

**Propuesta de Mejora en plan de Mantenimiento de la Máquina Granalladora Bajo
Esfuerzo en la Empresa IMAL S.A.**

Carolina Esther Valle Barraza, Daniel Arturo Espitia Rodríguez y Luis David Daza
Hernández

Dirección de Posgrados, Universidad ECCI, Especialización en Gerencia de
Mantenimiento

Msc. Ing. Miguel Urian Tinoco

Bogotá D.C octubre 2020

Hoja de Jurados

Dedicatoria

Con inmenso agradecimiento, amor, alegría y esperanza, dedico este logro a quienes de una u otra forma han sido participe de él, a Dios por cada cosa que me permite y por su misericordia en mi vida; a mis padres Anis Barraza y Leandro Valle por sus oraciones y amor; A toda mi familia por su apoyo incondicional.

Es de total satisfacción dedicarles mis triunfos, los hago suyos también. “2 Timoteo 1:7”

Carolina Esther Valle Barraza

A mis esposa e hijos que son el motor que me alienta cada día, a mis padres que son mi más grande apoyo y a Dios por las bendiciones que me ha dado.

Daniel Arturo Espitia Rodríguez

A mis padres que siempre me han brindado su apoyo y han tenido una palabra de aliento, en los momentos más críticos el cual se han convertido en mi ejemplo de vida demostrándome su fortaleza y templanza.

Luis David Daza Hernández

Agradecimientos

Agradecemos en primera instancia a Dios por la oportunidad de culminar esta etapa de manera satisfactoria; a nuestros profesores por su dedicación, enseñanzas y apoyo en todo momento a lo largo de la especialización; a nuestra alma mater, la Universidad ECCI, por acogernos e impulsarnos en la realización de este reto. Agradecemos a los compañeros de este equipo de trabajo de grado por su compromiso, motivación y trabajo en grupo y al resto de nuestros colegas de cada clase. ¡Gracias!

Glosario

IMAL SA: Industrias Metálicas Asociadas.

RCM: Mantenimiento centrado en confiabilidad.

TPM: Mantenimiento productivo total.

FMEA: Análisis de modo de falla y efecto.

MTBF: Tiempo medio entre fallos.

MTTR: Tiempo para reparar un fallo.

Mantenibilidad: Capacidad de un determinado componente, con ciertas circunstancias de uso, para mantenerse realizando una requerida.

Taxonomía: Clasificación u ordenación en grupos de cosas que tienen unas características comunes.

Estrategias de Mantenimiento: se refiere a determinado tipo de mantenimiento y su modo de implementación.

Introducción

Este trabajo ha sido realizado con el fin de poner en la mesa una propuesta de mejora para el plan de mantenimiento que actualmente se implementa en la empresa IMAL SA para la máquina granalladora bajo esfuerzo, poder dar nuestro aporte en aras de mejorar la operación manufacturera en la que participa el equipo mencionado, basados en los conocimientos adquiridos en esta especialización. Aplicando lo aprendido se pretende definir la estrategia de mantenimiento más conveniente de usar, para garantizar mayor disponibilidad, disminuir tiempos muertos y tiempos de paradas y además certificar una operación eficiente y eficaz de la máquina granalladora bajo esfuerzo.

Resumen

El presente proyecto fue realizado con la finalidad de elaborar un plan de mantenimiento basado en RCM enfocado en mejorar la confiabilidad y disponibilidad de la máquina granalladora Bajo Esfuerzo, con el fin de disminuir las horas de paradas, aumentar su disponibilidad, disminuir fallas, disminuir los costos de mantenimiento y aumentar su productividad.

La propuesta parte con la realización y organización de la taxonomía de activos, se continua con el análisis de criticidad donde se concluye que la máquina granalladora es el activo más crítico de la planta, conseguimos el histórico de fallas de la máquina que consta de 20 datos adquiridos durante el año inmediatamente anterior, se revisa el plan de mantenimiento actual de dicha máquina, posterior se realiza un AMEF determinando nuevas tareas para ese plan. Paralelamente a todo lo anterior se realiza una auditoria al personal vinculado con la máquina para cerrar el ciclo y estudiar tanto la parte operativa del proceso como el recurso humano.

Palabras Claves

RCM, máquina granalladora bajo esfuerzo, plan de mantenimiento, AMEF, auditoría, confiabilidad, disponibilidad.

Abstract

This project was carried out with the purpose of developing a maintenance plan based on RCM focused on improving the reliability and availability of the Low Effort shot blasting machine, in order to reduce downtime, increase its availability, reduce failures, decrease maintenance costs and increase your productivity.

The proposal starts with the realization and organization of the asset taxonomy, it continues with the criticality analysis where it is concluded that the shot blasting machine is the most critical asset of the plant, we get the history of machine failures that consists of 20 data acquired during the immediately previous year, the current maintenance plan of said machine is reviewed, later an FMEA is carried out determining new tasks for that plan. Parallel to all of the above, an audit is carried out on the personnel linked to the machine to close the cycle and study both the operative part of the process and the human resource.

Keywords

RCM, low effort shot blasting machine, maintenance plan, FMEA, audit, reliability, availability.

Contenido

1	Título de la Investigación	15
2	Problema de Investigación.....	15
2.1	Planteamiento del Problema	16
2.2	Sistematización del Problema	16
3	Objetivos.....	17
3.1	Objetivo General	17
3.2	Objetivos Específicos	17
4	Justificación y Delimitación	18
4.1	Justificación	18
4.2	Delimitación.....	20
4.3	Limitaciones.....	21
5	Marcos de Referencia	22
5.1	Estado del Arte.....	22
5.1.1	Estado del Arte Nacional.....	22
5.1.2	Estado del Arte Internacional	29
5.2	Marco Teórico.....	33
5.2.1	Mantenimiento y sus Generalidades	33
5.2.2	Funciones del Mantenimiento Industrial	35

5.2.3	Tipos de Mantenimiento	35
5.2.4	Mantenimiento como Cliente Interno de Producción	39
5.2.5	Análisis RAM	40
5.2.6	AMEF (análisis de modo y efecto de falla).....	41
5.2.7	Mantenimiento en equipos de granallado	42
5.3	Marco normativo y legal.....	43
6	Marco Metodológico	45
6.1	Tipo de Investigación	45
6.1.1	Fuentes obtención de información	45
6.1.2	Instrumentos de recolección de información.....	47
6.1.3	Metodología de la Investigación	47
6.1.4	Recopilación de la Información.....	48
6.2	Análisis de la Información.....	57
6.2.1	Matriz de Criticidad	57
6.2.2	AMEF.....	62
6.2.3	Auditoría.....	70
6.3	Propuesta de Solución	75
6.3.1	AMEF.....	75
6.3.2	Auditoría.....	82
6.3.3	Análisis RAM	83

7	Resultados Alcanzados y Esperados	87
7.1	Resultados alcanzados	87
7.2	Resultados esperados.....	87
8	Análisis Financiero	89
9	Conclusiones y Recomendaciones	92
9.1	Conclusiones	92
9.2	Recomendaciones.....	93
10	Bibliografía.....	94

Listado de Tablas

Tabla 1	44
Tabla 2	51
Tabla 3	52
Tabla 4	53
Tabla 5	54
Tabla 6	55
Tabla 7	57
Tabla 8	76
Tabla 9	77
Tabla 10	78
Tabla 11	81

Listado de Ilustraciones

Ilustración 1	18
Ilustración 2	19
Ilustración 3	20
Ilustración 4	34
Ilustración 5	39
Ilustración 6	46
Ilustración 7	49
Ilustración 8	50
Ilustración 9	56
Ilustración 10	62
Ilustración 11	63
Ilustración 12	64
Ilustración 13	65
Ilustración 14	66
Ilustración 15	68
Ilustración 16	68
Ilustración 17	69
Ilustración 18	71
Ilustración 19	72
Ilustración 20	73
Ilustración 21	74
Ilustración 22	75

Ilustración 23	84
Ilustración 24	85
Ilustración 25	85
Ilustración 26	86
Ilustración 27	89
Ilustración 28	90
Ilustración 29	91

1 Título de la Investigación

Propuesta de mejora en plan de mantenimiento en la máquina de granallado bajo esfuerzo de la empresa IMAL S.A.

2 Problema de Investigación

Industrias Metálicas Asociadas IMAL S.A. es una empresa dedicada al diseño y fabricación de resortes helicoidales, barras estabilizadoras, resortes de ballesta y resortes parabólicos para el sector automotor con más de 60 años de trayectoria en la industria, y sus principales mercados de equipos original, reposición nacional y reposición exportación. Uno de sus principales productos son los resortes parabólicos, este tipo de resortes abarcan el 20% de la producción total de la empresa y su principal demanda es el mercado de equipo original (ensambladoras) como HINO Colombia y SOFASA Brasil. Para el proceso productivo de este tipo de resorte se cuenta en la empresa con maquinaria especializada, como la máquina para el proceso de granallado bajo esfuerzo. El granallado es una técnica de tratamiento superficial que aumenta la resistencia a la fatiga en los resortes, en términos generales el granallado es un bombardeo de partículas abrasivas a alta velocidad que al impactar con la pieza tratada aumenta sus características de durabilidad, pero no solo impacta al producto, también todo lo existente dentro de la cámara de granallado, ocasionando deterioros de todas sus partes y desgastes que llevan a fallas repentinas y reparaciones no programadas que deterioran día a día la máquina, generando un mayor impacto sobre todo por la dificultad de adquirir una máquina de este tipo y la dificultad de reemplazarla debido a su alto costo. Un factor importante a tener en cuenta al no prevenir los desgastes asociados al proceso son los riesgos causados, como la proyección de granalla (partícula abrasiva) hacia el exterior de la máquina impactando al personal operativo pudiendo ocasionar incidentes y hasta accidentes laborales como lesiones en tejidos blandos del

cuerpo humano (ojos, labios), la acumulación de granalla en los senderos de tránsito peatonal puede generar riesgo de caída y la contaminación y riesgo de incendio por acumulación de polvo metálico residuo generado en el proceso de granallado.

2.1 Planteamiento del Problema

Tomando como referencia la criticidad de la máquina de granallado bajo esfuerzo en el proceso productivo y los riesgos asociados a la incorrecta estrategia actual de mantenimiento se presenta el siguiente interrogante para lograr alinear el presente proyecto con los requerimientos planteados en la descripción del problema.

¿Cómo la empresa IMAL puede garantizar la disponibilidad de la máquina granalladora, ofrecer una operación segura y además evitar pérdidas de producción, riesgos de incidentes y accidentes de trabajo y la disminución en la contaminación ambiental interna?

2.2 Sistematización del Problema

¿Cuáles estrategias de mantenimiento utilizadas en la industria manufacturera son las más convenientes para garantizar una mayor disponibilidad de la máquina granalladora bajo esfuerzo?

¿Qué estándares de operación se implementarán para identificar los riesgos asociados al proceso, las oportunidades de mejora y así establecer un plan de mejora continua?

¿Cómo evitar tiempos muertos operativos para garantizar estabilidad al proceso productivo y por ende disminuir las pérdidas de producción y tiempos de entrega?

3 Objetivos

3.1 Objetivo General

Realizar una propuesta de mejora del plan de mantenimiento para la máquina granalladora bajo esfuerzo de la empresa IMAL mediante un análisis de la situación actual y la investigación de una nueva estrategia de mantenimiento que permita garantizar la disponibilidad del equipo, disminuir los riesgos de accidente y contaminación ambiental.

3.2 Objetivos Específicos

Realizar un diagnóstico de la situación actual para establecer las condiciones de la máquina de granallado bajo esfuerzo y los riesgos, basados en el historial de datos e información y realizando el análisis por medio de la herramienta de diagnóstico.

Analizar resultados de la investigación de normatividad y de información técnica sobre las diferentes estrategias de mantenimiento nacional e internacional de maquinaria para el proceso de granallado, por medio de bases de datos para precisar las estrategias y metodologías.

Definir la propuesta de la estrategia de mantenimiento para la máquina de granallado bajo esfuerzo que esté acorde con las necesidades inicialmente planteadas, partiendo de la investigación realizada y de los datos de la situación actual, concretar los nuevos planes de mantenimiento y los recursos requeridos para cumplirlos.

4 Justificación y Delimitación

4.1 Justificación

El objetivo de un departamento de mantenimiento en una empresa es asegurar la disponibilidad y confiabilidad de las máquinas para el proceso productivo, la correcta implementación de una estrategia de mantenimiento garantiza la optimización y la mejora en los procesos, la reducción de costos y la operación segura. En IMAL S.A. están implementadas dos estrategias de mantenimiento, el mantenimiento correctivo y el mantenimiento preventivo para todos los equipos de la compañía, la eficacia de dichas estrategias es variable respecto a la complejidad y la operación de cada máquina, para el proceso de granallado se cuenta con tres máquinas, dos de origen americano y una de origen chino, esta última a pesar de ser la más reciente es la que en la actualidad genera más tiempo de parada y por ende una baja disponibilidad, como se puede observar en la figura #1 la disponibilidad de la máquina de granallado bajo esfuerzo ha disminuido a través del tiempo.

Ilustración 1

Disponibilidad del Equipo



Nota: Los datos tomados para saber la disponibilidad del equipo se tomaron de los tiempos muertos no planeados Fuente: propia

Para evidenciar la importancia de la operación de granallado y en especial de la máquina de granallado bajo esfuerzo se realizó una matriz de criticidad donde se evaluaron características como la seguridad, la calidad, producción, la disponibilidad y como se muestra en la figura #2 esta máquina es la de mayor relevancia.

