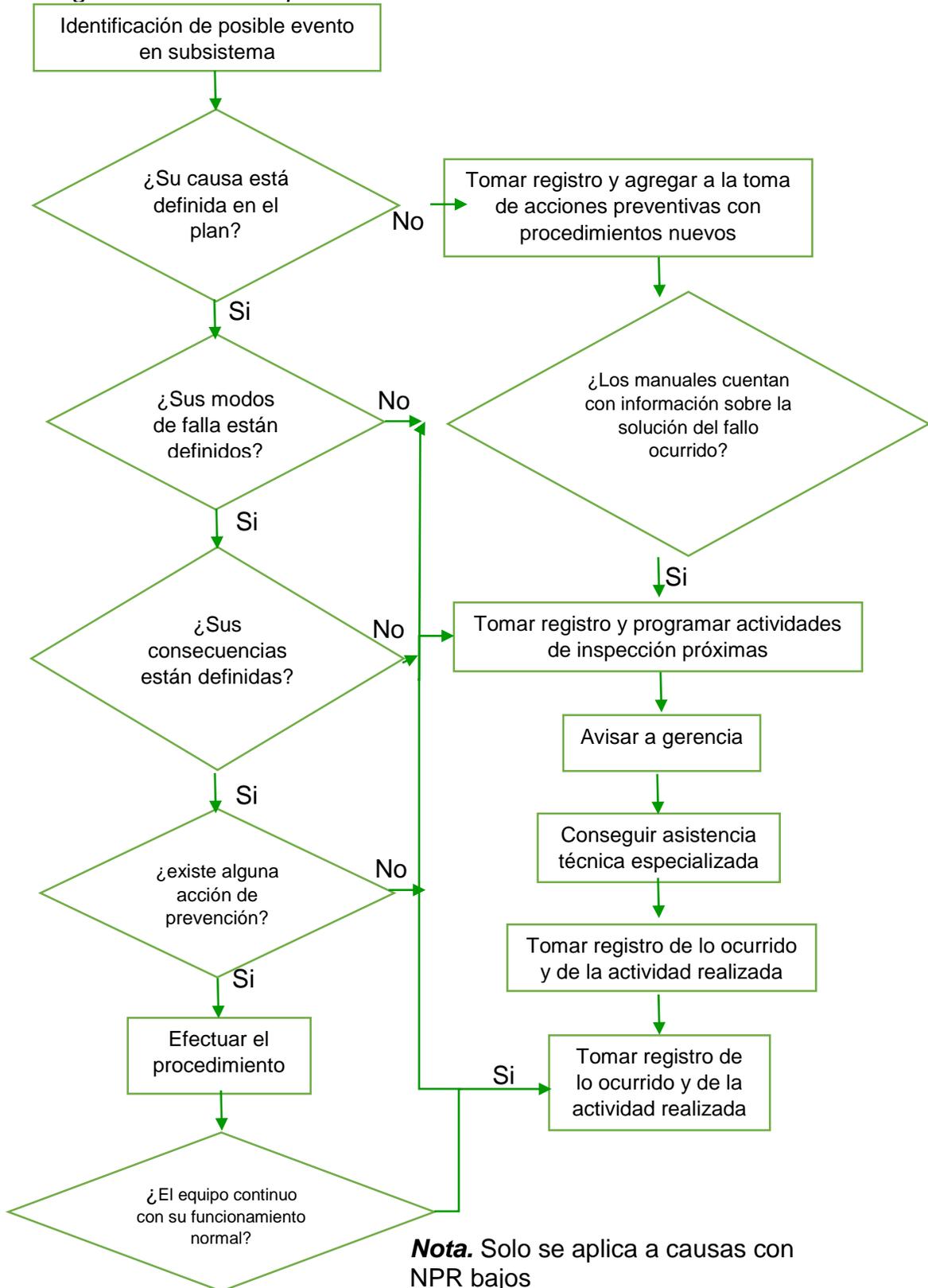
Nota: Elaboración propia

5.8.2. Diagrama de decisión para causas con NPR bajos

Realizado el análisis de NPR para cada causa y respondiendo con acciones de mejora para las causas con un NPR de gran valor, tienen acciones que respondan de manera preventiva los fallos más significativos dentro del proceso productivo, sin embargo, para las causas de menor valor es necesario definir un diagrama de decisión que nos permita conocer la manera de afrontar y registrar, los eventos que se presenten.

Figura 27.

Diagrama de decision para causas con un NPR inferior



Nota. Solo se aplica a causas con NPR bajos

5.8.3. Inspección

Elemento complementario a la consolidación de la propuesta, se consolidan actividades diarias de inspección con el objetivo de la inspección es buscar elementos o características que no sean propias del diseño original del equipo, como fallas producto de una operación errónea o avería en algún elemento, afectando de este modo el adecuado funcionamiento del equipo.

Las rutinas de inspección tienen la ventaja de no acarrear costos en su implementación ya que el operario suele ser la misma persona encargada de realizarlas. Esto es una es beneficioso para la empresa como para el operario que se involucra más en los procesos de mantenimiento de la compañía.

Se describe una lista de chequeo para los siguientes sistemas:

- Potencia
- Trasmisión
- Neumático
- Eléctrico y electrónico
- Estructural

Tabla 44.*Lista de chequeo de las tareas de inspección*

Lista de chequeo	
Sistema	Tareas de inspección
Potencia	Verificar el voltaje de entrada a los motores de alta y de fases
	Hacer una verificación auditiva de los niveles de vibración de los motores eléctricos
	Comprobar antes de encender que los motores se encuentren debidamente conectados y puedan iniciar su operación con normalidad
	Verificar el anclaje
	Verificar la alineación
	Verificar la conexión a tierra
Trasmisión	Verificar que las correas estén templadas correctamente
	Cerciorarse de que no haya juego en la polea
	Revisar si los volantes tienen rotación sin encendido
Neumático	Revisar los filtros de entrada
	Detallar el nivel de aceite
	Comprobar que no hayan fugas y vibraciones
	Verifique las válvulas de alivio y de presión
Eléctrico electrónico	Valide el voltaje de alimentación
	Verificar los cables que no estén dañados
	Revisar el protector térmico
Estructural	Verificar los elementos de unión
	Ajustar los elementos visiblemente desajustados

Nota. En las tareas de inspección se debe de clasificar por cada subsistema.

5.8.4. Metodología de recolección de datos

Una recolección de datos acertada que permita tener información accesible y precisa, debe estar direccionada a la continua inspección de tareas realizadas y a realizar, de cada uno de los quipos de corte y rectificado, para ello, se debe establecer una metodología por experimentación, debido a que de esta forma se logra durante la ejecución, una toma de datos acertada. La toma de datos que se lleva a cabo en el transcurso de la operación, tiene más validez, ya que los datos recolectados serán los más recientes y permitirán tomar acciones inmediatas.

De esta forma se definen formatos de registro y control de las tareas de mantenimiento.

Tabla 45.

Formato de registro para las tareas de mantenimiento

MDO		REGISTRO DE TAREAS DE MANTENIMINETO					Versión 1
							Julio. 2021
Maquina: Sierra re aserradora sinfín							
Fecha de ejecución	Tarea realizada	Herramientas	ENCARGADO	Tiempo empleado	Holómetro	Observaciones	
1	Día/Mes/Año						
2	Día/Mes/Año						
3	Día/Mes/Año						
4	Día/Mes/Año						
5	Día/Mes/Año						
6	Día/Mes/Año						
7	Día/Mes/Año						
8	Día/Mes/Año						
9	Día/Mes/Año						
10	Día/Mes/Año						

Nota. Este formato es propuesto con opción de modificación.

6. ESTUDIO DE REPUESTOS

Dentro del proceso productivo de la empresa, para el desarrollo de este proyecto, ha sido de estudio únicamente los aspectos correspondientes a la operación y mantenimiento, sin embargo, debe existir una sinergia entre los diferentes departamentos que hacen parte importante del proceso productivo y de negocios de la empresa, ya que, de esta manera, se garantiza la continuidad de los procesos. Como se mencionó en capítulos anteriores, el mantenimiento correctivo no programado es el único en el que incurre la empresa cuando un equipo salía de funcionamiento, esto ligado a una falta de disponibilidad en los repuestos, genera un para la empresa aún más retrasos en la corrección de la falla y en la capacidad de una reacción inmediata por parte del recurso humano.

Es importante aclarar que, dentro del alcance de este proyecto, no se contempla un análisis de costos ni proveedores, ya que estos se análisis como una propuesta posterior a la posible implementación de este proyecto.

6.1. Selección de repuestos

El inventario para reparaciones se desarrolla con base al consumo por reparaciones y un análisis de criticidad donde se jerarquicen los equipos y subsistemas con mayor criticidad, este análisis realizado en el capítulo 4. A demás de esto se debe definir los criterios con los cuales se seleccionan los repuestos, estos son:

- Consumo: el cual se evalúa con ayuda de registros fiables que proporcione el conocimiento de los repuestos con más rotación, como la empresa no cuenta con estos registros se tendrá en cuenta para este parámetro los consumibles de cambio frecuente.
- Plazo de aprovisionamiento: este parámetro responde a aquellas piezas especiales que deben ser fabricadas con un tiempo determinado, al ser un aspecto poco frecuente en la compañía se tendrá en cuenta para elementos con salida de operación de muy baja rotación.