Ilustración 2

Matriz de Criticidad

FRECUENCIA	5	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110	115	120	125
	4	20	24	28	32	36	40	44	48	52	56	60	64	68	72	76	80	84	88	92	96	100
	3	15	18	21	24	27	30	33	36	39	42	45	48	51	54	57	60	63	66	69	72	75
	2	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40	42	44	46	48	50
	1	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	
	CONSECUENCIAS																					

CRITICIDAD ALTA
CRITICIDAD MEDIA
CRITICIDAD BAJA

60	∩	VALOR CRITICIDAD	∩	125
30	∩	VALOR CRITICIDAD	<	60
5	∩	VALOR CRITICIDAD	<	30

Nota: Esta matriz fue diseñada para saber en qué rango de criticidad esta la máquina de granallado Bajo Esfuerzo Fuente: Autor propio

Ilustración 3

Criticidad por Equipos

ANÁLISIS DE CRITICIDAD DE LAS MÁQUINAS DE INDUSTRIAS METÁLICAS IMAL S.A.								
Área	MANTENIMIENTO							
Metodo	Se realiza un relación matemática multiplicando la frecuencia de fallas por la sumatorias de las consecuencias y despues de esto se cruza el resultado con la matriz de criticidad							
Frecuencia	Rango de Fallas en un tiempo determinado							
Consecuencias	Impacto a la calidad + Producción + Costos de Mantenimiento + Impacto Seguridad Industrial + Impacto Ambiental							
CÓDIGO SAP	MÁQUINA	FRECUENCIA	IMPACTO A LA CALIDAD	PRODUCCIÓN	COSTOS DE MANTENIMIENTO	IMPACTO SEGURIDAD INDUSTRIAL	IMPACTO AMBIENTAL	VALOR CRITICIDAD
10002818	GRANALLADORA BAJO ESFUERZO	5	3	4	5	4	4	100
10002815	GRANALLADORA OXFORD	5	2	4	5	3	4	90
10002886	GRANALLADORA HELICOIDALES	5	3	4	5	2	4	90
10002816	EXTRACTOR POLVO GRANALLADORA OXFORD	4	4	4	4	4	5	84
10002924	BOMBA CIRCULACION ACEITE CELDA DAEWOON	2	3	2	2	2	33	84
10002812	CELDA DAEWON	4	4	3	4	4	5	80
10002784	MAQUINA PARABÓLICAS	4	4	4	4	3	4	76
10002798	SEMIAUTOMÁTICA DE OJOS SDGT	4	4	4	3	4	4	76
10002881	COLA MARRANO AUTOMÁTICA	4	4	4	4	3	4	76
10002805	HORNO AUSTENIZADO OXFORD	4	4	4	4	2	4	72
10002879	HORNO TEMPLE TKF	4	4	4	4	3	3	72
10002862	HORNO SECADO PINTURA ELECTROSTÁTICA	4	4	4	4	1	4	68
10002863	HORNO POLIMERIZADO PINTU.ELECTROSTÁTICA	4	4	4	4	1	4	68
10002885	PRENSA PRESET HELICOIDALES	3	5	4	4	4	5	66
10002910	ENFRIADOR DE AGUA CHILLER No 1	4	3	4	3	1	5	64
10002911	ENFRIADOR DE AGUA CHILLER No 2	4	3	4	3	1	5	64
10002880	ENROLLADORA GOGAN	3	4	4	4	4	5	63
10002883	HORNO REVENIDO HELIC.	3	5	5	5	2	4	63
10002889	PROBITA 1 HELICOIDALES	3	5	4	4	3	5	63
10002808	DOBLADORA OXFORD	3	4	4	4	3	5	60
10002856	PROBAT BALLESTAS	3	4	4	3	4	5	60
10002861	LÍNEA PINTURA ELECTROSTÁTICA	3	4	4	5	2	5	60
10002882	TANQUE TEMPLE HELICOIDALES	3	5	4	3	3	5	60
10002887	EXTRACTOR POLVO GRANALLADORA HELICOIDAL	4	1	4	4	2	4	60
10002901	COMPRESOR SULLAIR	3	4	4	5	3	4	60
10002902	COMPRESOR KAESER	3	4	4	5	3	4	60

Nota: Estos datos se tomaron de todos los equipos utilizados en la planta Fuente: Autor propio

Tomando como referencia la información presentada se evidencia la importancia de plantear una nueva estrategia de mantenimiento que permita mejorar la disponibilidad de la máquina y garantizar una operación segura para los operarios y el medio ambiente.

4.2 Delimitación

El presente proyecto de investigación se realizará en las instalaciones de la empresa Industrias Metálicas Asociadas IMAL S.A. ubicada en Bogotá en la calle 22B # 127-6 en la localidad de Fontibón, en el área de granallado específicamente en la máquina de granallado bajo esfuerzo, de origen chino marca Shandong General Technology co. Ltd., el periodo en el que se desarrollara es entre los meses de junio y noviembre del año 2020.

4.3 Limitaciones

En el área de mantenimiento de la empresa se cuenta con un grupo técnico asignado al proceso de mantenimiento preventivo, pero no es suficiente para cubrir con el 100% de las actividades generadas para todos los equipos, ya que en total suman 90 equipos por realizarles mantenimiento.

La empresa no cuenta con un presupuesto que permita, a corto plazo, la compra de un equipo nuevo para tener una alternativa, cuando presente una falla la máquina existente.

El trabajo tanto operativo como administrativo del área de mantenimiento se hace basado en el día a día es totalmente reactivo no se tiene destinado un tiempo para realizar análisis de la gestión propia del proceso.

5 Marcos de Referencia

5.1 Estado del Arte

Actualmente el tema de gestión de activos, mantenimiento y confiabilidad presentan un impacto a nivel organizacional muy importante y sea cual sea el sector industrial al que lo queramos aplicar el mantenimiento (preventivo) es de suma relevancia. a continuación, referenciaremos una serie de trabajos y proyectos que nos ilustraran en el tema de interés:

5.1.1 Estado del Arte Nacional

5.1.1.1 Aplicación de RCM como estrategia de implementación del mantenimiento predictivo para la metodología TPM.

En el año 2018 el ingeniero Jhonny Maya elabora para si titulación de maestría en la Universidad Nacional la tesis “Aplicación de RCM como estrategia de implementación del mantenimiento predictivo para la metodología TPM” este proponía el desarrollo del mantenimiento basado en confiabilidad RCM usando como estrategia el TPM, puntualmente, la implementación del mantenimiento preventivo, con lo que esperaban darle un nuevo rumbo a las actividades de mantenimientos preventivos y programados actuales con el mantenimiento basado en condición. A lo que sumaron un modelo informático, sistemático e independiente del software actual de la empresa donde se evidenciaba visualmente el comportamiento y seguimiento de los equipos mediante graficas de confiabilidad. Lo que se esperaba era que al implementar el TPM complementaba con el RCM se obtuviera una gestión del mantenimiento completa, ya que en el complemento de ambas se abarcaría tanto el área de producción con el TPM como la identificación de los modos de fallas con el RCM además de la técnica de monitoreo de equipos críticos según el FMEA, con todo lo anterior, se logró una mejora progresiva en la disponibilidad

general de la línea de producción intervenida, analizando dichos resultados según curvas de confiabilidad de Weibull e indicadores. (Velásquez & Alexander, 2019)

5.1.1.2 Diseño de un plan de mejora de la gestión de mantenimiento para equipos críticos de fábrica basado en la filosofía TPM aplicando herramientas de simulación en un ingenio azucarero.

En el año 2019 los estudiantes Bueno y Rojas elaboran para la Universidad del Valle un trabajo de investigación titulado “Diseño de un plan de mejora de la gestión de mantenimiento para equipos críticos de fábrica basado en la filosofía TPM aplicando herramientas de simulación en un ingenio azucarero” trabajo donde sustentaban un programa de mejora para la gestión de mantenimiento basado en TPM para equipos críticos de in ingenio azucarero, para lo que proceden a realizar inicialmente un diagnostico general del sistema, recopilar información y datos históricos, a partir de los resultados de esto se eligen los aspectos más críticos a mejorar respecto a la ocurrencia de fallas y se establece un plan de mejora basado en TPM el cual centra sus conceptos en disminuir o eliminar las pérdidas de disponibilidad, rendimiento y calidad mediante supresión de las causas que puedan generar los eventos. Luego se realiza un proceso de simulación para evaluar el impacto sobre todo en la reducción del MTBF en el sistema y el impacto económico de la disponibilidad del mismo, con los resultados de la simulación se realiza un análisis final costo-beneficio para exponer la relación entre la producción y la reducción de fallas. (Jaramillo & Reyes, s. f.)

5.1.1.3 Propuesta de operación y control del mantenimiento preventivo, teniendo en cuenta la gestión de activos para las máquinas inyectoras de una empresa de producción de envases de plástico.

En el año 2015 los ingenieros Bonilla y Ortiz desarrollan en la Universidad ECCI, el trabajo de grado “Propuesta de operación y control del mantenimiento preventivo, teniendo en cuenta la gestión de activos para las máquinas inyectoras de una empresa de producción de envases de plástico”, propuesta donde buscaban predecir de alguna manera los defectos y fallos del sistema antes que ocurran, garantizando con esto, entre otras cosas, una reducción en costos, ellos se preguntaban ¿cómo garantizar el eficiente funcionamiento, operación y control de las máquinas inyectoras? ¿cuál sería el máximo nivel de aprovechamiento de la capacidad de las inyectoras? por lo que se encargan de formular la propuesta y establecen que la causa de la pérdida de capacidad y los resultados deficientes se deben a las constantes fallas, por eso hacen necesario el planteamiento del plan de mantenimiento preventivo a las máquinas inyectoras para garantizar una disminución en las paradas, disminución de pérdidas en la producción, brindar apoyo en formación necesaria, aclaración de dudas e instruir a todo el personal involucrado en la ejecución del plan. (*MONOGRAFIA LUIS Y CRISTHIAN .pdf, s. f.*)

5.1.1.4 Elaboración del plan de mantenimiento basado en condición para la flota vehicular de mezcladoras de concreto de una empresa productora de concretos, morteros y derivados.

En el año 2015 los ingenieros Bocanegra y Gutiérrez desarrollaron un proyecto de grado en la Universidad ECCI sobre “Elaboración del plan de mantenimiento basado en condición para la flota vehicular de mezcladoras de concreto de una empresa productora de concretos, morteros y derivados” para esto realizaron primero el diagnóstico de la situación de los activos, luego una

recopilación de información técnica, luego se dictamina un programa para determinar sistemas críticos y así determinar la herramienta predictiva y los procedimientos que darán como resultado la detección de problemas y fallas a corregir. teniendo en cuenta que en este sector se intentan atacar problemas como la pérdida de concreto y dinero por daños en los diferentes sistemas de mezcladoras, los altos costos en reparación, la baja disponibilidad de los activos, entonces proponen la aplicación de metodologías de ensayos no destructivos además de un programa de mantenimiento basado en condición por medio de la planeación y la programación de actividades de mantenimiento, determinando sus respectivas frecuencias de aplicación y un análisis de lubricantes complementándolo con una inspección multimodal, al considerarlo como de gran capacidad para detectar síntomas previos a la ocurrencia de fallas, complementar con monitoreo dinámico y auditar el proceso de lubricación, eliminando la lubricación por horas. (Arismendy & Galeano, s. f.)

5.1.1.5 Propuesta De Un Plan De Mantenimiento Para Las Máquinas Probadoras De Inyectores De La Empresa Diésel De Occidente.

En el año 2016 los ingenieros Ortiz Ayala y Fonseca Guerrero en la Universidad ECCI, realizaron una propuesta presentada como trabajo de grado llamado “Propuesta De Un Plan De Mantenimiento Para Las Máquinas Probadoras De Inyectores De La Empresa Diésel De Occidente”, que tiene como parte fundamental dar a conocer un plan de mantenimiento para las máquinas probadoras de inyectores, ellos sugieren un mantenimiento preventivo para las 6 máquinas donde se registren las actividades de inspección, reemplazo de componentes y periodicidad con la que se deben realizar los mantenimientos. Con esto se busca obtener resultados que beneficien la compañía tanto en lo económico, como operacional en el desarrollo normal de sus actividades operativas y de servicio. (Ayala & Guerrero, 2016)

5.1.1.6 Propuesta Para Implementar Un Plan De Mantenimiento Preventivo De Un Horno De Incineración.

En el año 2015 la Ingeniera Barahona López en la Universidad ECCI, presento un trabajo de grado nombrado “Propuesta Para Implementar Un Plan De Mantenimiento Preventivo De Un Horno De Incineración” donde propuso un plan de mantenimiento que permite mantener estos equipos bajo las condiciones necesarias para que funcionen adecuadamente y cumplan con las normas de seguridad, calidad y medio ambiente y asegurando así la disponibilidad y confiabilidad de este. Ella tomo los datos de posibles fallas que le suministro el proveedor que monto el equipo para relacionarlos con las fallas que se les iban presentando a diario y con esto determinar las fallas más recurrentes del equipo, como plan creo un AMEF y desarrollo el manual de este dando que la periodicidad del mantenimiento preventivo se debía realizar cada 15 días. (López, s. f.)

5.1.1.7 Propuesta De Un Plan De Mantenimiento Preventivo Al Compresor De Aire Doble Tornillo Humedecido De La Empresa Los Coches Megacentro.

En el año 2015, el ingeniero Guacaneme Ubaque en la Universidad Escuela Colombiana de Carreras Industriales, se enfocó en realizar su trabajo de grado con una propuesta para la compañía los Coches Megacentro titulada “Propuesta De Un Plan De Mantenimiento Preventivo Al Compresor De Aire Doble Tornillo Humedecido De La Empresa Los Coches Megacentro “ presentaba ajustes progresivos que tendrán periodos para así disminuir las fallas y evitar varios mantenimientos en el año, con base en los problemas expuestos por la compañía se propone aplicar procesos que tendrán un alcance, un agente responsable, definición del proceso y la periodicidad del mismo, para todos estos procesos se llevara un formato el cual se realizara basado en los cambios de repuestos que se hagan y así estar al tanto del estado del compresor,

generando una práctica de revisiones básicas ,antes de encender el equipo y generar planes de acción y cuando se requiere realizar el mantenimiento preventivo sugerido para el mismo. Para todo lo anterior se debe tener en cuenta el presupuesto y el talento humano. (Ubaque, 2015)

5.1.1.8 Elaboración de un plan de mantenimiento preventivo para equipos de la línea de perforación de la empresa cimentaciones de Colombia LTDA.

En el año 2017 el estudiante Juan Sebastián Urrego realizo su tesis de grado para la universidad Santo Tomas titulado “Elaboración de un plan de mantenimiento preventivo para equipos de la línea de perforación de la empresa cimentaciones de Colombia LTDA” esta tesis es con el fin de fomentar el aumento de la mantenibilidad, confiabilidad y disponibilidad de los equipos de la empresa ya mencionada y la realización del plan de mantenimiento, esto para gestionar tareas periódicas que sean eficientes y así poder evitar demoras y la no utilización de los equipos por fallos y sobrecostos, mejorando la funcionabilidad y aumentando la vida útil de los equipos de la compañía están en la obligación de cumplir con los plazos propuestos a sus clientes por lo tanto no deben existir tiempos muertos y demoras por fallas porque ello generara retrasos en la ejecución de tareas y desequilibrios en la fuerza laboral, el con este plan busca aumentar la sostenibilidad de los activos generando registros en cada intervención realizada manejando así un control periódico y posibles fallas presentes y futuras, además de conseguir reducir el tiempo de mantenimiento en el área de trabajo ,contribuye a aminorar costos y aumentar la producción.(Urrego, 2017) Es relevante el planteamiento desarrollado en la tesis citada teniendo en cuenta la metodología de mantenibilidad, confiabilidad y disponibilidad dando direccionamiento a los objetivos planteados para dar solución a la problemática planteada.

5.1.1.9 Análisis para la implementación de un plan de mantenimiento basado en confiabilidad para la maquinaria en la línea de pulido de vidrio de la empresa Vitrinas Paramo Ortega.

En el año 2016 el estudiante Sergio Stiven Paramo Ortega realizo su tesis de grado para la Universidad Libre titulado “ Análisis para la implementación de un plan de mantenimiento basado en confiabilidad para la maquinaria en la línea de pulido de vidrio de la empresa Vitrinas Paramo Ortega” el tema de mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) se ha implementado de muchas formas, es una metodología que permite manejar un mayor conocimiento de los activos y así prevenir fallas en los mismos manejando contextos operacionales, indicando criticidad de los equipos y los procesos asociados a los mismos, pero no siempre es tan sencillo, para ello se debe manejar una secuencia metodológica y organizada de la forma de aplicación y que esta sea de manera efectiva, en ella se desarrollan técnicas de mitigación, identificación y caracterización de fallas que se pueden presentar en el proceso operativo, esto se complementa con un análisis financiero que permite evaluar y clarificar, que la inversión en mantenimiento no es solo gasto, debe manejarse todo lo contrario, al aplicarse los conocimientos y procedimientos teóricos con procesos analíticos de estudio con esto los equipos adquieren una tendencia a la efectividad .El RCM es una estrategia para el mantenimiento que refleja gran cantidad de resultados positivos ,la implementación de RCM, es Básicamente prevención de fallas. (2016 Sergio Steven Páramo Ortega) es conveniente resaltar en la tesis que el análisis de metodología de RCM en el área de mantenimiento hace cumplir sus expectativas dando cumplimiento a sus objetivos planteados.

5.1.2 Estado del Arte Internacional

5.1.2.1 Uso de la metodología FMECA – RCM para la optimización de la estrategia de mantenimiento en una planta de tostación de cobre.

En el año 2019 Estupiñán y Cordero, escriben para la revista de la Facultad de Ciencias Básicas de la Universidad de Pamplona de Chile un artículo titulado “Uso de la metodología FMECA – RCM para la optimización de la estrategia de mantenimiento en una planta de tostación de cobre” en el cual exponen la conveniencia de implementar un plan de mantenimiento basado en confiabilidad usando la metodología FMECA con el fin de reducir costos de producción, de mantenimiento y reducir la indisponibilidad de equipos, al utilizar la metodología FMECA a lo que llegaron es a analizar el funcionamiento de los equipos a partir de las fallas presentadas, estableciendo jerarquías, lo que permite realizar los planes de mantenimientos enfocados en las fallas con mayor criticidad, aplicando las etapas FMECA del contexto del equipo, su análisis funcional, la identificación de las fallas, sus efectos y consecuencias y la jerarquización de las mismas. Una vez finalizada la ponderación se concluye aplicando metodología RCM sobre todo a aquellas fallas que arrojen una mayor ponderación en el estudio. (Estupiñán & Cordero, 2019)

5.1.2.2 Propuesta De Un Plan De Mantenimiento Preventivo Para La Llenadora Rotativa De La Línea De Producción De Salsa A Base De Tomate Y Kétchup De La Empresa Alimentos Garmi C.A.

En junio del año 2016, el ingeniero Jorge E. Salcedo decidió desarrollar una propuesta de plan de mantenimiento preventivo en la Universidad Central de Venezuela (Cagua), un trabajo de grado que comprende los recursos y técnicas adecuadas para abordar la problemática en relación con el proceso de llenado. Este proyecto requiere toda la información referente al

funcionamiento de los equipos (gestión de activos), considerando datos históricos registrados por el personal de mantenimiento, todo este plan debe estar conformado por una serie de acciones concretas que promuevan el desempeño óptimo del equipo, previniendo fallas y averías y así adecuadamente las operaciones para su mantenimiento. Se recopiló información referente al tema de estudio y se dispuso mediante esquemas de AMEF de los repuestos que destacaron como críticos y democráticos, esto nos permite desarrollar modelos efectivos y flexibles que garanticen la inclusión de todo lo necesario para evitar la posible necesidad de un mantenimiento correctivo.

5.1.2.3 Propuesta De Mejora Del Plan De Mantenimiento Basado En El RCM En La Línea De Extrusión 1.

En el año 2014 en la Universidad Peruana De Ciencias Aplicadas (UPC), el ing. Raúl Douglas Layme desarrollo el trabajo de grado “Propuesta De Mejora Del Plan De Mantenimiento Basado En El RCM En La Línea De Extrusión 1” pensando en la mantenibilidad y la confiabilidad, manejo para la propuesta el sistema RCM como herramienta para la gestión de mantenimiento, esto asegura que un equipo continúe operando de forma eficiente dentro de los límites establecidos, la capacidad de diseño, y la confiabilidad inherente del equipo. La importancia de la estrategia en la industria consiste en incrementar la disponibilidad de los equipos y reducir los costos permitiendo que los mismos trabajen dentro de los estándares establecidos, el éxito es alcanzado aplicando dicha metodología (RCM) debido a que su alcance va desde conocer el equipo hasta analizar los modos de fallo de los mismos. El plan de mantenimiento con RCM puede resultar muy poderoso y con mucho alcance, pero si no es bien proyectado también se puede convertir en una carga muy pesada de sostener.

5.1.2.4 Mantenimiento Industrial En Máquinas Herramientas Por Medio De AMFE.

En el año 2018 Gonzales, Loyo, López, Pérez y Cruz escriben para la revista Ingeniería industrial de Universidad de Bio Bio de Chile un artículo titulado “Mantenimiento Industrial En Máquinas Herramientas Por Medio De AMFE” en el presente trabajo los autores buscan alternativas de sistemas como Análisis de Modo y Efecto de Fallas (AMFE) que logren mejorar los tiempos de mantenimiento, involucrando personal de la industria apoyados por el área de mantenimiento, con ello lograr identificar las partes que incidan a mayor mantenimiento correctivo, y así recurrir a implementar el mantenimiento preventivo y predictivo logrando aumentar las condiciones y ciclos de vida de una máquina o herramienta incrementando la seguridad y fiabilidad de los mismos. (González Sosa et al., 2018) Es de gran importancia que el planteamiento de Análisis de Modo y Efecto de Fallas (AMFE) estuvo enfocado a la respuesta del planteamiento de su problemática logrando la optimización de tiempos y costos implementados por la Organización.

5.1.2.5 Elaboración de un plan de mantenimiento de sistemas técnicos utilizados en el proyecto del centro internacional de la papa.

En el año 2017 en la universidad San Ignacio de Loyola el ingeniero Marcos Antonio Loyola presenta el trabajo de grado “Elaboración de un plan de mantenimiento de sistemas técnicos utilizados en el proyecto del centro internacional de la papa” basándose en conceptos técnicos, el historial de información de las actividades de mantenimiento realizadas anteriormente y además analizar los indicadores y todo tipo de información operacional que repercuten en el tema, determino que es evidentemente necesario disminuir la incidencia de fallas, la acción después de presentada la falla, lo que implica disminuir el mantenimiento correctivo de las aproximadamente 249 máquinas, estableciendo un plan de mantenimiento

preventivo, fundamentado en los datos y la información de equipos y maquinarias y de sus respectivos historiales de fallas y así poder dar solución al problema formulado de ¿cuál sería el impacto de la elaboración de un plan de mantenimiento preventivo para los sistemas técnicos? concluyendo que la información del área de mantenimiento es insuficiente, es necesario evaluar periódicamente el estado de los equipos y además plantear más indicadores que contribuyan a las mejoras expuestas, se sugieren herramientas metodológicas que también ayuden a mejorar los procesos y además es necesario la implementación de un software de mantenimiento. (C & E, 2017)

5.1.2.6 Propuesta de plan de mantenimiento para compactador de basura alimentado por energía voltaica.

En el año 2019 los ingenieros Sanhueza y Allende desarrollaron en la universidad de Viña del Mar, el trabajo de grado “Propuesta de plan de mantenimiento para compactador de basura alimentado por energía voltaica” donde su idea era restarle un poco de preocupación tanto a la comunidad como a las autoridades con el tema de los residuos, darle buen manejo a estos incluye la recolección, el aprovechamiento, el tratamiento y la organización para la disminución, la disponibilidad de espacios, lo que se determinó más importante en esta problemática es la compactación, facilitar el transporte y el almacenamiento, disminuyendo el volumen y evitando derrames en contenedores. La idea fue realizar un plan de mantenimiento dirigido al sistema hidráulico de un compactador de residuos sólidos, inspeccionando el funcionamiento técnico de los cilindros hidráulicos del compactador. Determinando como conclusión la implementación del método FMECA el cual está basado en análisis de fallas y criticidad en cada uno de los componentes dentro del equipo para determinar futuras fallas, este método permite crear un plan de mantenimiento a base de los componentes q integran la máquina, asignándole un rango a cada

componente hidráulico para así sabes qué equipo se puede encontrar en mal estado y generar falla, o cual no tiene un mantenimiento adecuado. Este método también permite un análisis de criticidad midiendo la cantidad de fallas producidas. (Allende Gutiérrez & Sanhueza San Juan, 2019)

5.2 Marco Teórico

5.2.1 Mantenimiento y sus Generalidades

El mantenimiento está definido como la acción de mantener un elemento en sus condiciones básicas funcionales, esto quiere decir garantizar que dicho elemento cumpla con el objetivo para el cual fue creado. En la actualidad existen un sin número de definiciones para la palabra mantenimiento como lo hace la empresa de ingeniería RENOVETEC a través de su página web “Se define habitualmente mantenimiento como el conjunto de técnicas destinado a conservar equipos e instalaciones industriales en servicio durante el mayor tiempo posible (buscando la más alta disponibilidad) y con el máximo rendimiento.” (RENOVETEC, 2013).

Si nos adentramos en la historia podemos encontrar que después de la segunda guerra mundial aparece el Mantenimiento Preventivo, el Mantenimiento Predictivo, el Mantenimiento Proactivo, la Gestión de Mantenimiento Asistida por Ordenador y el Mantenimiento Basado en confiabilidad (RCM). La fiabilidad como empieza a establecerse como un concepto en la industria automovilística y en la aviación.

Posterior a estos conceptos surge RCM como estilo de gestión de mantenimiento, el RCM o Reliability Centred Maintenance por sus siglas en inglés o el mantenimiento centrado en la fiabilidad/confiabilidad, esta técnica se basa en el estudio de los equipos, en el análisis de los modos de fallo. Podríamos afirmar que RCM II es una filosofía de mantenimiento aplicable a

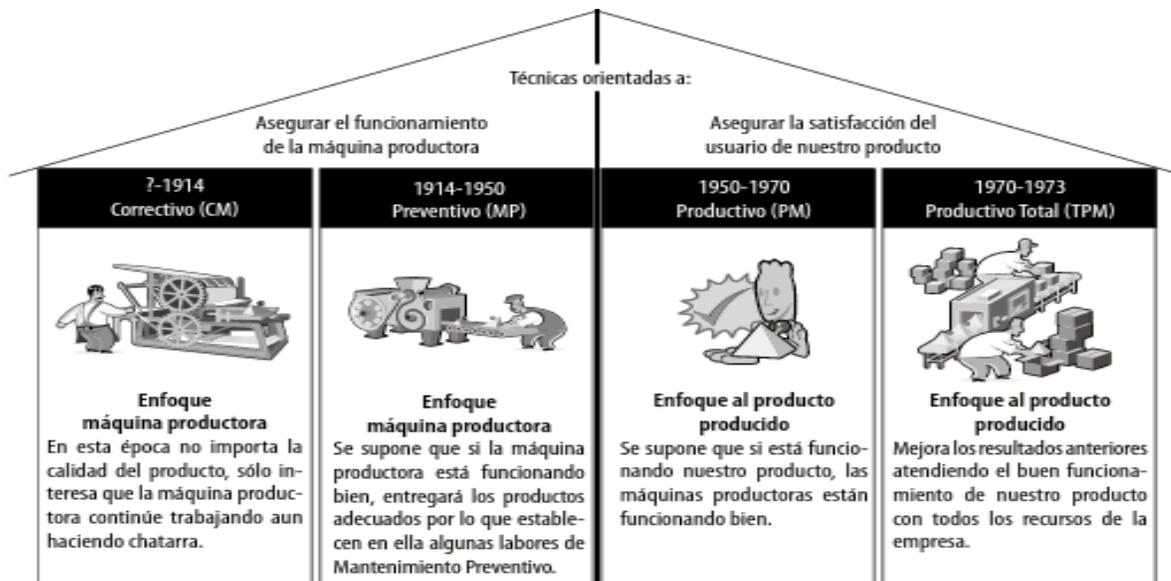
cualquier tipo de equipo y cuya finalidad es garantizar que el equipo no falle para que pueda cumplir con la función para la cual fue concebido.

Por diversos motivos dentro de los que se destacan la falta de conocimiento de los profesionales de mantenimiento, los recursos limitados asignados al área de mantenimiento, la consideración por parte de la alta gerencia que el mantenimiento es un gasto, en otras, muchas empresas dedican todos sus esfuerzos a mantenimiento correctivo o a programas de mantenimiento preventivo y predictivo que no tienen ningún tipo fundamento ni análisis y sustentan sus estrategias en la experiencia del personal de mantenimiento a través de los años. un claro ejemplo de esta situación esto es el estado actual del proceso de mantenimiento de la empresa para la cual se está desarrollando este trabajo de investigación.