- Tiempo perdido de producción: si este tiempo es elevado, se debe evaluar la causa y prever que piezas son necesarias para la posible contingencia.

6.2. Clasificación de repuestos

Se clasifica un repuesto dependiendo de su injerencia dentro del equipo, estos elementos se pueden definir por medio de las siguientes clasificaciones:

- Consumibles: son elementos que tienen una duración inferior a un año, con una vida útil predecible, estos son sustituidos sin presentar algún tipo de desgaste o síntoma.
- Elementos de regulación y mando mecánico: garantizan el correcto funcionamiento del equipo, estos por lo general sin válvulas, muelles, cigüeñales, entre otros.
- Componentes electrónicos: son altamente críticos, ya que su injerencia dentro del funcionamiento del equipo es muy alta, suelen fallar por sobrecalentamiento o cortocircuito.
- Piezas estructurales: son de rotación muy baja y en la mayoría de casos trabajan bajo sus capacidades, pueden ser, bastidores, soportes, empotramientos, laminas, entre otros.

Al ser los equipos de corte y rectificado diseñados y fabricados en Colombia, es relativamente sencillo acceder a repuestos y consumibles sin necesidad de importarlos, sin embargo, es necesario tener en cuenta la necesidad de la planta categorizando los repuestos de la siguiente forma:

Tabla 46.

Clasificación de repuestos

CLAIFICACION DE REPUESTOS					
TIPO					
Desgaste	Consumible	Regulación	Móviles	Electrónico	Estructurales
D	C	R	M	E	S

Nota. Se debe clasificar los repuesto teniendo en cuenta el tipo de repuesto.

6.3. Stock de repuestos

Conociendo la criticidad de los equipos, sistemas y subsistemas, en la tabla 47 se registran los repuestos con su correspondiente clasificación.

Tabla 47.

Stock de repuestos.

STOCK DE REPUESTOS					
EQUIPO	SISTEMA	ELEMENTO	DESCRIPCION	CANTIDAD	TIPO
SIERRA SINFÍN	Trasmisión	Correa en V	5m	2	C
	Corte	Cinta de corte	7,35mx15cmx3m	7	M
	Neumático	Empaquetaduras	N/A	5	C
	Eléctrico y electrónico	Conexiones trifásicas	480votios	2	E
CEPILLO REGRUESADOR	Trasmisión	Correa en V	1.7m	2	C
	Eléctrico y electrónico	Conexiones trifásicas	480votios	2	E
SIERRA RADIAL	Corte	Disco dientes en tungsteno	40cm	1	M
	Eléctrico y electrónico	Conexiones trifásicas	120votios	4	E
SIERRA DE BANCO	Trasmisión	Correa en V	1.7m	2	M
	Corte	Disco dientes en tungsteno	40cm	1	M
	Eléctrico y electrónico	Conexiones trifásicas	120votios	2	E
PLANEADORA	Trasmisión	Correa en V	81Cm	2	C

Nota. Por cada equipo se tienen un stock diferente.

7. CONTROL Y REGISTRO

Una buena gestión del mantenimiento debe aportar a la compañía los criterios necesarios para tomar decisiones efectivas que satisfagan el crecimiento en todas las áreas productivas, para una buena gestión del mantenimiento, se deben establecer criterios o indicadores que aporten al sistema de información brindando datos fiables de los modos de falla, tiempo de reparación, tiempo entre fallas, recursos y costos.

7.1. Formatos de registro

Para lograr establecer un sistema que recopile la información necesaria se diseñaron los siguientes formatos:

7.1.1. Ficha técnica

En este formato se registra toda la información técnica relevante de cada uno de los equipos de corte y rectificado, además de sus sistemas, se detalla la información recopilada de catálogos e información suministrada por el fabricante y la empresa.

A continuación, se presentan las fichas técnicas de cada uno de los equipos de corte y rectificado y se aclara que esta versión está sujeta a modificaciones según sea conveniente, esto con el fin de que la compañía pueda actualizar las versiones de cada uno de los formatos de registro presentados en este proyecto, se destacan de la tabla 48 a la 52 las fichas técnicas:

Tabla 48.

Ficha técnica de la sierra sinfín

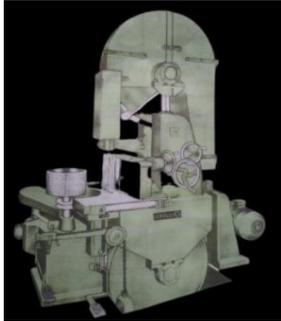
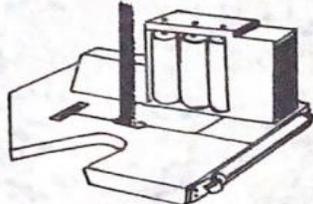
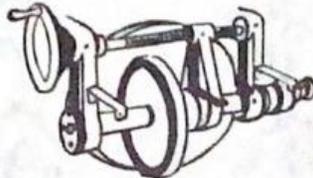
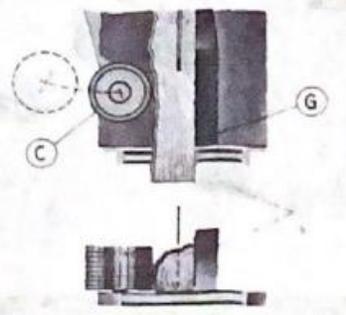
MDO		FICHA TECNICA		Versión 0.1	
INFORMACIÓN DEL EQUIPO					
EQUIPO:	Sierra sinfín	FECHA DE INGRESO	24/08/2000	DEPARTAMENTO:	Operaciones
TIPO:	SCNH-B	ORIGEN	Colombia	ENCARGADO:	Gerente operacional
MODELO:	S.A.1.100H				
AÑO:	1993				
CARACTERISTICAS DEL EQUIPO					
				TAMAÑO	1,92m
				PESO	3000kg
DIMENSIONES DE TRABAJO					
ALTURA			ANCHURA		
3m			2m		
ESPECIFICACIONES DEL MOTOR					
		TIPO:	Trifásico estrella triangulo		
		MARCA:	Siemens		
		POTENCIA	3HPS		

Tabla 48.

Continuación

ESPECIFICACIONES NEUMATICAS				
	CAPACIDAD	200 psi	CAMISA EMBOLO	50cm
	MOTOR	BIFACICO	BASTAGO	30cm
	POTENCIA	3/2HPS		
ESPECIFICACIONES DE CORTE				
	VELOCIDAD DE CORTE			1755RPM
	LARGO RODILLOS			80CM
	ANCHO DE RO			7.6cm
ESPECIFICACIONES DE L SISTEMA DE CONTROL				
	DIAMETRO DE VOLANTES DE CONTROL			30cm
ESPECIFICACIONES DE L SISTEMA DE ALIMENTACIÓN				
	DIAMETRO DE LA PIÑA			30CM
	DIAMETRO PIÑON			45CM
	DIAMETRO PLATO			30CM

Nota. Este formato es propuesto con opción de modificación.

Tabla 49.

Ficha técnica de la sierra de banco

MDO		FICHA TECNICA		Versión 0.1	
INFORMACIÓN DEL EQUIPO					
EQUIPO:	Sierra de banco	FECHA DE INGRESO	24/08/2003	DEPARTAMENTO: Operaciones	
TIPO:	SCNH-B	ORIGEN	Colombia		
MODELO:	95				
AÑO:	1995			ENCARGADO:	Gerente operacional
CARACTERISTICAS DEL EQUIPO					
			TAMAÑO	1,92m	
			PESO	250kg	
DIMENSIONES DE TRABAJO					
ALTURA			ANCHURA		
0,82m			1,10m		
ESPECIFICACIONES DEL MOTOR					
		MARCA	Siemens		
		REVOLUCIONES POR MINUTO	3510RMP		
		TIPO	Motor de alta		

Nota. Este formato es propuesto con opción de modificación.

Tabla 50.

Ficha técnica del cepillo regruesador.

MDO		FICHA TECNICA		Versión 0.1	
INFORMACIÓN DEL EQUIPO					
EQUIPO:	Cepillo regruesador	FECHA DE INGRESO	05/10/2005	DEPARTAMENTO:	Operaciones
TIPO:	SCNH-B	ORIGEN	Colombia	ENCARGADO:	Gerente operacional
MODELO:	CPH-50				
AÑO:	1995				
CARACTERISTICAS DEL EQUIPO					
				TAMAÑO	1,92m
				PESO	250kg
				ANCHO UTIL	500mm
				ESPESOR MINIMO	5mm
DIMENSIONES DE TRABAJO					
ALTURA			ANCHURA		
200mm			500mm		
CARACTERISTICAS DE ALIMENTACIÓN					
VELOCIDAD DE ALIMENTACION					12,5mxmin
ESPECIFICACIONES DEL MOTOR					
				MARCA	Siemens
				REVOLUCIONES POR MINUTO	3510RMP
				TIPO	Motor de alta
				POTENCIA	7HP

Nota. Este formato es propuesto con opción de modificación.

Tabla 51.