Para efectos de conocer las diferentes técnicas de mantenimiento y la evolución de las mismas a través del tiempo a continuación en la figura 1 se ilustran.

Ilustración 4

Evolución del Mantenimiento Industrial



Nota: Se observa cómo ha evolucionado en el mantenimiento industrial según el autor Villanueva
Fuente: (Villanueva, 2014)

5.2.2 Funciones del Mantenimiento Industrial

El mantenimiento industrial en cada empresa está definido por los objetivos estratégicos establecidos por la organización y estos son el punto de partida para implementar la estrategia de mantenimiento y definir las funciones que garanticen el cumplimiento dichos objetivos, a continuación, se enumeran dichas funciones:

- “Gestión de la información de mantenimiento, la mayor parte de los sistemas de mantenimiento se basan en la exploración de información histórica. Es, por tanto, tarea del grupo de mantenimiento realizar una gestión, de la información obtenida de todas las intervenciones, con el fin de disponer de un historial de casos y soluciones que permita en el futuro afrontar los problemas que surjan de la forma más eficiente posible” (Villanueva, 2014) es por esto que se hace imprescindible el captar y organizar la información de paradas del equipo objeto de la investigación.

- “Gestión de almacenes de repuestos y consumibles de máquinas es una tarea que generalmente está atribuida al grupo de mantenimiento ya que éste realiza su función en íntima relación con estos los departamentos encargados de los mismos” (Villanueva, 2014), es de vital importancia realizar una correcta planeación de los mantenimientos programados para poder tener un adecuado alistamiento y solicitud de repuestos a utilizar en dicha intervención.

5.2.3 Tipos de Mantenimiento

En la actualidad existen diversas estrategias aplicables a cualquier tipo de industria y que cuentan con herramientas disponibles para realizar los análisis requeridos y así lograr la optimización de costos y garantizar una disponibilidad de los equipos que permita al área de producción cumplir con sus metas sin inconvenientes.

5.2.3.1 Mantenimiento Ante un Fallo.

“También llamado mantenimiento frente a rotura (Breakdown Maintenance), hace referencia a las operaciones de mantenimiento que tienen lugar tras el fallo y cuyo objetivo fundamental es la rápida devolución de la máquina a las condiciones de servicio. Para ello se pone énfasis en sustituir o reparar rápidamente las piezas que han fallado”. (z & Pérez, 2007). Sin embargo, las desventajas de esta estrategia de mantenimiento son numerosas:

- “No se busca la causa origen de la avería (que no necesariamente se encuentra en la pieza que ha fallado) por lo que, tras la reparación, la avería se volverá a repetir en un corto espacio de tiempo. Por ejemplo, si existe un desequilibrio en un eje de una máquina se producirá un desgaste rápido de los rodamientos y como consecuencia un deterioro de los mismos. La acción reparadora se limitará a sustituir los rodamientos defectuosos. Sin embargo, el problema de fondo no se solucionará en tanto no se corrija el desequilibrio existente” (Sánchez & Pérez, 2007), es necesario que dentro de las reparaciones correctivas repetitivas se empleen herramientas como análisis de causa raíz (RCA).

- “Falta de planificación, dado que no se sabe cuándo se va a producir el fallo. Así, el fallo puede producirse cuando el personal técnico no se encuentre disponible (durante la noche, por ejemplo) lo que retrasa la reparación y puesta en servicio. Además, en el caso de que varios fallos se produzcan simultáneamente, el personal de mantenimiento puede sufrir una acumulación puntual de trabajo que impida el restablecimiento normal de la fabricación de forma inmediata” (Sánchez & Pérez, 2007).

- “Las averías, al ser imprevistas, pueden ser graves para la máquina, ya que el fallo de un elemento puede dar lugar al fallo de otro elemento conectado al mismo. En ocasiones, el fallo de una pieza pequeña puede generar que se desencadene una serie de acontecimientos que

puede terminar en un fallo catastrófico de la máquina que se traduce en una pérdida económica importante. Las averías imprevistas pueden dar lugar a siniestros con consecuencias graves para el personal o el resto de las instalaciones. Así, este tipo de mantenimiento no reduce el riesgo de daños en los trabajadores ni en las instalaciones” (Sánchez & Pérez, 2007).

5.2.3.2 Mantenimiento Correctivo.

La estrategia de mantenimiento correctivo tiene similares características a la estrategia anterior salvo que considera necesario no solo reparar la máquina averiada sino también buscar, diagnosticar y corregir la causa real que provocó el fallo. Para esta definición se tiene que tener en cuenta que el análisis y la reparación de la falla acarrearán en la gran mayoría de las paradas un tiempo prolongado para ser corregido, lo cual en cualquier tipo de industria va en contra de los objetivos estratégicos de la compañía.

Otra definición dada por (SENATI, 2007), define el mantenimiento correctivo como: “Mantenimiento efectuado a un ítem, cuando la falla o avería ya se ha producido, restituyéndole a Condición Admisible de utilización” (SENATI, 2007). El mantenimiento correctivo puede, o no, ser programado. Para solucionar el problema, es común reemplazar un componente que ha fallado por otro componente igual o con características similares; rara vez se busca la prevención o el mejoramiento. El mantenimiento correctivo se hace cuando ocurre una falla, se inspecciona y verifica el incidente reportado, se busca la falla y se rectifica. Se documenta y reporta que el trabajo ha sido terminado. Parece ser la técnica más económica en cuanto a mano de obra y materiales, pero puede ser la más cara bajo consideraciones como: Seguridad industrial, costos de capital, confiabilidad del equipo, multas por discontinuar el servicio o la producción, costo de personal de reparación en espera e inventarios.

5.2.3.3 Mantenimiento Preventivo.

Para este tipo de mantenimiento su finalidad se define como prevenir un fallo. El mantenimiento preventivo más común es el planificado (PPM, Planned Preventive Maintenance). Se basa en la definición de una rutina de cambio de partes a intervalos periódicos de tiempo. En la mayoría de casos el cambio de una pieza se realiza sistemáticamente, independientemente del estado de la pieza, basándose en el número de ciclos realizados o el tiempo de actividad del equipo y en la información histórica del tiempo medio entre fallos (MTBF, Mean Time Between Failure) del componente. De este modo tratan de evitarse los fallos inesperados.

Para (Abella, 2010) define el mantenimiento preventivo como “el conjunto de actividades programadas de antemano, tales como inspecciones regulares, pruebas, reparaciones, etc., encaminadas a reducir la frecuencia y el impacto de los fallos de un sistema”. Las desventajas que presenta este sistema son: cambios innecesarios, problemas de arranque, costo de inventario, mano de obra, aplazamiento de rutinas; por lo tanto, la planificación del mantenimiento preventivo debe definir las partes o elementos a los que se les aplicara esta estrategia, definir el ciclo de vida útil de repuesto o componente y determinar los trabajos a realizar en cada intervención.

5.2.3.4 Comparación de los Tipos de Mantenimiento.

A continuación, en la figura 2 se muestra un cuadro comparativo indicando si cada aspecto evaluado es positivo (+) o negativo (-).

Ilustración 5

Diferencias fundamentales entre los distintos tipos de mantenimiento

	Mantenimiento ante fallo	Mantenimiento correctivo	Mantenimiento preventivo	Mantenimiento predictivo
Evita que se produzca el fallo	NO (-)	NO (-)	SÍ (+)	SÍ (+)
Corrige la causa real del fallo	NO (-)	SÍ (+)	SÍ (+)	SÍ (+)
Las operaciones suelen costar mucho tiempo debido a la imprevisión	SÍ (-)	SÍ (-)	NO (+)	NO (+)
Las operaciones pueden ser innecesarias y pueden ser causa de nuevos fallos	NO (+)	NO (+)	SÍ (-)	NO (+)
Permite planificar el mantenimiento	NO (-)	NO (-)	SÍ (+)	SÍ (+)
Exige disponer de un surtido almacén de repuestos	SÍ (-)	SÍ (-)	NO (+)	NO (+)
Permite agotar la vida útil de las piezas	SÍ (+)	SÍ (+)	NO (-)	SÍ (+)
Requiere el conocimiento de técnicas complejas	NO (+)	NO (+)	NO (+)	SÍ (-)
Exige una importante inversión en medios para el mantenimiento	NO (+)	NO (+)	NO (+)	SÍ (-)
Contribuye a mejorar la seguridad global de la planta	NO (-)	NO (-)	SÍ (+)	SÍ (+)

Nota: según Sánchez y Pérez estos los distintos tipos de mantenimiento Fuente: (Sánchez & Perez, 2007)

5.2.4 Mantenimiento como Cliente Interno de Producción

En el momento en que las empresas comprendieron que se requiere un personal técnico competente dedicada al cuidado de los equipos productivos y no dejarle esa responsabilidad a los operarios más antiguos que pueden conocer muy bien sus equipos pero que les falta el conocimiento técnico, “los departamentos de mantenimiento han estado tradicionalmente subordinados a producción, siempre por debajo en la línea jerárquica de la empresa. Este concepto de cliente interno se aplicó también a otros departamentos, estableciéndose en multitud de empresas que Mantenimiento es el «proveedor» de producción y éste, por tanto, su cliente”. (Garrido, 2003), un concepto que no está muy alejado de la realidad, pues al adentrarse en la estructura jerárquica de la compañía se visualiza que el departamento de mantenimiento está

dependiendo en línea vertical del jefe de manufactura. Caso práctico el departamento de mantenimiento de la empresa IMAL S.A.

5.2.5 Análisis RAM

Este tipo de análisis nos permite establecer en un periodo determinado de tiempo la confiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad o por sus siglas en ingles RAM (Realiability, Availability, Maintainability) de un equipo basados en los datos históricos de fallas y la filosofía operacional de la máquina. Los parámetros que son la base fundamental de estos conceptos se determinan se determinan por medios probabilísticos o analíticos de los tiempos promedio entre fallas (TPEF) y los tiempos promedios para reparar (TPPR) de los equipos de las líneas productivas y equipos de servicio en una planta industrial. Es importante recordar que el propósito de una máquina en una línea de producción es cumplir con la función que le corresponde, y para esto hay que garantizar que esté disponible para producción, sea confiable y que se presenta una falla sea rápida su reparación y lo más sencillo posible

Básicamente la ejecución de un análisis RAM se enmarca en los siguientes pasos o etapas:

- Determinar las tasas de fallas y de reparación de los componentes o equipos que conforman los sistemas a estudiar. En esta etapa se revisan los datos históricos de fallas de los equipos y los planes de mantenimiento para determinar los MTBF y los MTTR de cada uno de ellos.
- Revisión y verificación de la configuración del modelo y de la filosofía operacional y de mantenimiento de los sistemas. Construcción de los diagramas de bloque (sistemas en serie, en paralelo o serie / paralelo) (MANTENIMIENTO LA, 2013). Los pasos anterior mente mencionados son el inicio del análisis que se realizara con le histórico de fallas de

la celda para determinar el estado actual, el establecer el diagrama operacional y así poder establecer una estrategia preventiva que permita cumplir con los requerimientos de producción.

5.2.6 AMEF (análisis de modo y efecto de falla)

El AMEF o análisis de modo y efecto de falla es una metodología sistemática que está orientada a identificar los modos de falla potenciales de un sistema, servicio o producto, causadas por deficiencias en el diseño o durante el mismo proceso.

Lean Solutions define el AMEF como “un conjunto de directrices, un método y una forma de identificar problemas potenciales (errores) y sus posibles efectos en un SISTEMA con el fin de priorizarlos y concentrar los recursos en planes de prevención, supervisión y respuesta.” (LEAN SOLUTION, 1999-2017), los AMEF fueron implementados formalmente a finales de la década de los 40’s, utilizados en la industria aeroespacial en el desarrollo de cohetes, los AMEF y de igual modo el análisis crítico del modo y efecto de falla (ACMEF) fueron de gran ayuda en este tipo de industria.

5.2.6.1 ¿Qué se logra al implementar el AMEF?

Al utilizar esta herramienta en los diferentes procesos de una compañía se pueden obtener beneficios y logros como se definen a continuación:

- Identificar las fallas o defectos antes de que estos ocurran, es su principal función.
- Reducir costos de garantías (AMEF de Diseño)
- Incrementar la confiabilidad de los productos/servicios (reduce los tiempos de desperdicios y retrabajos)
- Acortar el tiempo de desarrollo de nuevos productos o procesos.
- Documenta los conocimientos sobre los procesos.

- Incrementa la satisfacción del cliente.
- Mantiene el Know-How en la compañía.

5.2.7 Mantenimiento en equipos de granallado

El mantenimiento preventivo en los equipos de granallado teniendo en cuenta el nivel de desgaste que pueden presentar los componentes, debe realizarse de una forma adecuada para asegurar una operación segura y confiable, dichos componentes se someten a desgastes permanentemente y deben cambiarse de forma inmediata por seguridad de los operarios de la máquina y del proceso.

“No efectuar a tiempo el cambio de componentes gastados trae aparejado roturas prematuras de máquina y componentes, consumo elevado de abrasivo y tiempos de proceso mayores a los estándares, lo que redundaría en mayores costos de proceso y manutención. Por lo tanto, cuando se trabaja con un equipo de granallado es fundamental que se fije un Programa de chequeo periódico detectando de antemano potenciales problemas que pudieran surgir. Estas actividades de mantenimiento deben realizarse en conjunto entre los operarios y el personal técnico de mantenimiento”.

C Y M Materiales S.A. empresa latinoamericana fabricante de equipos de granallado define una serie de recomendaciones que se cita a continuación (C Y M Materiales S.A., 2010)

- “Capacitar al personal involucrado para realizar el trabajo correctamente. Los mayores costos de operación suelen estar relacionados con malas prácticas operativas”.
- “Llevar datos estadísticos de las partes que se vayan reemplazando, del consumo de granalla, de los tiempos de proceso, de la cantidad de piezas producidas y otros detalles particulares de la operación”.

- “Controlar las turbinas para que trabajen siempre a plena carga con el punto caliente ajustado correctamente”.
- “Mantener el mix operativo de granalla adecuado, asegurando la carga necesaria de abrasivo a intervalos de tiempo definidos”.
- “Evitar que las paletas/cuchillas, rotor y caja de control tengan excesivo desgaste. A medida que estos componentes se empiezan a gastar producen turbulencias con cambios en la regulación de la dirección del chorro de abrasivo ocasionando desgaste prematuro en recubrimientos y aumentando el tiempo de proceso”.
- “Controlar que el sistema de limpieza de granalla funcione correctamente, separando y extrayendo el polvo y la granalla gastada de la granalla buena. Todo polvo o arena que ingresa a la rueda de turbina ocasiona desgaste prematuro de los componentes del equipo, aumentos de tiempo de proceso, contaminación de las piezas granalladas, etc.”
- “Controlar periódicamente el revestimiento interno del gabinete, ya que un desgaste del mismo puede producir pérdidas de granalla”.
- “Estar atento a la presencia de polvo. Si al abrir el gabinete de granallado detecta una bocanada de polvo controle que los filtros del colector no estén saturados”.

5.3 Marco normativo y legal

Para el desarrollo de la propuesta de mantenimiento de la máquina de granallado en IMAL S.A., se tendrá en cuenta las normas en las que está certificada la compañía y que influyen en el proceso de mantenimiento.

A continuación, se relacionan las normas a tener en cuenta para desarrollo del proyecto que se enfocan en las diferentes actividades de los procesos de mantenimiento.

Tabla 1*Referentes Normativos*

ISO 9001. Es la base del sistema de gestión de calidad SGC- de cualquier organización, centra todos los elementos con los que una empresa debe contar para tener un sistema de calidad efectivo.	7,1,3	Este apartado de mantenimiento de infraestructuras y equipamientos y establece los requisitos para asegurar que la maquinaria e instalaciones de una empresa tengan un desempeño adecuado, ya que están directamente relacionados con el funcionamiento de los procesos y la calidad.
TS 16949 "Certificación Automotriz". Norma en la que la compañía está certificada por ser proveedor de equipo original, es la especificación técnica basada en ISO 9001, es el estándar que define los requisitos del sistema de calidad para la cadena de suministro de la industria automotriz.	3,1,7	En este apartado se define el mantenimiento predictivo como una serie de actividades basadas en datos del proceso dirigidas a evitar los problemas de mantenimiento mediante la predicción de los posibles modos de falla
	3,1,8	En este apartado se define el mantenimiento preventivo como una acción planificada como resultado del diseño del proceso de fabricación, para eliminar las causas de falla de los equipos y las interrupciones no programadas de la producción
	7,5,1,4	Este apartado define que la organización debe identificar los equipos clave del proceso y proporcionar recursos para el mantenimiento de las máquinas/equipos y debe desarrollar un sistema planificado y eficaz de mantenimiento preventivo total.
ISO 14001 "Sistema de Gestión Ambiental". Esta norma expresa cómo se debe constituir un Sistema de Gestión Ambiental (SGMA) positivo. Esta norma ha sido planteada para construir un perfecto equilibrio entre ahorro económico y la disminución de los impactos ambientales.	6,1,2	En este numeral se definen las consideraciones a tener en cuenta de operación y mantenimiento de las instalaciones, activos e infraestructura relacionadas con la generación de aspectos ambientales
GTC 62. Esta guía técnica se desarrolló en conjunto entre el ICONTEC y la Comisión Nacional de Mantenimiento de ACIEM y está orientada a establecer las definiciones que se utilizan en los procesos de mantenimiento de las plantas industriales.	2,2,3	En este apartado se definen todos los términos de planeación y programación que son de ayuda en el estudio de un proyecto que se deben desarrollar con anterioridad a la ejecución de la labor de mantenimiento
ISO 14224 Esta norma internacional brinda una base para la recolección de datos de confiabilidad y mantenimiento en un formato estándar para las áreas de producción de petróleo y gas natural, con criterios que pueden extenderse a otras actividades e industrias. Sus definiciones son tomadas del RCM /FMEA	8,2	Este apartado determina la forma de realizar la taxonomía de los activos

Nota: Estas son las normas que se van a tener en cuenta para el desarrollo del proyecto Fuente: Autor propia

6 Marco Metodológico

6.1 Tipo de Investigación

El presente documento se desarrolla bajo la metodología de investigación mixta (cualitativa y cuantitativa), la investigación cualitativa se aplica al utilizar herramientas como las consultas bibliográficas de diferentes trabajos de grado, artículos, textos, registros y encuestas realizadas a los técnicos de mantenimiento. En cuanto a la investigación cuantitativa se utilizarán los registros de paradas por mantenimiento correctivo del equipo objeto de la investigación para analizarlas por medio de herramientas como una macro de análisis de información de fallas, AMEF de máquina para identificar los modos y efectos de dichas fallas y así poder consolidar y proponer una serie de tareas y rutinas de mantenimiento.

6.1.1 Fuentes obtención de información

Para el desarrollo de la investigación se utilizaron fuentes de información tanto primarias como secundarias como se relaciona a continuación.

6.1.1.1 Fuentes de obtención de la información primarias.

Las fuentes de información primarias para la presente investigación son; el formato de orden de trabajo vigente en la empresa (imagen 6) este formato está codificado con un código interno de la compañía : ME-F007-a, reporte de paradas de los equipos que son suministrados por el área de mantenimiento, una auditoría realizada al proceso de mantenimiento en general y entrevistas a los técnicos y personal operativo de la máquina de granallado bajo esfuerzo.

libros electrónicos, trabajos de investigación usados como referencia para dar soporte a cada uno de los elementos dentro de la investigación.

6.1.2 Instrumentos de recolección de información

6.1.2.1 Formato de orden de trabajo.

La finalidad de este formato es describir el trabajo realizado, los repuestos y los tiempos de ejecución de cada una de las actividades desarrolladas por los técnicos de mantenimiento.

6.1.2.2 Encuestas a los técnicos de mantenimiento y operadores de la máquina de granallado bajo esfuerzo.

Se realizará una encuesta a los técnicos de mantenimiento y operadores y así identificar el nivel de conocimiento sobre la máquina de granallado bajo esfuerzo, y para ello establecer programas de formación y capacitación.

6.1.2.3 Auditoría interna al proceso de mantenimiento.

Se realizará una auditoría interna, para evidenciar el estado actual del proceso encontrando las oportunidades de mejora.

6.1.2.4 Matriz de criticidad.

Se diseñará una matriz de criticidad para evidenciar los equipos críticos de la compañía y así trabajar puntualmente en ellos.

6.1.3 Metodología de la Investigación

Para desarrollar el objetivo No 1 “Realizar un diagnóstico de la situación actual para establecer las condiciones de la máquina de granallado bajo esfuerzo y los riesgos, basados en el historial de datos e información y realizando el análisis por medio de la herramienta de diagnóstico” se busca identificar qué tipo de diagnóstico es el más adecuado que permita

identificar dichos parámetros y para ello se aplicaran entrevistas estratificadas y formatos para la recolección información.

Para desarrollar el objetivo No 2 “Elaborar una investigación de normatividad y de información técnica de las diferentes estrategias de mantenimiento nacional e internacional de maquinaria para el proceso de granallado, por medio de bases de datos para definir las estrategias y metodologías” se busca identificar que estrategias y metodologías aplican para este equipo usados en la actualidad y para ello se utilizara información técnica, revistas, manuales y de proveedores.

Para desarrollar el objetivo No 3 “Analizar la propuesta de la estrategia de mantenimiento para la máquina de granallado bajo esfuerzo que esté acorde con las necesidades inicialmente planteadas, partiendo de la investigación realizada y de los datos de la situación actual, para definir los nuevos planes de mantenimiento y los recursos requeridos para cumplirlos” se busca identificar el tipo de mantenimiento acorde y para ello se tomaran evidencias históricas y documentos que nos ayude aumentar la disponibilidad del mismo.

6.1.4 Recopilación de la Información

La recolección de información se hará de dos fuentes principalmente, la primera del formato de orden de trabajo la cual está en físico y digital en libro de Excel; la segunda del reporte de paradas de tiempos muertos no planeados de equipos que maneja el jefe de mantenimiento de la planta.

6.1.4.1 Taxonomía.

La taxonomía en este caso está basada en el estudio a nuestra máquina granuladora bajo esfuerzo, sus sistemas (Eléctrico, mecánico y neumático), subsistemas y componentes, con el fin de detallar tanto la clasificación como la jerarquización y la codificación de los activos y así

mismo poder puntualizar el estudio y control de una unidad al momento de ser necesario y optimizar las mejoras en la gestión del mantenimiento. Clasificación, jerarquización y codificación de los sistemas, subsistemas y componentes inherentes a nuestro activo, la máquina granalladora bajo esfuerzo.

Ilustración 7

Taxonomía de la Máquina

INSTALACIÓN	SISTEMAS	SUBSISTEMAS	COMPONENTES	CODIFICACION
Granalladora Bajo Esfuerzo(GBE)	Eléctrico (E)	Tablero principal de control y potencia (TPC)	Breaker Ppal (A)	GBE-E-TPC-A
			Breaker protección motores (B)	GBE-E-TPC-B
			contactores de fuerza (C)	GBE-E-TPC-C
			Relés térmicos (D)	GBE-E-TPC-D
			PLC (E)	GBE-E-TPC-E
			Relevos de control (F)	GBE-E-TPC-F
			Variadores de Frecuencia (G)	GBE-E-TPC-G
			Disyuntores protección (H)	GBE-E-TPC-H
			Borneras (I)	GBE-E-TPC-I
			Pulsadores (J)	GBE-E-TPC-J
		Amperímetros (K)	GBE-E-TPC-K	
		Motores Eléctricos (MES)	Rotor (L)	GBE-E-MES-L
			Estator (M)	GBE-E-MES-M
			Rodamientos (N)	GBE-E-MES-N
			Ventaviola (O)	GBE-E-MES-O
	Caperuza (P)		GBE-E-MES-P	
	Sensores (SEN)	Sensores nivel (Q)	GBE-E-SEN-Q	
		Sensores inductivos PNP (R)	GBE-E-SEN-R	
		Sensores Réflex (S)	GBE-E-SEN-S	
	Mecánico (M)	Transmisión (TRS)	Cajas reductoras (T)	GBE-M-TRS-T
			Stmas Correa-polea (U)	GBE-M-TRS-U
			Stmas Piñón Cadena (V)	GBE-M-TRS-V
		Transportadores (TRP)	Stma Rodillos (W)	GBE-M-TRP-W
			Cadena Ppal Travesaños (X)	GBE-M-TRP-X
			Elevador Cangilones (Y)	GBE-M-TRP-Y
			Tamiz (Z)	GBE-M-TRP-Z
			Tornillos Sinfin (AA)	GBE-M-TRP-AA
			Turbinas Centrífuga (TCF)	Barril Chumaceras (AB)
		Plato porta alabes (AC)		GBE-M-TCF-AC
		Caja de control (AD)		GBE-M-TCF-AD
		Plato centrante (AE)		GBE-M-TCF-AE
		Impulsor (AF)		GBE-M-TCF-AF
		Alaves (AG)		GBE-M-TCF-AG
Escudos (AH)		GBE-M-TCF-AH		
Tolva almacenamiento (TAM)		Estructura (AI)	GBE-M-TAM-AI	
Neumático(N)		Dosificador de granalla (DGR)	Cilindros Neumáticos (AJ)	GBE-N-DGR-AJ
			Electroválvulas (AK)	GBE-N-DGR-AK
	URL (AL)		GBE-N-DGR-AL	

Nota: Estos datos se tomaron del catálogo de la a máquina Fuente: Autor propio

6.1.4.2 Auditoría

La auditoría fue realizada al proceso de mantenimiento de la empresa para identificar las oportunidades de mejora y puntos críticos a tener en cuenta en el momento de implementar la estrategia de mantenimiento resultado de la presente investigación.

Ilustración 8

Identificación y Caracterización de la Empresa

A. IDENTIFICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE LA EMPRESA				
A1. Nombre de la empresa:	INDUSTRIAS METALICAS ASOCIADAS - IMAL S.A.			
A2. Fecha de la auditoria:	17/09/2020			
A3. Nombre del Auditor:	ALEXANDER VILORIA ESTRADA			
A4. Nombre encargado del Mantenimiento	DANIEL ESPITIA			
A5. Clase de equipamiento y número de equipos involucrados en cada clase	Estándar 160	Diseño especial	Específico	Total 160
A6. Posee Depto. de Mantenimiento	SI -----> A7 NO ----->A9			
A7. Número de turnos de la jornada	2			
A8. Número de personal de mantenimiento en cada turno	Primer turno 4	Segundo turno 4	Tercer turno 0	Total 8
A9. Dependencia del departamento de mantenimiento	Jerarq. Propia	Depend. Produc. X	Sin Organización	
A10. Realización del Mantenimiento	Contratista X	Operarios Equipo X	Especialistas X	No hay mant.
A11. Cómo clasifica el mantenimiento	Correctiva X	Preventiva X	Sintomática	Otro tipo
A12. Tiene definida alguna concepción del mantenimiento	Si ¿Cuál? No ¿Por qué?	NO NO HAY UNA ESTRATEGIA DE MTO ESTABLECIDA		
A13. Posee bodega de repuestos	SI -----> A14 NO -----> A15			
A14. Dependencia de la bodega	Mantenimiento	Producción	Otra X	
A15. Satisfacción del abastecimiento de repuestos, partes y piezas	Bueno	Regular	Malo X	

Nota: La ilustración muestra los datos generales de la compañía recopilados durante las visitas de los proponentes a la misma. Fuente:(Fernando Espinoza)

En la (ilustración 8) encontramos todos los datos de identificación y caracterización de la empresa, que deben quedar consignados antes de realizar la auditoria.