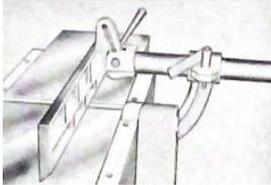
Ficha técnica de la sierra radial

MDO		FICHA TECNICA		Versión 0.1	
INFORMACIÓN DEL EQUIPO					
EQUIPO:	Sierra radial	FECHA DE INGRESO	05/10/2005	DEPARTAMENTO:	Operaciones
TIPO:	SCNH-B	ORIGEN	Colombia	ENCARGADO:	Gerente operacional
MODELO:	CPH-50				
AÑO:	1995				
CARACTERISTICAS DEL EQUIPO					
				TAMAÑO	1,92m
				PESO	250kg
				ANCHO UTIL	500mm
				ESPESOR MINIMO	5mm
DIMENSIONES DE TRABAJO					
ALTURA			ANCHURA		
200mm			500mm		
CARACTERISTICAS DE CORTE					
MAXIMA CAPACIDAD DE DISCO		35,5 - 45.7cm	MAXIMA PROFUNDIDAD DE CORTE	135	
LARGO DEL BRAZO PISTA		92cm	DESCUALIZADOR DEL MOTOR DEL BRAZO	0°-45°-90°	
GRADUACION VERTICAL		200mm			
ESPECIFICACIONES DEL MOTOR					
				MARCA	Simens
				REVOLUCIONES POR MINUTO	3470RMP
				TIPO	Motor de alta
				POTENCIA	7HP
				DIAMETRO DEL EJE DEL MOTOR	25mm

Nota. Este formato es propuesto con opción de modificación.

Tabla 52.

Ficha técnica de la planeadora de rodillo

MDO		FICHA TECNICA		Versión 0.1	
INFORMACIÓN DEL EQUIPO					
EQUIPO:	Planeadora de rodillo	FECHA DE INGRESO	2004	DEPARTAMENTO:	Operaciones
TIPO:	PAH-35-G	ORIGEN	Colombia		
MODELO:	CPH-50				
AÑO:	1995				
CARACTERÍSTICAS DEL EQUIPO					
				TAMAÑO	1,68m
				PESO	346kg
				ANCHO UTIL	500mm
				ESPESOR MINIMO	62cm
DIMENSIONES DE TRABAJO					
ALTURA			ANCHURA		
79m			1.68m		
CARACTERÍSTICAS DE CORTE					
ANCHO DEL CEPILLADO	350mm	LONGITUD DE LAS MESAS	1690mm	LONGITUD DE LA MESA DE ENTRADA	983mm
ALTURA MAX DE CORTE	10mm	DIMENSIONES DE LAS CUCHILLAS	3,50X35X3m	DIAMTRO DEL MANDRIL CON CUCHILLAS	95mm
					
ESPECIFICACIONES DEL MOTOR					
MARCA	Simens		POTENCIA	3HP	
REVOLUCIONES POR MINUTO	3470RMP		DIAMETRO DEL EJE DEL MOTOR	25mm	
TIPO			Motor de alta		

Nota. Este formato es propuesto con opción de modificación.

7.1.2. Solicitud de servicio.

Diseñado para reportar eventualidades, este formato permite registrar las fallas y anomalías que pueden llegar a presentar la maquinas o que puede estar presentando, se recomienda realizar tomas periódicas que den una buena retroalimentación de la condición actual y detalla de los equipos, de este modo, con la recopilación de esta información se pueden tomar decisiones operativas y de intervención si es necesario, este formato de registro debe ir ligado a las acciones preventivas periódicas desarrollas en el capítulo 5.

A continuación, en la tabla 53, se presenta la versión inicial de la solicitud de servicio:

Tabla 53.

Formato de la solicitud de servicio

MDO	SOLISITUD DE SERVICIO			Versión 0.1	
				No° de solicitud	#
FECHA	HOROMETRO		OPERADOR		
EQUIPO	MODELO		CODIGO		
PROYECTO	UBICACIÓN		CLIENTE		
Indique si se presentó deterioro del medio ambiente			INTERVENCIÓN		
		INSPECCIÓN	PREVENCIÓN	CORRECCIÓN	
DESCRIPCIÓN DE LA FALLA					
_____ SUPERVISOR			_____ OPERADOR		

Nota. Este formato es propuesto con opción de modificación.

7.1.3. Orden de trabajo

Es una instrucción escrita en la cual se define el trabajo que se va a realizar junto con las condiciones, insumos y repuestos a tener en cuenta. Con la implementación de este formato se aumenta la productividad de operación ya que se evita perder tiempo por parte del técnico de mantenimiento debido a que posee una guía exacta junto con las rutas de mantenimiento y las tareas rutinarias al adecuado funcionamiento de los equipos.

En la tabla 54 se presenta la versión inicial de la orden de trabajo para la empresa:

Tabla 54.

Formato de la orden de trabajo

MDO			ORDEN DE TRABAJO				VERSIÓN	0.1	HOJA
							ELABORO		1 De 1
DD	FECHA DE SOLICITUD		N° SOLICITUD	INTERVENCIÓN			EQUIPO	N° OT	
	MM	AA		INSPECCIÓN	PREVENCIÓN	CORRECCIÓN			
DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO									
DESCRIPCIÓN DE LA FALLA				PLAN DE EJECUCIÓN					
SOLICITANTE				RESPONSABLE					
RECURSOS									
HERRAMIENTAS			INSUMOS Y REPUESTOS						
DESCRIPCIÓN		CANTIDAD	DESCRIPCIÓN				CANTIDAD		

Tabla 54.

Continuación

SEGUIMIENTO						
HOROMETRO INICIAL	FECHA INICIO TRABAJO	DD	MM	AA	GASTOS OPERATIVOS	
					H-H	
HOROMETRO FINAL	FECHA FIN TRABAJO	DD	MM	AA	VIATICOS	
					RECURSOS	
OBSERVACIONES		RECOMENDACIONES Y/O PENDIENTES				

Nota. Este formato es propuesto con opción de modificación.

7.1.4. Hoja de vida

Se diseña la hoja de vida con el fin de recopilar todas las intervenciones que se le realizan al equipo bien sea por el personal operativo o servicios externos. Se alimenta la información de este formato teniendo en cuenta la solicitud de trabajo y la orden de trabajo. A continuación, se presta en la tabla 54 el formato de hoja de vida en su versión inicial:

8. INDICADORES DE MANTENIMIENTO

Para un correcto estudio de los resultados obtenidos en los capítulos anteriores, es necesario realizar el cálculo de indicadores que permitan valorar de una manera cuantitativa y objetiva la gestión del mantenimiento, para esto, existen una amplia variedad de indicadores que nos permiten evaluar los procesos realizados en la empresa, sin embargo, se destacan tres de los más importantes denominados como los indicadores de gestión universal, estos son: Disponibilidad, confiabilidad y mantenibilidad. [10]

Los indicadores permiten proporcionar datos como:

- La situación de un determinado aspecto que queremos valorar
- Informes, conclusiones que nos permiten tomar decisiones acertadas viendo la evolución de un determinado indicador.
- Autorías cuantitativas de manteniendo, se basan en números de indicadores determinados siendo capaz de calcular el índice de conformidad de una forma numérica y cuantas veces se requiera.

Como se presentó en capítulos posteriores, Maderas del Oriente no cuenta con ningún tipo de indicador que le permita medir el comportamiento operacional de sus equipos ni la efectividad de sus actividades de mantenimiento, por estas razones, se hará un estudio actual con los indicadores mencionados anteriormente que permita delimitar un punto de partida para posteriormente evaluar las actividades propuestas en este proyecto.

8.1. Cálculo de indicadores

Para el cálculo de los indicadores mencionados, se parte de un histórico confiable de horas trabajadas, las fallas y sus intervenciones, de esta manera se toma como referencia el reporte de operación comprendido entre enero y abril del 2.021 para un total de cuatro meses.

8.1.1. Confiabilidad

Para lograr una confiabilidad del 100% se plantea un escenario donde la frecuencia con que ocurren las fallas sea nula, es decir, si la frecuencia entre fallas es baja la confiabilidad del equipo será aceptable; contrario a esto, si la frecuencia entre fallas es alta, el equipo es muy poco confiable. [21]

La confiabilidad también conocida por las siglas TMEF (Tiempo Medio Entre Fallas) o por sus siglas en inglés MTBF (Mean Time Between Failures) se representa por la siguiente ecuación:

$$TMEF = \frac{\text{Horas Trabajadas}}{\# \text{ de falla}}$$

8.1.2. Mantenibilidad

Se logra medir la mantenibilidad por medio de los tiempos empleados en las reparaciones o tareas de mantenimiento efectuadas que logren llevar al elemento, subsistema o sistema a un estado funcional y normal dentro de sus parámetros habituales.

Conocida también por sus siglas como TMPR que refiera al Tiempo Medio Para Reparar) o en inglés conocida por sus siglas; MTTR (Medium Time To Repair) se calcula con la siguiente ecuación:

$$TMPR = \frac{\sum \text{Tiempo de reparaciones}}{\# \text{ de falla}}$$

8.1.3. Disponibilidad

La disponibilidad es el indicador con más posibilidades de manipulación debido a que dependiendo de los valores que se escojan y teniendo en cuenta las expectativas de la empresa, puede variar indefinidamente. Para efectos de este proyecto, y a conveniencia de aportar información específica para la empresa, se calcula la disponibilidad

asumiendo que las áreas diferentes a la correspondiente del mantenimiento mecánico, se encuentran en un estado ideal dependiendo de la especificidad de cada una.

La disponibilidad se calcula de la siguiente manera:

$$TMPR = \frac{TMEF}{TMEF + TMPR}$$

Para que el análisis de cada uno de estos indicadores sea relevante para el proceso productivo, se debe implementar con ayuda del histórico de averías y de operación diaria de la maquinaria, cada uno de estos indicadores en las diferentes máquinas de corte y rectificado, esto será una respuesta efectiva de los parámetros iniciales que se deben clarificar del mantenimiento actual de la compañía.

En la tabla 46 se muestran los datos operaciones de los periodos correspondientes a enero, febrero, marzo y abril del 2021, donde se destacan las horas trabajadas, el tiempo de reparación y el número de fallas, además del cálculo para cada equipo de la confiabilidad (TMRF), la mantenibilidad (TMPR), y la disponibilidad para cada caso. Cabe destacar que estos valores se encuentran expresados en horas menos los valores de disponibilidad que se encuentran expresados en términos porcentuales.

Tabla 56.

Indicadores de gestion universal

INDICADORES							
MES	EQUIPO	HORAS TRABAJADAS (h)	TIEMPO DE REPARACIÓN (h)	NUMERO DE FALLAS	TMEF (h)	TMPR (h)	DISPONIBILIDAD
Enero	Sierra sinfín	144	25,5	4	36	6,375	85%
Febrero		192	10,13	1	192	10,13	95%
Marzo		168	12,1	3	56	4,03333333	93%
Abril		120	14	2	60	7	90%
Enero	Cepillo regruesador	153	5,5	1	153	5,5	97%
Febrero		140	6	1	140	6	96%
Marzo		134	13,1	3	44,6666667	4,36666667	91%
Abril		120	10	2	60	5	92%
Enero	Sierra de banco	119	9	3	39,6666667	3	93%
Febrero		150	13	6	25	2,16666667	92%
Marzo		120	20	4	30	5	86%
Abril		110	12	4	27,5	3	90%
Enero	Sierra radial	130	10	5	26	2	93%
Febrero		123	14,6	6	20,5	2,43333333	89%
Marzo		124	12	7	17,7142857	1,71428571	91%
Abril		145	24	3	48,3333333	8	86%
Enero	Planeadora de rodillo	110	11,1	2	55	5,55	91%
Febrero		90	12	2	45	6	88%
Marzo		105	13,4	5	21	2,68	89%
Abril		130	10,5	4	32,5	2,625	93%

Nota. Para cada indicador calculado se tiene en cuenta su influencia dentro del proceso productivo.

8.2. Análisis de resultados

Después del cálculo de los indicadores de gestión universal para cada equipo, se procede a interpretar los resultados, para poder representar la confiabilidad en términos porcentuales se utilizó el factor de fiabilidad (FF) el cual se representa en la siguiente ecuación:

$$FF = \frac{HT - HMC}{HT}$$

Donde;

FF= Factor de fiabilidad

HT= Horas Trabajadas

HMC= Horas de mantenimiento correctivo (Σ tiempo de reparaciones)

A continuación, en las tablas de la 47 a la 51, se calcula el factor de fiabilidad acumulado para los periodos analizados en cada uno de los equipos:

Tabla 57.

Factor de fiabilidad acumulado para la sierra sinfin

MES	EQUIPO	HORAS TRABAJADAS (h)	TIEMPO DE REPARACIÓN (h)	FF
Enero	Sierra sinfín	144	25,5	82%
Febrero		192	10,13	95%
Marzo		168	12,1	93%
Abril		120	14	88%
PROMEDIO ACUMULADO				90%

Nota. Calculo del factor de fiabilidad para la sierra sinfin.

Tabla 58.*Factor de fiabilidad acumulado para el cepillo regruesador*

MES	EQUIPO	HORAS TRABAJADAS (h)	TIEMPO DE REPARACIÓN (h)	FF
Enero	Cepillo regruesador	153	5,5	96%
Febrero		140	6	96%
Marzo		134	13,1	90%
Abril		120	10	92%
PROMEDIO ACUMULADO				94%

Nota. Calculo del factor de fiabilidad para el cepillo regruesador.**Tabla 59.***Factor de fiabilidad acumulado para la sierra de banco.*

MES	EQUIPO	HORAS TRABAJADAS (h)	TIEMPO DE REPARACIÓN (h)	FF
Enero	Sierra de banco	119	9	92%
Febrero		150	13	91%
Marzo		120	20	83%
Abril		110	12	89%
PROMEDIO ACUMULADO				89%

Nota. Calculo del factor de fiabilidad para la sierra de banco.

Tabla 60.*Factor de fiabilidad acumulado para la sierra radial.*

MES	EQUIPO	HORAS TRABAJADAS (h)	TIEMPO DE REPARACIÓN (h)	FF
Enero	Sierra radial	130	10	92%
Febrero		123	14,6	88%
Marzo		124	12	90%
Abril		97	24	75%
PROMEDIO ACUMULADO				87%

Nota. Calculo del factor de fiabilidad para la sierra radial.**Tabla 61.***Factor de fiabilidad acumulado para la planeadora de rodillo.*

MES	EQUIPO	HORAS TRABAJADAS (h)	TIEMPO DE REPARACIÓN (h)	FF
Enero	Planeadora de rodillo	80	11,1	86%
Febrero		112	12	89%
Marzo		105	13,4	87%
Abril		115	10,5	91%
PROMEDIO ACUMULADO				88%

Nota. Calculo del factor de fiabilidad para la planeadora de rodillo.

En la tabla 62 se hace una recopilación de los factores de fiabilidad de cada uno de los equipos por el tiempo definido anteriormente:

Tabla 62.

Porcentaje acumulado de cada equipo.

EQUIPO	FF acumulado
Sierra sinfín	90%
Cepillo regruesador	94%
Sierra de banco	89%
Sierra radial	87%
Planeadora de rodillo	88%

Nota. Ponderado final del FF en porcentaje de cada uno de los equipos.

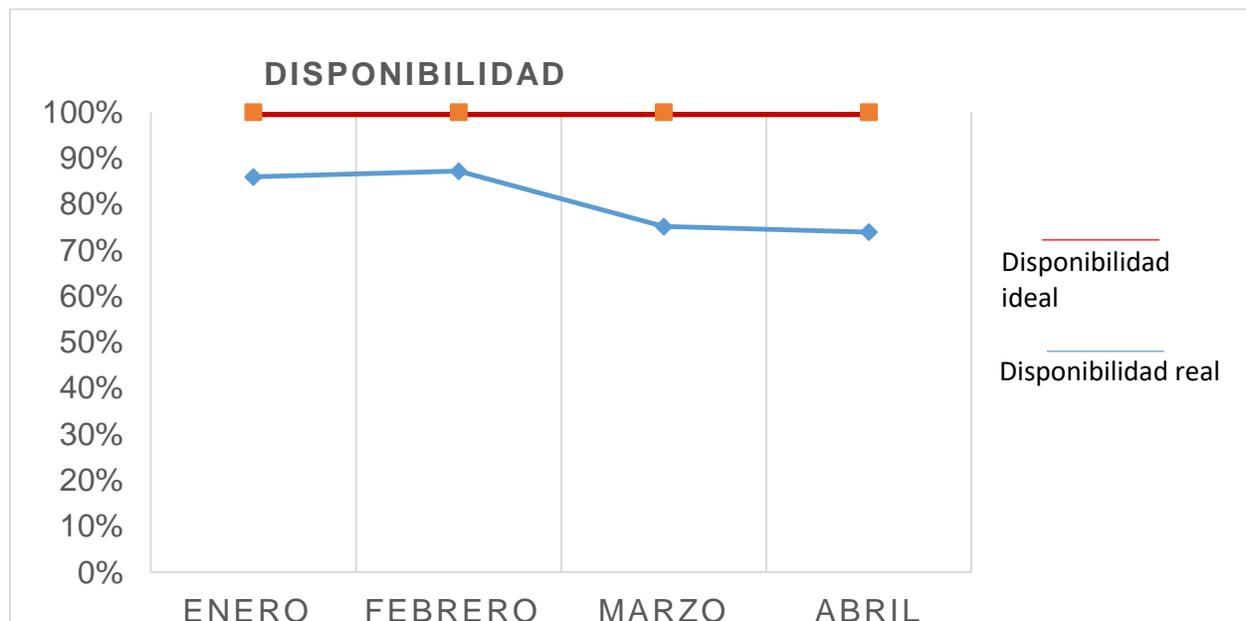
Se interpreta la mantenibilidad de cada dependiendo del tiempo que tome el operario o técnico en realizar una acción correctiva, es decir, a menor tiempo de reparación, mayor será la mantenibilidad, tomando en cuenta esto, la gestión de repuestos se vuelve fundamental ya que incapacidad técnica y tecnológica de implementación de acciones.