Tabla 2*Criticidad de rutas de Inspección*

B. CRITICIDAD DE RUTAS DE INSPECCION			
<i>Ingrese el número que se le indica entre paréntesis para la alternativa que mejor describe su situación.</i>			
B1. ¿Tiene las áreas de producción separadas por algún criterio?	Ninguna (1)	Parcial (3)	Todas (5)
			5
B2. ¿Tiene identificados por algún código sus equipos?	Ninguno (1)	Parcial (3)	Todos (5)
			5
B3. ¿Tiene clasificado sus equipos según su criticidad ante una falla?	Ninguno (1)	Parcial (3)	Todos (5)
			5
B4. ¿Puede cuantificar la incidencia de la falla de un equipo sobre otro(s)?	No (1)	Parcial (3)	Si (5)
	1		
B5. ¿Tiene un layout de planta que describa e identifique todos los equipos?	No (1)	Parcial (3)	Si (5)
		3	
B6. ¿Tiene líneas en paralelo en su sistema de producción?	No (X)		Si (X)
			X
B7. ¿Tiene identificadas las líneas según su criticidad para el proceso?	No (X)	Es única (X)	Si (X)
			X
B8. ¿Algún(os) equipo produce cuello de botella?	No (X)		Si (X)
			X
B9. ¿Tiene identificado para cada equipo los riesgos para el operario?	No (1)	Parcial (3)	Todos (5)
		3	
B10. ¿Sabe cuanto tiempo toma cada proceso en la línea de producción?	No (1)	Parcial (3)	Todos (5)
			5
B11. ¿Tiene estipulado tiempos estándares para el mantenimiento de equipos?	No (1)	Parcial (3)	Todos (5)
	1		
B12. ¿Tiene calculado el volumen de trabajos de mantenimiento que puede hacer al mes?	No (1)	Parcial (3)	Todos (5)
	1		

Observaciones y comentarios:

No se cuenta con hojas estandar para el desarrollo de las actividades de mantenimiento.
 No se encuentra organizado las tareas de mantenimiento con respecto al recurso humano actual.
 No se tiene establecido el como afecta una falla en un equipo sobre el resto del proceso.
 Se cuenta con una matriz de riesgo de accidentalidad pero no se encuentra socializada con todo el personal.

Nota La tabla 2 presenta la evaluación desarrollada por los proponentes acerca de las rutas de inspección teniendo en cuenta los criterios propuestos por la Universidad de Talca en Chile. Fuente (Fernando Espinoza)

En la (tabla 2) se muestran que rutas críticas debe tener en cuenta el auditor al momento de realizar la inspección de auditoria del departamento de mantenimiento según el diseño y

criterio de (Fernando Espinoza) de la Universidad de Talca en Chile, esto con el fin de tener más claridad y facilidad en los puntos a intervenir.

Tabla 3

Manejo de la Información sobre Equipos

C. MANEJO DE LA INFORMACIÓN SOBRE EQUIPOS			
Ingrese el número que se le indica entre paréntesis para la alternativa que mejor describe su situación.			
C1. ¿Posee los catálogos e información técnica de todos los equipos?	Ninguno (1)	Parcial (3)	Todos (5)
		3	
C2. ¿Posee fichas de inventario para cada equipo?	Ninguno (1)	Parcial (3)	Todos (5)
		3	
C3. ¿Tiene procedimientos de trabajos de mantenimiento establecidos?	Ninguno (1)	Parcial (3)	Todos (5)
		3	
C4. ¿Posee cada equipo un programa de trabajos de mantenimiento?	Ninguno (1)	Parcial (3)	Todos (5)
			5
C5. ¿Posee registros de los mantenimientos realizados para cada equipo?	Ninguno (1)	Parcial (3)	Todos (5)
		3	
C6. ¿Tiene registros de tiempo de cada mantenimiento realizado?	Ninguno (1)	Parcial (3)	Todos (5)
		3	
C7. ¿Tiene un registro de la disponibilidad de repuestos en bodega?	Ninguno (1)	Parcial (3)	Todos (5)
		3	
C8. ¿Tiene clasificado su stock de repuestos por algún criterio?	Ninguno (1)	Parcial (3)	Todos (5)
			5
C9. ¿Tiene un registro de los implementos usados para el mantenimiento?	Ninguno (1)	Parcial (3)	Todos (5)
		3	
C10. ¿Sabe cuál es la tasa de fallas de cada equipo?	Ninguno (1)	Parcial (3)	Todos (5)
		3	
C11. ¿Puede determinar la confiabilidad de cada equipo?	Ninguno (1)	Parcial (3)	Todos (5)
		3	
C12. ¿Tiene clasificados a los proveedores de partes y piezas?	Ninguno (1)	Parcial (3)	Todos (5)
			5
C13. ¿Tiene registros de los operarios que trabajan en los equipos?	Ninguno (1)	Parcial (3)	Todos (5)
			5
C14. ¿Tiene un programa de capacitación completo implementado?	Ninguno (1)	Parcial (3)	Completo (5)
	1		
C15. ¿Tiene información precisa para llevar índices de control de eficiencia?	Ninguna (1)	Parcial (3)	Completa (5)
		3	

Observaciones y comentarios:
<p>Se identifica que no todos los equipos tienen su información organizada. No se tiene hojas de vida de los equipos. No se tienen formatos de trabajo estandarizado para las actividades de mantenimiento. El control de fallas se realiza por cada equipo pero el análisis se hace de forma general. Con la información de fallas se puede calcular la confiabilidad por equipo pero no se realiza. No se tiene identificado la formación del personal técnico y tampoco se cuenta con un programa de capacitación.</p>

Nota: La tabla 3 presenta como se debe manejar la información según la Universidad de Talca en Chile Fuente (Fernando Espinoza)

En la (tabla 3) nos muestra cual es la información de los equipos que se le deben suministrar al auditor en el momento de realizar dicha auditoria, estos puntos básicos están contemplados bajo el diseño y criterio de (Fernando Espinoza) de la Universidad de Talca en Chile, para verificar el estado actual del departamento de mantenimiento con miras a realizar las mejoras oportunas y esto nos lleve a obtener un departamento más eficiente y organizado.

Tabla 4

Estado del Mantenimiento Actual

D. ESTADO DEL MANTENIMIENTO ACTUAL			
Ingrese el número que se le indica entre paréntesis para la alternativa que mejor describe su situación.			
D1. ¿Se revisan todos los equipos cada vez que comienza un turno?	Ninguno (1)	Parcial (3)	Todos (5)
		3	
D2. ¿Los operadores de los equipos realizan tareas simples de mantenimiento?	Ninguno (1)	Parcial (3)	Todos (5)
		3	
D3. ¿Se tiene una rutina preestablecida de intervenciones diaria?	Ninguno (1)	Parcial (3)	Todos (5)
		3	
D4. ¿Se mantiene una bitácora de mantenimientos diarios?	Ninguna (1)	Parcial (3)	Completa (5)
	1		
D5. ¿Se sabe cuanto tiempo se requiere para hacer el diagnóstico de una falla?	No (1)	Aproximado (3)	Si (5)
		3	
D6. ¿Sabe cuanto es el tiempo de abastecimiento para cada grupo de repuestos?	No (1)	Aproximado (3)	Si (5)
		3	
D7. ¿Sabe exactamente el número de trabajos pendientes por período?	No (1)	Aproximado (3)	Si (5)
			5
D8. ¿Tiene control sobre las horas extras necesarias para terminar trabajos?	Ninguno (1)	Parcial (3)	Completo (5)
		3	
D9. ¿Tiene algún criterio para dar prioridad en la ejecución de trabajos?	No (1)	Aproximado (3)	Si (5)
			5
D10. ¿La información capturada en terreno es legible, util y oportuna?	Ninguna (1)	Parcial (3)	Toda (5)
		3	
D11. ¿Tiene un registro de trabajos de emergencia y programados?	Ninguno (1)	Parcial (3)	Completo (5)
			5
D12. ¿Tiene cuantificado el tiempo de producción perdido por fallas?	Ninguno (1)	Parcial (3)	Completo (5)
			5
D13. ¿Tiene cuantificado el tiempo que se demora en hacer efectiva el mantenimiento?	No (1)	Aproximado (3)	Si (5)
			5
D14. ¿Mantiene un control sobre el tiempo empleado en reparaciones ?	Ninguno (1)	Parcial (3)	Completo (5)
	1		
D15. ¿Compara el tiempo real con el tiempo estipulado en las órdenes de trabajo?	No (1)	A veces (3)	Si (5)
	1		

Observaciones y comentarios
Se tiene establecido hacer limpieza por centro de trabajo, sin embargo no se cumple para todos los centros de trabajo. Se realiza una inspección diaria de los equipos pero no se lleva registro. No se cuenta con un vitacora de mantenimiento para registrar novedades. No se lleva un control de las horas extras del personal. La información registrada en la OT no es clara y esta incompleta.

Nota: La tabla 4 identifica como está el área de mantenimiento demostrando los puntos de mejora continua según el punto de vista de la Universidad de Talca en Chile Fuente (Fernando Espinoza)

La (tabla 4) muestra cuales son los parámetros a tener en cuenta en el momento de realizar la auditoria para verificar en qué estado actual se encuentra el departamento de mantenimiento, estos puntos están establecidos bajo el criterio de (Fernando Espinoza) y con ello verificar que observaciones y comentarios nos deja el auditor.

Tabla 5

Antecedentes de Costos de Mantenimiento

E. ANTECEDENTES DE COSTOS DE MANTENIMIENTO			
<i>Ingrese el número que se le indica entre paréntesis para la alternativa que mejor describe su situación.</i>			
E1. ¿Sabe en que año adquirió cada uno de sus equipos?	Ninguno (1)	Parcial (3)	Todos (5)
		3	
E2. ¿Sabe el valor de adquisición de cada uno de sus equipos?	Ninguno (1)	Parcial (3)	Todos (5)
		3	
E3. ¿Tiene definida la tasa de depreciación de cada equipo?	Ninguno (1)	Parcial (3)	Todos (5)
			5
E4. ¿Sabe cuál es el costo de los repuestos para cada equipo?	No (1)	Aproximado (3)	Si (5)
		3	
E5. ¿Sabe cuál es el costo de la mano de obra de mantenimiento por especialidad?	No (1)	Aproximado (3)	Si (5)
			5
E6. ¿Sabe cual es el costo de pérdida de de producción por falla de cada equipo?	No (1)	Aproximado (3)	Si (5)
		3	
E7. ¿Evalúa anualmente el reemplazo de los equipos a su cargo?	Ninguno (1)	Parcial (3)	Todos (5)
	1		
E8. ¿Sabe la razón de costos entre mantenimiento y costo total del producto?	No (1)	Aproximado (3)	Si (5)
	1		
E9. ¿Tiene una relación de cantidad entre personal de mantenimiento y producción?	No (1)	Aproximada (3)	Si (5)
			5
E10. ¿Puede medir la desviación entre el costo real y el costo presupuestado?	No (1)	Parcial (3)	Si (5)
			5
E11. ¿Lleva un control de gastos de mantenimiento por equipo y por tipo?	No (1)	Parcial (3)	Si (5)
	1		
E12. ¿Lleva un control estadístico de los gastos de mantenimiento por equipo?	No (1)	Parcial (3)	Si (5)
	1		
E13. ¿Puede definir el tamaño del inventario para una disponibilidad dada del equipo?	No (1)	Parcial (3)	Si (5)
	1		
E14. ¿Sabe donde es más rentable subcontratar que trabajar con recursos propios ?	No (1)	Parcial (3)	Si (5)
			5
E15. ¿Puede definir las políticas de mantenimiento en base a los costos alternativos ?	No (1)	Parcial (3)	Si (5)
	1		

Observaciones y comentarios

No se evidencia un politica de gestión de activos.
 No se tiene una relación de los costos de mantenimiento vs producción.
 No se tiene un control de costos de mantenimiento por equipo.

Nota: La tabla 5 presenta evaluación desarrollada por los proponentes acerca de los costos de mantenimiento según el criterio de la Universidad de Talca en Chile Fuente: (Fernando Espinoza)

En la (tabla 5) muestran cuáles son los costos de mantenimiento que se deben tener presentes al momento de realizar la auditoria en el departamento de mantenimiento según el criterio de (Fernando Espinoza)

Tabla 6

Efectividad del Mantenimiento Actual

F. EFECTIVIDAD DEL MANTENIMIENTO ACTUAL			
Ingrese el número que se le indica entre paréntesis para la alternativa que mejor describe su situación.			
F1. ¿Sabe cuál es la relación de paros programados y paros imprevistos?	No (1)	Parcial (3)	Si (5) 5
F2. ¿Se cumple el programa de trabajos programados de mantenimiento?	No (1)	Parcial (3) 3	Si (5)
F3. ¿Se lleva un control del estado de avance de las ordenes de trabajo (O.T.) ?	No (1)	Parcial (3)	Si (5) 5
F4. ¿Conoce el lapso de tiempo medio entre el aviso de la falla y la emisión de la O.T ?	No (1) 1	Parcial (3)	Si (5)
F5. ¿Conoce el tiempo medio de aprobación de una orden de trabajo ?	No (1) 1	Parcial (3)	Si (5)
F6. ¿Tiene definidos los procedimientos para realizar el mantenimiento preventivo ?	No (1)	Parcial (3) 3	Si (5)
F7. ¿Tiene definidos los procedimientos para enfrentar el mantenimiento correctivo ?	No (1) 1	Parcial (3)	Si (5)
F8. ¿Sabe cuál es la relación de trabajos pendientes y trabajos programados ?	No (1)	Parcial (3) 3	Si (5)
F9. ¿Sabe cuál es la relación de tiempo extra y tiempo para trabajos programados ?	No (1)	Parcial (3) 3	Si (5)
F10. ¿Cómo es la relación entre la gente de operación y la gente de mantenimiento?	Mala (1)	Regular (3)	Buena (5) 5
F11. ¿Cómo es la actitud de la administración superior hacia mantenimiento ?	Mala (1)	Regular (3) 3	Buena (5)
F12. ¿Cómo es la colaboración de los departamentos relacionados con mantenimiento?	Mala (1)	Regular (3) 3	Buena (5)
F13. ¿Considera que el nivel de capacitación es acorde a la tecnología del equipamiento?	No (1)	Parcial (3) 3	Si (5)
F14. ¿Cómo considera el nivel de rotación del personal de mantenimiento?	Bajo (1)	Normal (3) 3	Alto (5)
F15. ¿Son suficientes las herramientas y equipos de trabajo para el mantenimiento?	No (1)	Parcial (3) 3	Si (5)
F16. ¿Tiene definido el punto de equilibrio de los repuestos necesarios por equipo?	No (1) 1	Parcial (3)	Si (5)

Observaciones y comentarios
no se realizan los avisos de mantenimiento desde producción. No se tiene definido de forma sistemática el stock de repuestos.

Nota: Tabla 6 datos de la auditoría realizada por el Sistema Integral de Gestión (SIG) al proceso de mantenimiento Fuente:(Fernando Espinoza)

En la (tabla 6) vemos el estado actual del departamento de mantenimiento debido a la auditoría realizada bajo los parámetros de inspección que se tuvieron en cuenta por el auditor, prosiguiendo el formato diseñado por (Fernando Espinoza) de la Universidad de Talca en Chile.

6.1.4.3 Histórico de Fallas

En la investigación se tomaron los datos históricos de fallas en el periodo comprendido entre enero de 2019 a marzo del 2020 encontrando un total de ciento nueve eventos y generando un total de doscientos veinte y dos minutos de tiempo muerto no planeado. Como se relaciona en la (ilustración 9).

Ilustración 9

Historico de Fallas

TABLA DE FALLAS							
No	Fecha	TD(min)	TD(hr)	TFS (min)	TFS (hr)	Cód. MODO	MODO
1	3/01/2019	486	8,10	30,00	0,50	DMC	Daño mecanico
2	18/01/2019	7662	127,70	78,00	1,30	FET	Falla electrica en el tunel
3	19/01/2019	36	0,60	480,00	8,00	DET	Daño de rodillo a la entrada del tunel
4	22/01/2019	1365	22,75	183,00	3,05	FBC	Falla en la banda de la cadena
5	23/01/2019	441	7,35	75,00	1,25	FPM	Fuga de polvo de granalla en la maquina
6	31/01/2019	3713	61,88	415,00	6,92	FBC	Falla en la banda de la cadena
7	7/02/2019	3545	59,08	67,00	1,12	EGM	Escape de granalla en la maquina
8	8/02/2019	476	7,93	40,00	0,67	FCT	Falla en cadena del transportador
9	11/02/2019	1423	23,72	125,00	2,08	FIG	Falla en intensidad de granallado
10	16/02/2019	2565	42,75	15,00	0,25	FBC	Falla en la banda de la cadena
11	19/02/2019	1533	25,55	15,00	0,25	FEL	Falla electrica
12	23/02/2019	2044	34,07	20,00	0,33	FCT	Falla en cadena del transportador
13	28/02/2019	2560	42,67	20,00	0,33	DRT	Daño del rodillo a la salida del tunel
14	2/03/2019	977	16,28	55,00	0,92	FBC	Falla en la banda de la cadena
15	5/03/2019	1248	20,80	300,00	5,00	FIG	Falla en intensidad de granallado
16	6/03/2019	461	7,68	55,00	0,92	FPM	Fuga de polvo de granalla en la maquina
17	7/03/2019	46	0,77	470,00	7,83	FBC	Falla en la banda de la cadena
18	11/03/2019	2044	34,07	20,00	0,33	FEL	Falla electrica
19	12/03/2019	336	5,60	180,00	3,00	FMP	Falla en cadena del motor principal
20	14/03/2019	692	11,53	340,00	5,67	FCT	Falla en cadena del transportador

Nota: Datos tomados del archivo de tiempos muertos no planeados del proceso de mantenimiento. Fuente: Autor Propia

En esta tabla se muestra el número de falla, la fecha, el tiempo de disponibilidad en minutos y en horas, el tiempo fuera de servicio en minutos y en horas, el código del modo de

falla y la descripción del mismo, estos datos fueron tomados del archivo que se lleva en el área de mantenimiento de los tiempos muertos no planeados (Mantenimiento correctivo) el cual alimenta los indicadores diarios que se presentan en una reunión llamada. Respuesta Rápida para evidenciar la disponibilidad de los equipos productivos.

6.2 Análisis de la Información

El análisis de la información se realizará inicialmente mediante tablas dinámicas para la clasificación de las fallas, posterior a esto se realizará el análisis en macro de evaluación RAM analizando las gráficas, tablas y resultados obtenidos de las mismas, se utilizará el formato de AMEF de máquina y así determinar el tipo de mantenimiento que se debe ejecutar en la máquina de granalladora bajo esfuerzo.

6.2.1 Matriz de Criticidad

Luego de determinar dentro del lote de activos que el más crítico es la máquina granalladora bajo esfuerzo, se obtiene la ponderación final de las características en dicho equipo.

Tabla 7

Análisis de Criticidad de las Máquinas de IMAL S.A

ANÁLISIS DE CRITICIDAD DE LAS MÁQUINAS DE INDUSTRIAS METÁLICAS IMAL S.A.								
Área	MANTENIMIENTO							
Método	Se realiza una relación matemática multiplicando la frecuencia de fallas por la sumatorias de las consecuencias y después de esto se cruza el resultado con la matriz de criticidad							
Frecuencia	Rango de Fallas en un tiempo determinado							
Consecuencias	Impacto a la calidad + Producción + Costos de Mantenimiento + Impacto Seguridad Industrial + Impacto Ambiental							
CÓDIGO SAP	MÁQUINA	FRECUENCIA	IMPACTO A LA CALIDAD	PRODUCCIÓN	COSTOS DE MANTENIMIENTO	IMPACTO SEGURIDAD INDUSTRIAL	IMPACTO AMBIENTAL	VALOR CRITICIDAD
10002818	GRANALLADORA BAJO ESFUERZO	5	3	4	5	4	4	100
10002815	GRANALLADORA OXFORD	5	2	4	5	3	4	90

10002886	GRANALLADORA HELICOIDALES	5	3	4	5	2	4	90
10002816	EXTRACTOR POLVO GRANALLADORA OXFORD	4	4	4	4	4	5	84
10002924	BOMBA CIRCULACION ACEITE CELDA DAEWOON	2	3	2	2	2	33	84
10002812	CELDA DAEWON	4	4	3	4	4	5	80
10002784	MÁQUINA PARABÓLICAS	4	4	4	4	3	4	76
10002798	SEMIAUTOMATICA DE OJOS SDGT	4	4	4	3	4	4	76
10002881	COLA MARRANO AUTOMATICA	4	4	4	4	3	4	76
10002805	HORNO AUSTENIZADO OXFORD	4	4	4	4	2	4	72
10002879	HORNO TEMPLE TKF	4	4	4	4	3	3	72
10002862	HORNO SECADO PINTURA ELECTROSTATICA	4	4	4	4	1	4	68
10002863	HORNO POLIMERIZADO PINTU, ELECTROSTATICA	4	4	4	4	1	4	68
10002885	PRENSA PRESET HELICOIDALES	3	5	4	4	4	5	66
10002910	ENFRIADOR DE AGUA CHILLER No 1	4	3	4	3	1	5	64
10002911	ENFRIADOR DE AGUA CHILLER No 2	4	3	4	3	1	5	64
10002880	ENROLLADORA GOGAN	3	4	4	4	4	5	63
10002883	HORNO REVENIDO HELIC,	3	5	5	5	2	4	63
10002889	PROBITA 1 HELICOIDALES	3	5	4	4	3	5	63
10002808	DOBLADORA OXFORD	3	4	4	4	3	5	60
10002856	PROBAT BALLESTAS	3	4	4	3	4	5	60
10002861	LÍNEA PINTURA ELECTROSTATICA	3	4	4	5	2	5	60
10002882	TANQUE TEMPLE HELICOIDALES	3	5	4	3	3	5	60
10002887	EXTRACTOR POLVO GRANALLADORA HELICOIDAL	4	1	4	4	2	4	60
10002901	COMPRESOR SULLAIR	3	4	4	5	3	4	60
10002902	COMPRESOR KAESER	3	4	4	5	3	4	60
10002809	HORNO REVENIDO OXFORD	3	5	3	4	2	5	57
10002814	HORNO REVENIDO RAPID	3	5	3	4	2	5	57
10002903	COMPRESOR JOY	3	4	4	4	3	4	57
10002801	AUTOMATICA DE OJOS AFS-2	3	4	4	3	3	4	54
10002787	MULTIPRENSA # 1	3	3	3	3	4	4	51
10002802	MULTIPRENSA # 2	3	3	3	3	4	4	51
10002795	AUTOMATICA DE OJOS FAR II	3	4	2	3	3	4	48
10002810	HORNO NUTEC	3	3	3	4	2	4	48
10002827	MULTIPRENSA FRANCESA	3	3	2	3	4	4	48
10002854	TRANSPORTADOR CARRUCEL PINTURA BALLESTA	3	2	4	2	4	4	48
10002785	FRAGUA DE 10 QUEMADORES	3	3	2	3	4	2	42
10002796	FRAGUA SDGT	3	4	4	3	2	1	42
10002872	PRENSA MECANICA 60 TON- CORTE VARILLA	3	3	4	2	4	1	42
10002913	PLANTA ELECTRICA GMC	2	2	5	5	3	5	40
10002914	PLANTA ELECTRICA VOLVO	2	2	5	5	3	5	40

10002852	PROBAT OXFORD BULDOZER	2	3	4	3	4	5	38
10002778	PERFORADORA 45	3	3	2	2	4	1	36
10002817	ESMERIL DE OJOS	2	3	3	3	4	4	34
10002780	PERFORADORA 3A	3	3	2	2	3	1	33
10002846	PRENSA DE BUJES # 28	2	3	2	2	4	5	32
10002847	PRENSA DE BUJES # 29	2	3	2	2	4	5	32
10002921	TORRE ENFRIAMIENTO	2	3	4	3	3	3	32
10002831	DOBLADORA VERTICAL MECANICA #1	2	2	2	2	4	5	30
10002833	DOBLADORA VERTICAL MECANICA #2	2	2	2	2	4	5	30
10002837	DOBLADORA VERTICAL HIDRAULICA #3	2	2	2	2	4	5	30
10002839	DOBLADORA VERTICAL HIDRAULICA #4	2	2	2	2	4	5	30
10002849	MESA DE ENSAMBLE OXFORD	2	2	3	3	2	5	30
10002851	PRENSA ENSAMBLE #1 OXFORD	2	2	2	2	4	5	30
10002783	FRAGUA PARABOLICAS	2	2	4	3	1	4	28
10002789	COULTER MCK	2	3	2	2	3	4	28
10002824	CENTRO MECANIZADO C,N,C	2	2	3	4	2	3	28
10002925	BOMBA ACEITE DE TEMPLE DOBLADORAS 3 Y 4	2	3	2	2	2	5	28
10002926	BOMBA ACEITE TEMPLE HELICOIDALES	2	3	2	2	2	5	28
10002803	ROLL ALEMAN	2	2	2	4	3	2	26
10002820	RECTICADORA DE CURVATURA	2	1	3	2	3	4	26
10002821	GOLPEADORA # 2	2	1	3	2	3	4	26
10002853	IMAN DESCARGUE MESA DE ENSAMBLE OXFORD	2	1	3	3	4	2	26
10002873	RECTIFICADORA VARILLA #2	2	3	2	3	3	2	26
10002874	RECTIFICADORA VARILLA #3	2	3	2	3	3	2	26
10002922	BOMBA AGUA ANILLO TORRE ENFRIAMI, IZQUI,	2	3	3	2	2	3	26
10002923	BOMBA AGUA ANILLO TORRE ENFRIAMIE, DERE	2	3	3	2	2	3	26
10002947	CICLADORA HIDRAULICA DAEWOON	2	3	1	1	3	5	26
10002834	UNIDAD HIDRAULICA DOBLADORAS 3 Y 4	2	2	2	3	1	4	24
10002835	TANQUE TEMPLE DOBLADORAS 3 Y 4	2	2	2	2	1	5	24
10002773	PUENTE GRUA	2	1	4	2	3	1	22
10002779	FRAGUA CALEN, CENTRAL PERFORADORA 1145	2	3	2	3	2	1	22
10002782	FRAGUA CALEN, CENTRAL PERFORADORA 3A	2	3	2	3	2	1	22
10002791	ESTAMPADORA HIDRAULICA I-01023	2	2	2	1	2	4	22
10002794	ESTAMPADORA FAR II	2	2	2	1	2	4	22
10002797	ESTAMPADORA SDGT	2	2	2	1	2	4	22
10002800	ESTAMPADORA AFS-2	2	2	2	1	2	4	22
10002826	ROLL OXFORD	2	2	2	3	3	1	22
10002829	ROLL AMERICANO	2	2	2	3	3	1	22
10002774	CIZALLA 1	2	2	1	2	4	1	20

10002775	CIZALLA 2	2	2	1	2	4	1	20
10002776	CIZALLA AUTOMATICA OXFORD	2	1	1	2	3	3	20
10002804	FRAGUA ROLL ALEMAN	2	2	2	2	2	2	20
10002828	FRAGUA ROLL AMERICANO	2	2	2	2	3	1	20
10002830	HORNO ESTATICO DE TEMPLE # 1	2	3	2	3	1	1	20
10002832	HORNO ESTATICO DE TEMPLE # 2	2	3	2	3	1	1	20
10002836	HORNO ESTATICO DE TEMPLE # 3	2	3	2	3	1	1	20
10002838	HORNO ESTATICO DE TEMPLE # 4	2	3	2	3	1	1	20
10002951	ENROLLADORA EN FRIO	1	4	4	4	2	5	19
10002786	FRAGUA CENTRAL MULTIPRENSA 1	2	2	2	2	2	1	18
10002788	FRAGUA DIAMANTE MULTIPRENSA CABEZOTE #1	2	2	2	2	2	1	18
10002790	FRAGUA COULTER MCK	2	2	2	2	2	1	18
10002799	FRAGUA AFS-2	2	2	2	2	2	1	18
10002825	FRAGUA ROLL OXFORD	2	2	2	2	2	1	18
10002867	FRAGUA MULTIPRENSA #2	2	2	2	2	2	1	18
10002916	TANQUE GAS PROPANO 3 0	1	3	3	4	3	5	18
10002917	TANQUE GAS PROPANO 10 0	1	3	3	4	3	5	18
10002793	FRAGUA FAR II	2	2	2	1	2	1	16
10002952	ESMERIL DE EXTREMOS	1	4	4	3	2	3	16
10002904	INTERCAMBIADOR PLACAS DOBLADORAS 1 Y 2	1	3	1	3	2	5	14
10002905	INTERCAMBIADOR PLACAS DOBLADORAS 3 Y 4	1	3	1	3	2	5	14
10002907	INTERCAMBIADOR TEMPLE HELICOIDAL,	1	3	1	3	2	5	14
10002908	INTERCAMBIADOR CELDA OXFORD	1	3	1	3	2	5	14
10002909	INTERCAMBIADOR CELDA DAEWON	1	3	1	3	2	5	14
10002912	INTERCAMB.PLACAS CICLADORA DAEWOON	1	3	1	3	2	5	14
10002918	TRAMPA DE GRASA # 1	1	2	2	2	3	5	14
10002919	TRAMPA DE GRASA # 2	1	2	2	2	3	5	14
10002920	TRAMPA DE GRASA # 3	1	2	2	2	3	5	14
10002953	ALIMENTADOR ENROLLADORA	1	3	4	2	3	2	14
10002819	DUROMETRO BRINELL	1	3	3	1	2	4	13
10002859	GOLPEADORA LINEA ENSAMBLE	1	1	2	2	3	5	13
10002878	ESCUALIZADOR ROLL INGLES VARILLA	1	3	2	1	2	4	12
10002915	PLANTA ELECTRICA ADMINISTRACION	1	2	1	2	2	5	12
10002954	HORNO DE ALIVIO DE TENSION	1	4	3	3	1	1	12
10002841	PRESA REMACHADORA DE GRAPA	1	2	3	1	4	1	11
10002875	ESMERILADO DE RESORTE HELICOIDALES	1	3	2	1	3	2	11
10002898	BOMBA TRAMPA AGUA LLUVIA #1	1	2	2	2	2	3	11