El indicador que ofrece información valiosa y de mayor relevancia es la disponibilidad, dentro de la gestión del mantenimiento en Maderas del Oriente, como se mencionó anteriormente la disponibilidad no necesariamente implica que el equipo esté en funcionamiento, si no que esté en condiciones de funcionar.

En la gráfica 3 se recopilan los datos globales de todos los equipos en el periodo de tiempo definido, se observa que, en una disponibilidad ideal (línea roja) para este tipo de maquinaria, la disponibilidad real (línea azul) se encuentra en algunos meses muy por debajo, sin embargo, estas condiciones son medianamente aceptables dentro del proceso productivo y no afecta en gran medida la producción ni la calidad de los productos de Maderas del Oriente.

Figura 28.

Disponibilidad.



Nota. En la figura se observa la diferencia entre la disponibilidad real y la disponibilidad ideal de la empresa.

9. ANALISIS DE IMPACTO AMBIENTAL

El objetivo del análisis de impacto ambiental es identificar las posibles consecuencias que puede acarrear una tarea en específico, en el caso puntual de este plan de mantenimiento, se recopila información tomada de campo, exactamente en el lugar donde se realiza la operación diaria de MDO. Cabe mencionar que, al ser maquinaria intervenida en planta, los posibles residuos derivados de una intervención tanto preventiva como correctiva, terminara en el mismo lugar donde se opera la maquinaria.

Es importante mencionar que al realizar actividades de reparación ajuste o inspección a los equipos de corte y rectificado, no se obtendrán ningún contaminante sólido o gaseoso que pueda ocasionar lesiones de ningún tipo a los operarios, pero se pueden generar residuos líquidos.

9.1. Fuentes de riesgo

Para hacer un análisis ambiental adecuado, es imprescindible como instancia inicial, el análisis de las posibles fuentes de riesgo que se presentan durante la ejecución de tareas preventivas programas.

En la siguiente tabla se constatan los procesos de intervención a la maquinaria y los controles existentes.

Tabla 63.

Fuentes de riesgo

IDENTIFICACIÓN DE RIESGOS AMBIENTALES POTENCIALES				
PROCESO	FUENTE DE RIESGO	CONSECUENCIA	POSIBILIDAD	CONTROLES EXISTENTES
LUBRICACION Y MANTENIMIENTO	Cambio de cuchillas	Desprendimiento de astillas metálicas	Consecuencia de la renovación de cuchillas	Se intercambian con una bolsa debajo de la cuchilla
	Cambio de cinta de corte	Desprendimiento de astillas	Consecuencia de la renovación de la cinta	Limpieza profunda de la zona de cambio
	Lubricación con ACPM en la cinta de corte de la sierra sinfín	Derrame de ACPM e el suelo	Consecuencia de lubricar la cinta sinfín en operación	Se impregna el suelo de ACPM
	Elementos rotos	Residuos de acero	Muy poco probable	Ninguno
	Limpieza de aserrín y viruta	Excesode material particulado	Muy probable	Contaminacion en el sistema neumático
	Lubricación de planchas en las sierra de banco y radial	Derrame de ACPM e el suelo	Consecuencia de lubricar las planchas en operación	Se impregna el suelo de ACPM
	cambio de filtros del compresor	Polvo en exceso cerca del compresor	Muy probable	Ninguno
	Cambio de interruptores	Maretil plástico en el suelo	Muy probable	Se realiza una limpieza meticulosa

Nota. En la tabla se identifica cada riesgo ambiental posible dentro de la empresa. Tomado de: Instituto Colombiano de normas técnicas y certificaciones. “Guía técnica colombiana GTC 45 para la identificación de los peligros y la valoración de los riesgos en seguridad y salud ocupacional”, Bogotá D.C, Colombia, 2010

Al haber identificado las fuentes potenciales de riesgo, se definen dos indicadores utilizados para determinar el grado de impacto ambiental en la implementación del plan de mantenimiento.

9.1.1. Posibilidad

La posibilidad se refiere a la probabilidad o grado de consecuencia que pueda tener una fuente de riesgo teniendo en cuenta la actividad que se esté realizando.

Tabla 64.

Posibilidad

POSIBILIDAD		
1	Inevitable	Es inevitable que ocurra
2	Muy probable	Ocurrirá 8 de cada 10 veces
3	Probable	Puede ocurrir
4	Poco probable	Ocurrirá 2 o menos veces

Nota. Se describen los valores de posibilidad. Tomado de: Instituto Colombiano de normas técnicas y certificaciones. “Guía técnica colombiana GTC 45 para la identificación de los peligros y la valoración de los riesgos en seguridad y salud ocupacional”, Bogotá D.C, Colombia, 2010

9.1.2. Impacto

Se refiere a si puede haber un daño en el ambiente, ya sea reversible por medio de diferentes acciones, o permanente, se tiene en cuenta el tipo de contaminante y su nivel de contaminación.

Tabla 65.

Impacto

IMPACTO		
A	Catastrófico	Daños irreparables. muerte
B	Impactante	Daños notorios al ambiente y reparables a largo plazo
C	Moderado	Genera contaminación controlable
D	Bajo	No genera contaminación ni riesgos

Nota. Se describen los valores de impacto con su correspondiente indicativo. Tomado de: Instituto Colombiano de normas técnicas y certificaciones. “Guía técnica colombiana GTC 45 para la identificación de los peligros y la valoración de los riesgos en seguridad y salud ocupacional”, Bogotá D.C, Colombia, 2010

Ya establecidas las fuentes de riesgo, se asignan valores de posibilidad e impacto a cada una, de esta forma podemos obtendremos un valor de riesgo para cada fuente.

Tabla 66.

Identificación de riesgos ambientales

IDENTIFICACION DE RIESGOS AMBIENTALES POTENCIALES						
PROCESO	FUENTE DE RIESGO	CONSECUENCIA	POSIBILIDAD	CONTROLES EXISTENTES	P	I
LUBRICACION Y MANTENIMIENTO	Cambio de cuchillas	Cambio de cuchillas	Desprendimiento de astillas metálicas	Consecuencia de la renovación de cuchillas	2	c
	Cambio de cinta de corte	Cambio de cinta de corte	Desprendimiento de astillas	Consecuencia de la renovación de la cinta	3	B
	Lubricación con ACPM en la cinta de corte de la sierra sinfín	Lubricación con ACPM en la cinta de corte de la sierra sinfín	Derrame de ACPM e el suelo	Consecuencia de lubricar la cinta sinfín en operación	3	C
	Elementos rotos	Elementos rotos	Residuos de acero	Muy poco probable	1	C
	Limpieza de aserrín y viruta	Limpieza de aserrín y viruta	Exceso de material particulado	Muy probable	2	B
	Lubricación de planchas en las sierra de banco y radial	Lubricación de planchas en las sierra de banco y radial	Derrame de ACPM e el suelo	Consecuencia de lubricar las planchas en operación	4	B
	Cambio de filtros del compresor	Cambio de filtros del compresor	Polvo en exceso cerca del compresor	Muy probable	4	B
	Cambio de interruptores	Cambio de interruptores	Material plástico en el suelo	Muy probable	3	C

Nota. Se describen los valores con sus indicativo de posibilidad e impacto dentro de la empresa Maderas del Oriente.

Al haber asignado los valores de posibilidad e impacto a cada una de los riesgos ambientales, podemos identificar el nivel de impacto ambiental mediante los indicadores designados anteriormente, como dicta la guía técnica colombiana (GTC 45) [6], se identifica el nivel de riesgo dependiendo a la zona donde se posicione.

Tabla 67.

Nivel de impacto

POSIBILIDAD	IMPACTO			
	Catastrófico	Considerable	Moderado	Bajo
Inevitable	A	A	M	M
Muy probable	A	A	M	M
Probable	M	M	M	B
Poco probable	M	M	B	B

Nota. Se describen los valores de impacto. Tomado de: Instituto Colombiano de normas técnicas y certificaciones. “Guía técnica colombiana GTC 45 para la identificación de los peligros y la valoración de los riesgos en seguridad y salud ocupacional”, Bogotá D.C, Colombia, 2010

Donde el nivel de severidad se clasifica de la siguiente forma:

- A: Impacto ambiental alto. Se deben establecer controles para la prevención de las posibles consecuencias resultado de la realización de esta tarea y si es necesario suspender actividades hasta que se establezcan controles.
- M: Impacto ambiental moderado. Se recomienda la mejora de los controles ya existentes, no es necesario la suspensión de actividades, pero si tener un control de rutina.
- B: Impacto ambiental bajo. Se recomienda mantener las medidas de control establecidas si las hay, se debe hacer un control periódico para tener control de la fuente de riesgo, aunque sea baja. [6]

9.2. Medidas de control

Una vez se hace la determinación del nivel de impacto ambiental, se establece para cada riesgo unas medidas de control donde se mitiga la fuente de riesgo a partir del manejo que se le da a los residuos y elementos presentes en cada riesgo. Se presenta lo anterior en la siguiente tabla:

Tabla 68.

Medidas de control

TIPO DE RESIDUO	CLASIFICACION	DEPOSITO	MANEJO Y CONTROL	
NO PELIGROSO	Reciclable	Cartón y papel	Caneca de reciclaje gris	Reciclaje y reutilización
		Fotocopias		
		Cartón		
		Periódico		
	Reciclable	Plástico	Caneca de reciclaje azul	Reciclaje y reutilización
		Bolsas		
		Envolturas		
		Botellas		
	Reciclable	Textiles	Caneca de reciclaje gris	Reciclaje y reutilización
		Bayetillas		
		Ropa		
		Material residuo		
	Reciclable	Acero	Caneca de reciclaje amarilla	Reciclaje y reutilización
		Metal		
No reciclable	Materiales de papel y cartón contaminados por aceite y grasas	Caneca de reciclaje verde	Deposición final	
	Residuos orgánicos			
Peligrosos	Filtros	Caneca de reciclaje roja	Entrega de residuos a procesador de servicios de recolección	
	Mangueras			
	Empaques			
	Aceite usado			
	Lubricantes usados			
	Solventes			

Nota. Se describen las medidas de control. Tomado de: Instituto Colombiano de normas técnicas y certificaciones. " Guía técnica colombiana GTC 24 gestión ambiental de residuos sólidos. guía para la separación en la Fuente" 2009.

10. ANALISIS DEL COSTO FINANCIERO

En la empresa Maderas de Oriente E.M.J. la falta de gestión de la información del mantenimiento de las máquinas de corte y rectificado también repercute en que no exista información financiera actualizada y precisa referente a las prácticas de mantenimiento. El análisis de costos totales del desarrollo e implementación del presente plan de mantenimiento preventivo se basa en la determinación de los costos indirectos o costos de realización del proyecto y en la determinación de los costos directos del proceso, se consideran los costos tales como: los costos de realización de las tareas del plan de mantenimiento preventivo, los costos para el uso de las herramientas informáticas, y la implementación de estas.

10.1. Costo de mantenimiento antes de implementación

Para analizar la viabilidad económica de la implementación del plan de mantenimiento, se revisan los flujos de efectivo que existen actualmente en la empresa, para lo cual se determinan los costos anuales que representan las fallas correctivas que presentan las máquinas y los ingresos anuales que producen las mismas.

Los costos que producen el histórico de fallas de las maquinas se presentan en promedio trimestralmente durante el año con los siguientes valores:

Tabla 69.

Costos trimestrales de mantenimiento correctivo

Mes de falla	Costo de mantenimineto correctivo
Marzo	\$ 14.500.000
Junio	\$ 17.453.300
Septiembre	\$ 20.540.000
Diciembre	\$ 19.456.900

Nota. Flujo de caja trimestral de los gastos en mantenimiento correctivo brindado de manera exclusiva por la compañía para estos periodos de tiempo.

Posterior a ello se registran los ingresos producidos por la máquina a lo largo del año anterior con los siguientes valores:

Tabla 70.

Ingresos mensuales de MDO

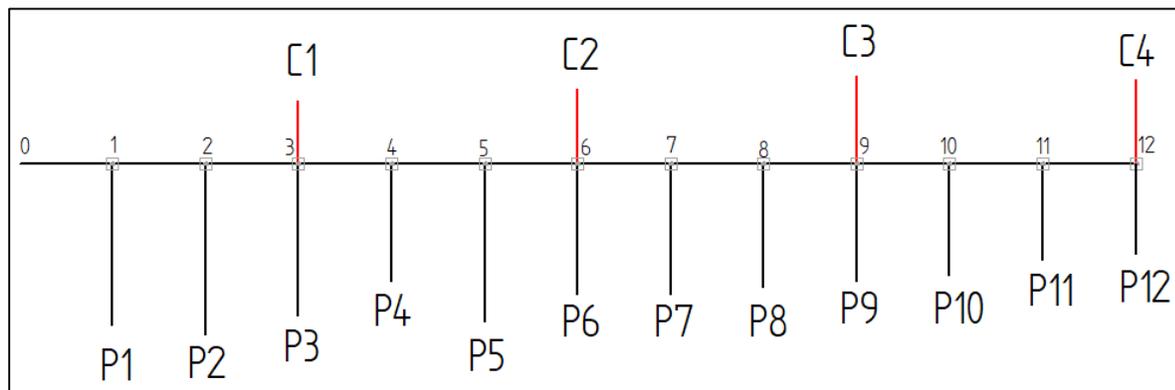
Mes	Producido
Enero	\$ 37.432.200
Febrero	\$ 39.800.000
Marzo	\$ 35.530.000
Abril	\$ 27.900.000
Mayo	\$ 36.730.500
Junio	\$ 30.780.500
Julio	\$ 29.119.650
Agosto	\$ 27.458.800
Septiembre	\$ 25.797.950
Octubre	\$ 24.137.100
Noviembre	\$ 22.476.250
Diciembre	\$ 20.815.400

Nota. La empresa brinda los ingresos mensuales del año 2020

Una vez identificados los costos, sus periodos de frecuencia y las ganancias producidas anuales procedemos a desarrollar el análisis por medio del modelo del flujo de efectivo que se muestra a continuación

Figura 29.

Flujo de caja de un año de MDO



Nota. Se representa el flujo de efectivo con sus costos e ingresos de la empresa MDO

Se utilizará el indicador financiero del VALOR PRESENTE NETO para trasladar todos los costos y producidos proyectados a un año en un único valor equivalente a hoy mediante la siguiente ecuación:

$$VP = \frac{\sum \text{Flujo de efectivo en el periodo}}{(1 + TI)^n}$$

Donde el TI es la tasa de interés equivalente que es el valor de la inflación anual como valor representativo y n el número de periodos que se traslada el flujo de efectivo al periodo cero quedando así la siguiente ecuación:

$$VP = \frac{P1}{(1 + TI)^1} + \frac{P2}{(1 + TI)^2} + \frac{P3 - C1}{(1 + TI)^3} + \frac{P4}{(1 + TI)^4} + \frac{P5}{(1 + TI)^5} + \frac{P6 - C2}{(1 + TI)^6} + \frac{P7}{(1 + TI)^7} \\ + \frac{P8}{(1 + TI)^8} + \frac{P9 - C3}{(1 + TI)^9} + \frac{P10}{(1 + TI)^{10}} + \frac{P11}{(1 + TI)^{11}} + \frac{P12 - C4}{(1 + TI)^{12}}$$

El valor equivalente de la inflación para el año 2021 según el banco de la república de Colombia es de 3.03%, reemplazando así en la ecuación:

$$VP = \frac{37.431.200}{(1 + 3.03\%)^1} + \frac{39.800.000}{(1 + 3.03\%)^2} + \frac{35.300.000 - 14.500.000}{(1 + 3.03\%)^3} + \frac{27.900.000}{(1 + 3.03\%)^4} \\ + \frac{36.730.500}{(1 + 3.03\%)^5} + \frac{30.780.500 - 17.453.300}{(1 + 3.03\%)^6} + \frac{29.119.650}{(1 + 3.03\%)^7} + \frac{27.458.800}{(1 + 3.03\%)^8} \\ + \frac{25.797.950 - 20.540.000}{(1 + 3.03\%)^9} + \frac{24.137.100}{(1 + 3.03\%)^{10}} + \frac{22.476.250}{(1 + 3.03\%)^{11}} \\ + \frac{20.815.400 - 19.456.900}{(1 + 3.03\%)^{12}}$$

$$VP = \$301.847.954$$

Teniendo en cuenta el Valor Presente Neto y con la intención de hacer una proyección a un tiempo determinado de la producción de la máquina y poder evaluar mediante el indicador financiero CAUE (Costo Anual Uniforme Equivalente) se trasladará el valor del VPN a un periodo de 10 Años siendo este la vida útil de maquinarias y equipos financieramente por su valor en libros. Realizando así el siguiente diagrama de flujo a este periodo de tiempo.

La ecuación mediante cual se calculará el CAUE es la siguiente:

$$CAUE = -CAO - \frac{C}{\left(\frac{1 - (1 + i)^{-n}}{i}\right)} + \frac{VS}{\left(\frac{(1 + i)^n + 1}{i}\right)}$$

Donde:

CAUE = Costo Anual Uniforme Equivalente

CAO = Costo Anual de Operación

C = Costo Inicial

VS = Valor de salvamento

i = Tasa de Interés

n = Numero de periodos de la vida útil

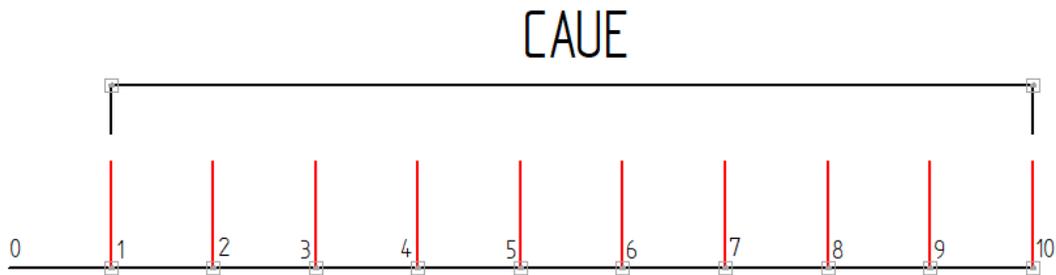
Dado que el proyecto no es nuevo no contiene un valor de salvamento al finalizar el periodo, el calor del costo inicial viene siendo la proyección del valor presente neto (VPN) presentada anteriormente y el Costo Anual de Operación es el valor mostrado en el apartado 7.1 siendo los costos reales de operación al finalizar el año 2019. Reemplazando en la ecuación así:

$$CAUE = -\$92.720.000 - \frac{\$301.847.954}{\left(\frac{1 - (1 + 3.03\%)^{-10}}{3.03\%}\right)}$$

$$CAUE = -\$128.159.986$$

Figura 30.

Costo anual uniforme equivalente para el flujo de caja antes de implementación



Nota. Se representa el flujo de efectivo para la evaluación de costo anual uniforme equivalente de la empresa Maderas del Oriente para el periodo de tiempo estudiado.

10.2. Costos del mantenimiento después de implementar el plan de mantenimiento

Una vez definidos los indicadores de los costos asociados a la productividad del aserradero previo a la implementación del plan de mantenimiento, se procede a realizar el análisis de los nuevos gastos e ingresos asociados a la producción implementando las actividades de mantenimiento preventivo.

Se definen los costos y periodicidades asociadas a la implementación del plan de mantenimiento así:

Tabla 71.*Costos asociados a las actividades de mantenimiento*

Periodicidad	Cosotos de mantenimineto preventivo	Nomenclatura
Enero	\$ 2.345.632	G1
Febrero	\$ 3.348.232	G2
Marzo	\$ 6.345.600	G3
Abril	\$ 2.946.456	G4
Mayo	\$ 3.046.440	G5
Junio	\$ 11.345.649	G6
Julio	\$ 3.246.408	G7
Agosto	\$ 3.346.392	G8
Septiembre	\$ 6.246.376	G9
Octubre	\$ 3.546.360	G10
Noviembre	\$ 3.646.344	G11
Diciembre	\$ 14.202.836	G12

Nota. Se asigna la nomenclatura relacionada a las ecuaciones,

Las actividades de mantenimiento a realizar están definidas en el capítulo 5 teniendo en cuenta sus periodicidades de Mensual, Trimestral y Semestral con sus costos asociados.

Para realizar un análisis equivalente en las mismas condiciones de uso se tendrán en cuenta los mismos ingresos de producción con respecto a la no implementación del plan de mantenimiento mostrado con anterioridad así:

Tabla 72.

Ingresos mensuales de MDO

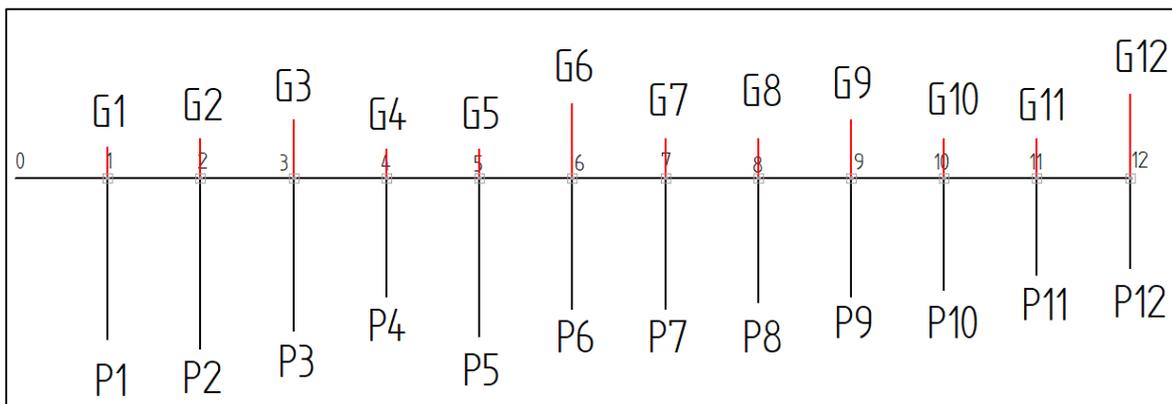
Mes	Producido	Nomenclatura
Enero	\$ 37.431.200	P1
Febrero	\$ 39.800.000	P2
Marzo	\$ 35.300.000	P3
Abril	\$ 27.900.000	P4
Mayo	\$ 36.730.500	P5
Junio	\$ 30.780.500	P6
Julio	\$ 29.119.650	P7
Agosto	\$ 27.458.800	P8
Septiembre	\$ 25.797.950	P9
Octubre	\$ 24.137.100	P10
Noviembre	\$ 22.476.250	P11
Diciembre	\$ 20.815.400	P12

Nota. La empresa brinda los ingresos mensuales del año 2020

Análogamente con la metodología de la no implementación del plan de mantenimiento, una vez identificados los costos, sus periodos de frecuencia y las ganancias producidas anuales procedemos a desarrollar el análisis por medio del modelo del flujo de efectivo que se muestra a continuación

Figura 31.

Flujo de efectivo para MDO con el plan de mantenimiento



Nota. Se representa el flujo de efectivo con sus costos e ingresos de la empresa MDO luego de implementación del plan de mantenimiento.

Se utiliza el indicador financiero del VALOR PRESENTE NETO para trasladar todos los costos y producidos proyectados a un año en un único valor equivalente a hoy mediante la siguiente ecuación:

$$VP = \frac{\sum \text{Flujo de efectivo en el periodo}}{(1 + TI)^n}$$

Donde el TI es la tasa de interés equivalente que es el valor de la inflación anual como valor representativo y n el número de periodos que se traslada el flujo de efectivo al periodo cero quedando así la siguiente ecuación:

$$VP = \frac{P1 - G1}{(1 + TI)^1} + \frac{P2 - G2}{(1 + TI)^2} + \frac{P3 - C1}{(1 + TI)^3} + \frac{P4 - G4}{(1 + TI)^4} + \frac{P5 - G5}{(1 + TI)^5} + \frac{P6 - G6}{(1 + TI)^6} + \frac{P7 - G7}{(1 + TI)^7} \\ + \frac{P8 - G8}{(1 + TI)^8} + \frac{P9 - G9}{(1 + TI)^9} + \frac{P10 - G10}{(1 + TI)^{10}} + \frac{P11 - G11}{(1 + TI)^{11}} + \frac{P12 - G12}{(1 + TI)^{12}}$$

El valor equivalente de la inflación como la tasa interna de oportunidad (TIO) para el año 2021 según el banco de la república de Colombia es de 3.03%, reemplazando así en la ecuación:

$$VP = \frac{37.431.200 - 2.345.632}{(1 + 3.03\%)^1} + \frac{39.800.000 - 3.348.232}{(1 + 3.03\%)^2} + \frac{35.300.000 - 6.345.600}{(1 + 3.03\%)^3} \\ + \frac{27.900.000 - 2.946.456}{(1 + 3.03\%)^4} + \frac{36.730.500 - 3.046.440}{(1 + 3.03\%)^5} \\ + \frac{30.780.500 - 11.347.649}{(1 + 3.03\%)^6} + \frac{29.119.650 - 3.246.408}{(1 + 3.03\%)^7} \\ + \frac{27.458.800 - 3.346.392}{(1 + 3.03\%)^8} + \frac{25.797.950 - 6.246.376}{(1 + 3.03\%)^9} \\ + \frac{24.137.100 - 3.546.360}{(1 + 3.03\%)^{10}} + \frac{22.476.250 - 3.646.344}{(1 + 3.03\%)^{11}} \\ + \frac{20.815.400 - 14.202.836}{(1 + 3.03\%)^{12}}$$

$$VP = \$250.660.944$$

Teniendo en cuenta el Valor Presente Neto y con la intención de hacer una proyección a un tiempo determinado de la producción de la máquina y poder evaluar mediante el

indicador financiero CAUE (Costo Anual Uniforme Equivalente) se trasladará el valor del VPN a un periodo de 10 Años siendo este la vida útil de maquinarias y equipos financieramente por su valor en libros. Realizando así el siguiente diagrama de flujo a este periodo de tiempo.

La ecuación mediante cual se calculará el CAUE es la siguiente:

$$CAUE = -CAO - \frac{C}{\left(\frac{1 - (1 + i)^{-n}}{i}\right)} + \frac{VS}{\left(\frac{(1 + i)^n + 1}{i}\right)}$$

Donde:

CAUE = Costo Anual Uniforme Equivalente

CAO = Costo Anual de Operación

C = Costo Inicial

VS = Valor de salvamento

i = Tasa de Interés

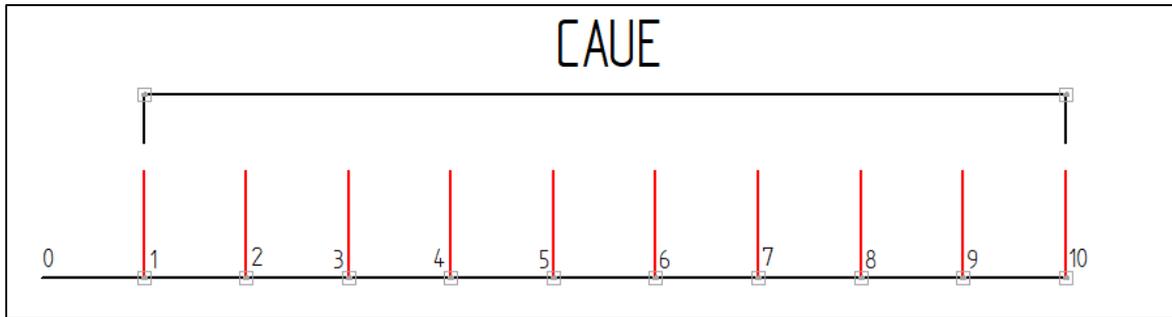
n = Numero de periodos de la vida útil

Dado que el proyecto no es nuevo no contiene un valor de salvamento al finalizar el periodo, el calor del costo inicial viene siendo la proyección del valor presente neto (VPN) presentada anteriormente y el Costo Anual de Operación es el valor mostrado en el apartado 7.1 siendo los costos reales de operación al finalizar el año 2019. Reemplazando en la ecuación así:

$$CAUE = -\$92.720.000 - \frac{\$250.660.944}{\left(\frac{1 - (1 + 3.03\%)^{-10}}{3.03\%}\right)}$$

Tabla 73.

Costo anual uniforme equivalente para el flujo de efectivo después de implementación



Nota. Se representa el flujo de efectivo para la evaluación de costo anual uniforme equivalente de la empresa Maderas del Oriente luego de implementar el plan de mantenimiento para el periodo de tiempo estudiado.

10.3. Análisis de Indicadores

Por el lado del VPN siempre y cuando el valor de este sea mayor a 0 se considera viable realizar el proyecto, en este caso tanto antes como después de la implementación son mayores a cero por ende se recomiendan ambas metodologías sin embargo con la implementación del plan de mantenimiento este valor es menor con una relación más pequeña a gastos con una mejor rentabilidad

Y por el lado del CAUE se tiene en cuenta el indicador que más positivo se obtenga siendo este el caso del CAUE de la implementación del plan de mantenimiento preventivo, haciendo viable la implementación no solo del proyecto sino de la ejecución del plan de mantenimiento preventivo para las maquinas en sitio.

CONCLUSIONES

La empresa MADERAS DEL ORIENTE E.M.J. no tiene una cultura de mantenimiento, solo entra en labores de mantenimiento cuando sus equipos sufren averías

Al caracterizar cada uno de los equipos de corte y rectificado, se dedujo que estos equipos a pesar de tener más de 20 años de operación, con la aplicación de un mantenimiento muy básico pueden seguir operando a un nivel aceptable

La determinación de la metodología AMEF es la que más se adecua a las condiciones del proceso productivo de la compañía

La posible implementación del proyecto afianzaría las prácticas de mantenimiento actuales y daría la posibilidad de estructurar el proceso productivo involucrando mucho más a los operarios dentro de las labores diarias de mantenimiento y permitiendo que se puedan capacitar para cumplir con el uso y tratamiento adecuado de los equipos.

Los valores de criticidad y de NPR son de alta relevancia para reconocer la importancia de la implementación del plan y evitar que los eventos se produzcan en los equipos más imprescindibles para la compañía.

La implementación de la lista de actividades de inspección y los formatos de recolección de datos permiten que la empresa empiece con su proceso de recolección de información y pueda mejorar el proceso productivo involucrando mucho más el mantenimiento preventivo planificado.

Por medio del análisis de costos, se logró establecer que la implementación del proyecto es viable y puede aportar a la empresa beneficios económicos a mediano plazo.

BIBLIOGRAFIA

- [1] M. Zegarra, "Indicators for heavy equipment maintenance management" *Indicators management* , vol.19,no 1, pp. 28-36, abril, 2016, doi: <http://dx.doi.org/10.21503/CienciayDesarrollo.2016.v19i1.02> [Acceso: mayo 19, 2012]
- [2] I. M. Por, Torres and I. K. Paz, "Metodos de recolección de datos para una investigación". 2019, Disponible en: <http://biblioteca.udgvirtual.udg.mx/jspui/handle/123456789/2817> [Acceso: mayo 25,2021]
- [3] J. Llorente, "Análisis de modos de falla y efecto AMFE AMFE," [En línea]. https://www.academia.edu/12632161/AMFE_AMFE. [Acceso: mayo 25,2021]
- [4] N. Aguirre-Duarte and N. Aguirre-Duarte, "Diagrama de pareto", vol.1 ,no 1, pp. 11-18, 2019, Disponible: https://natlib-primo.hosted.exlibrisgroup.com/primo-explore/search?query=&any,contains,9918808870302836&tab=catalogue&search_scope=NLNZ&vid=NLNZ&offset=0. [Acceso: mayo 19, 2012]
- [5] Asociación Colombiana de Ingenieros ACIEM Cundinamarca" Manual de referencia de tarifas en ingeniería" Contratación de servicios profesionales, 3ª Edición Agosto de 2015 [En línea] <https://aciem.org/manual-de-referencia/>. [Acceso 12 junio,2021]
- [6] Instituto Colombiano de normas técnicas y certificaciones. " Guía técnica colombiana GTC 24 gestión ambiental de residuos sólidos. guía para la separación en la Fuente" 2009.
- [7] Instituto Colombiano de normas técnicas y certificaciones. "Guía técnica colombiana GTC 45 para la identificación de los peligros y la valoración de los riesgos en seguridad y salud ocupacional", Bogotá D.C, Colombia, 2010
- [8] F. Antonio and P. Rondón, "Conceptos generales en la gestión del mantenimiento industrial" [en línea] <https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/33276/9789588477923.pdf?sequence=4&isAllowed=y>. [Acceso, marzo 14,2021]
- [9] F.Perez, "Procedimiento de acciones preventivas", [en línea] <http://www.inin.gob.mx/transparencia/doctosnormateca/P.SGC.DG-06,%20Rev%203%20Acciones%20preventivas.pdf> [Acceso ,marzo 16,2021]
- [10] *Manual AMEF Análisis de modo y efecto de fallas potenciales* [Disponible] <https://www.gestiopolis.com/manual-amef-analisis-de-modo-y-efecto-de-fallas-potenciales/>. [Acceso ,febrero 20,2021]
- [11] C.Botero "Manual de Mantenimiento ." Grupo de Publicaciones SENA Digeneral. [En línea] Disponible en:

- https://repositorio.sena.edu.co/sitios/fedemetal_manual_mantenimiento/# [Acceso ,mayo 20,2021]
- [12] R. Aguilar O ,Rocío T ,Arcique, D, Magaña, "Análisis de modos de falla, efectos y criticidad (AMFEC) para la planeación del mantenimiento empleando criterios de riesgo y confiabilidad ," Disponible en:
<https://www.redalyc.org/pdf/482/48215094003.pdf> [Acceso ,marzo 22,2021]
- [13] S. García Garrido, "Ingeniería Del Mantenimiento: Manual Práctico Para La Gestión Eficaz Del Mantenimiento. 2009.Disponible: <https://uamerica.edu.co/login?url=http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=cat05095a&AN=una.920931&lang=es&site=eds-live&scope=site>. [Acceso, junio 2,2021]
- [14] Sin,I. H. and B. D. Chung,."Bi-objective optimization approach for energy aware scheduling considering electricity cost and preventive maintenance using genetic algorithm." *Journal of Cleaner Production*. Jan 20,2020 Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118869> [Acceso ,Enero 10,2021]
- [15. J. A. Aranguren Medina, "Implantación exitosa de TPM en la industria colombiana," 2015. Disponible en: https://explore.openaire.eu/search/publication?articleId=od_____2653::3801f0a75448f7aecf1835dc10fad433. [Acceso, Febrero 12,2021]
- [16] H. Huacuz, "Determinación de la frecuencia óptima de mantenimiento preventivo" 2003 Dsponible en: <https://www.virtualpro.co/biblioteca/determinacion-de-la-frecuencia-optima-de-mantenimiento-preventivo-un-enfoque-practico> [Acceso, Enero 2,2021]
- [17] J. Bernardo, "Haciendo que el RCM Trabaje para su empresa," [En línea]. Disponible en:
<http://www.mantenimientoplanificado.com/jose%20bernardo/rcm/Haciendo%20que%20el%20RCM%20trabaje%20para%20su%20empresa.PDF> [Acceso ,Enero 15,2021]
- [18] E. Gutierrez .Desarrollo e implementación de un plan de mantenimiento planificado para las maquinas de la empresa MANRIQUE LOSADA Y COMPAÑIA S.A.S., tesis pre. Facultad de Ingenierias, Fundación Universidad de America, Bogota, Colombia 2020.
- [19] L. Jiménez, Desarrollo de un plan de mantenimineto para la trituradora móvil 1012T de la empresa Dismet S.A.S., tesis pre. Facultad de Ingenierias, Fundación Universidad de America, Bogota, Colombia 2020.
- [20] Revista El Mueble y La Madera "Mantenimiento Industrial":[En línea] Disponible en: <https://www.yumpu.com/es/document/read/34734805/mantenimiento-industrial-revista-el-mueble-y-la-madera>. [Acceso, Abril 12,2021]
- [21] Instituto Colombiano de normas tecnicas y certificaciones. " Guia tecnica colombiana GTC 62 seguridad de funcionamiento y calidad de servicio" 1999

[22] Manual Estructuración del Trabajo de Grado. Fundación Universidad de América, 2021. [PDF]