10002899	BOMBA TRAMPA AGUA LLUVIA #2	1	2	2	2	2	3	11
10002900	BOMBA TRAMPA AGUA LLUVIA #3	1	2	2	2	2	3	11
10002932	TORNO # 1 PARALELO	1	3	1	1	3	3	11
10002940	UNIVERSAL DE ENSAYOS	1	3	1	1	1	5	11
10002950	MAGNAFLUX	1	3	1	1	1	5	11
10002822	RECTIFICADORA PLANA HERRAMENTALES No 1	1	2	2	1	2	3	10
10002860	PRENSA HIDRAULICA TRUNION	1	1	1	1	2	5	10
10002884	SISTEMA RECUPERACIÓN GASES TKF	1	1	2	3	1	3	10
10002941	CORTADORA DE DISCO	1	1	1	1	3	4	10
10002945	CICLADORA RESORTES HELICOIDALES	1	3	1	1	3	2	10
10002946	CICLADORA DE BALLESTAS	1	3	1	1	3	2	10
10002842	PRENSA CORTE DE GRAPA	1	2	2	1	3	1	9
10002877	ROLL INGLES VARILLA	1	2	2	2	2	1	9
10002937	CAMARA SALINA	1	3	1	1	1	3	9
10002942	PULIDORA DE BANDA	1	3	1	1	1	3	9
10002857	PRENSA ENSAMBLE # 1 NEUMATICA	1	1	2	1	2	2	8
10002858	PRENSA ENSAMBLE # 2 NEUMATICA	1	1	2	1	2	2	8
10002943	PULIDORA METALOGRAFICA	1	3	1	1	1	2	8
10002948	CICLADORA DE BUJES	1	3	1	1	2	1	8
10002777	SIERRA SIN FIN AUTOMATICA	1	1	1	1	3	1	7
10002848	TALADRO RADIAL BALLESTAS	1	1	1	1	3	1	7
10002938	HORNO LINDBERG	1	2	1	1	1	1	6
10002939	HORNO FISHER	1	2	1	1	1	1	6

Nota: Los datos de esta tabla son el inventario de activos de la empresa Fuente: Autor propia

En esta tabla se obtiene todo el inventario de los activos fijos productivos de la compañía, evidenciando los diferentes valores arrojados según el criterio analizado en la matriz de criticidad, e identificando cuales son los equipos con criticidad alta, media y baja y con ello se pudo evidenciar que uno de los equipos más críticos es la granalladora bajo esfuerzo, por cual se requiere hacer cambios en los planes de mantenimiento, ayudando a la optimización de tiempos y recursos designados para la misma

Ilustración 10

Matriz de Criticidad

FRECUENCIA	5	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110	115	120	125
	4	20	24	28	32	36	40	44	48	52	56	60	64	68	72	76	80	84	88	92	96	100
	3	15	18	21	24	27	30	33	36	39	42	45	48	51	54	57	60	63	66	69	72	75
	2	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40	42	44	46	48	50
	1	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	
	CONSECUENCIAS																					

CRITICIDAD ALTA
CRITICIDAD MEDIA
CRITICIDAD BAJA

60	≤	VALOR CRITICIDAD	≤	125
30	≤	VALOR CRITICIDAD	<	60
5	≤	VALOR CRITICIDAD	<	30

Nota: Estos datos se recopilaban del inventario de activos de la compañía y se le dieron valores respecto a su criticidad Fuente: Autor Propio

La matriz de criticidad (ilustración 10) nos permite identificar gráficamente el nivel de criticidad de cada uno de los equipos evaluados teniendo en cuenta la numeración dada a cada una de las variables calificadas.

6.2.2 AMEF

Para el AMEF realizamos el análisis de los modos y efectos de falla de los equipos mantenibles del área de granallado, realizando un registro detallado de componentes, partes y suministros para elaborar el plan de mantenimiento correspondiente, disponible y adecuado de los instrumentos y equipos correspondientes a las labores de la empresa.

En el análisis de Severidad encontramos:

Ilustración 11

Clasificación de Severidad

Clase	Nivel de Severidad	Consecuencias a personas o ambiente
IV	Catastrófico	Modo de fallo que potencialmente podría producir el fallo de las funciones principales del sistema y por consiguiente causar serios daños al mismo y su ambiente o dañar al personal.
III	Crítico	Modo de fallo que potencialmente podría producir el fallo de las funciones principales del sistema y por consiguiente causar considerables daños al mismo y su ambiente, pero que no constituye una amenaza seria de daño o para la vida del personal.
II	Marginal	Modo de fallo que potencialmente podría degradar la funcionalidad del sistema sin dañarlo de forma apreciable o sin amenazar la integridad y la vida del personal
I	Insignificante	Modo de fallo que potencialmente podría degradar las funciones del sistema pero que no causaría daño al mismo y no constituye una amenaza para la integridad y la vida del personal

Nota: Esta ilustración muestra la clasificación de evaluación según el criterio de la norma 60812 de 2006
Fuente:(60812-Una-FMEA.Pdf - Free Down load PDF, s. f.)

Para estimar el grado de severidad en el AMEF, que se estableció para la máquina de granallado bajo esfuerzo, se utiliza una escala de I a IV siendo I insignificante y IV catastrófico como se evidencia en la tabla de clasificación de severidad, identificada en la (ilustración 11).

Clasificación de la severidad

La severidad es una valoración de la importancia del efecto del modo de fallo en el funcionamiento del elemento. La clasificación de los efectos de severidad depende en gran medida de la aplicación del AMFE y se desarrolla considerando diversos factores: la naturaleza del sistema respecto a los posibles efectos sobre usuarios o sobre el ambiente como resultado del fallo según el autor (60812-Una-FMEA.Pdf - Free Download PDF, s. f.)

- la funcionalidad del sistema o proceso;
- cualquier requisito contractual impuesto por el cliente;
- requisitos de seguridad gubernamentales o industriales;
- requisitos involucrados por una garantía.

Ilustración 12

Severidad del Modo de Fallo y Efecto

Severidad	Criterios	Clasificación
Ninguna	No hay efecto apreciable	1
Muy pequeña	Ajuste y acabado del elemento con chirrido o ruido no conforme. Defecto percibido por clientes exigentes (menos del 25%)	2
Menor	Ajuste y acabado del elemento con chirrido o ruido no conforme. Defecto percibido por el 50% de los clientes	3
Muy baja	Ajuste y acabado del elemento con chirrido o ruido no conforme. Defecto percibido por la mayoría de los clientes (más del 75%)	4
Baja	Vehículo o elemento operativo pero reducción en la operatividad de los elementos de confort y comodidad. Cliente de algún modo insatisfecho	5
Moderada	Vehículo o elemento operativo pero elementos de confort y comodidad no operativos. Cliente insatisfecho	6
Alta	Vehículo o elemento operativo pero con nivel de prestaciones reducido. Cliente muy insatisfecho	7
Muy alta	Vehículo o elemento no operativo. (Pérdida de función principal)	8
Peligroso con aviso	Muy alto rango de severidad cuando un modo de fallo potencial afecta a la operación segura del vehículo o supone el incumplimiento de leyes gubernamentales con aviso	9
Peligroso sin aviso	Muy alto rango de severidad cuando un modo de fallo potencial afecta a la operación segura del vehículo o supone el incumplimiento de leyes gubernamentales sin aviso	10

Nota: Esta ilustración muestra la severidad del modo de fallo y efecto de evaluación según el criterio de la norma 60812 del 2006 Fuente :*(60812-Une-FMEA.Pdf - Free Down load PDF, s. f.)*

Una vez se listan todas las fallas y los efectos, se procede a estimar el grado de calificación de severidad (gravedad) de dichos modos y efectos de fallas potenciales ocurridas en la maquina de granallado bajo esfuerzo esta calificación se evidencia en una escala de 1 a 10 bajo los parámetros establecidos en la tabla de identificación que se muestra en la (ilustración 12).

Se asigna una categoría de severidad al efecto de cada modo de fallo basada en la severidad de las consecuencias del efecto en el funcionamiento y en la seguridad del sistema global, teniendo en cuenta los requisitos, objetivos y restricciones del sistema, considerando el vehículo como tal. Esto se realiza más fácilmente en la hoja del AMFEC. La determinación de la severidad según n la tabla de la (ilustración 12) es muy sencilla para valores de severidad 6 o

superior. La determinación de la severidad de 3 a 5 puede ser subjetiva. (60812-Una-FMEA.Pdf - Free Download PDF, s. f.)

Analizamos los criterios de defectibilidad:

Ilustración 13

Criterios de Detectabilidad

Detección	Criterio: Posibilidad de detección mediante Control de Diseño	Categoría
Casi segura	El Control de Diseño detectará casi con seguridad una causa o mecanismo potencial y el subsiguiente modo de fallo	1
Muy alta	Muy alta posibilidad de que el Control de Diseño detecte una causa o mecanismo potencial y el subsiguiente modo de fallo	2
Alta	Alta posibilidad de que el Control de Diseño detecte una causa o mecanismo potencial y el subsiguiente modo de fallo	3
Moderadamente alta	Moderadamente alta posibilidad de que el Control de Diseño detecte una causa o mecanismo potencial y el subsiguiente modo de fallo	4
Moderada	Posibilidad moderada de que el Control de Diseño detecte una causa o mecanismo potencial y el subsiguiente modo de fallo	5
Baja	Baja posibilidad de que el Control de Diseño detecte una causa o mecanismo potencial y el subsiguiente modo de fallo	6
Muy baja	Muy baja posibilidad de que el Control de Diseño detecte una causa o mecanismo potencial y el subsiguiente modo de fallo	7
Remota	Posibilidad remota de que el Control de Diseño detecte una causa o mecanismo potencial y el subsiguiente modo de fallo	8
Muy remota	Posibilidad muy remota de que el Control de Diseño detecte una causa o mecanismo potencial y el subsiguiente modo de fallo	9
Absolutamente incierto	El Control de Diseño no detectará una causa o mecanismo potencial ni el subsiguiente modo de fallo: o no hay Control de Diseño	10

Nota: Esta ilustración muestra la criticidad de defectibilidad de evaluación según el criterio de la norma 60812 del 2006 Fuente : (60812-Una-FMEA.Pdf - Free Down load PDF, s. f.)

En esta fase se debe describir el tipo de control que se tiene para detectar cada falla esta, se debe evaluar, en una escala del 1 al 10, como se muestra en la tabla de la (ilustración 13) la capacidad de detección de la misma; entre mayor sea la posibilidad de detectar la falla, menor será la calificación.

La aproximación descrita anteriormente es muy intuitiva y deber· continuarse con una clasificación de la prioridad de las acciones a realizar para asegurar el mayor nivel de seguridad al cliente. Por ejemplo, un modo de fallo con alta severidad, baja tasa de ocurrencia y muy alto Índice de detección (por ejemplo 10, 3 y 2 respectivamente) puede tener un NPR mucho menor (en este caso 60) que uno que tenga todos los parámetros de un valor medio (por ejemplo 5 en cada caso, lo que resulta en un NPR de 125). A sí a menudo se definen procedimientos

adicionales para asegurar que se da prioridad y se mitigan primero los modos de fallo con categoría de severidad alta (por ejemplo 9 Û 10). En ese caso, la decisión debería guiarse por la magnitud de la severidad, en lugar de hacerlo exclusivamente por el NPR. En todos los casos, una buena práctica es ver el rango de severidad de un modo de fallo junto con el NPR para un mejor proceso de toma de decisión. (60812-Une-FMEA.Pdf - Free Download PDF, s. f.)

Encontramos también el análisis de parámetros para la ocurrencia:

Ilustración 14

Ocurrencia del Modo de fallo

Ocurrencia del modo de fallo	Categoría, O	Frecuencia	Probabilidad
Remoto: Fallo improbable	1	≤ 0,010 por millar de vehículos o elementos	≤ 1 × 10 ⁻⁵
Bajo: Relativamente pocos fallos	2	0,1 por millar de vehículos o elementos	1 × 10 ⁻⁴
	3	0,5 por millar de vehículos o elementos	5 × 10 ⁻⁴
Moderado: Fallos ocasionales	4	1 por millar de vehículos o elementos	1 × 10 ⁻³
	5	2 por millar de vehículos o elementos	2 × 10 ⁻³
	6	5 por millar de vehículos o elementos	5 × 10 ⁻³
Alto: Fallos repetidos	7	10 por millar de vehículos o elementos	1 × 10 ⁻²
	8	20 por millar de vehículos o elementos	2 × 10 ⁻²
Muy alto: Fallo casi inevitable	9	50 por millar de vehículos o elementos	5 × 10 ⁻²
	10	≥ 100 en millar de vehículos o elementos	≥ 1 × 10 ⁻¹

Nota: Esta ilustración muestra la ocurrencia del modo de fallo de evaluación según el criterio de la norma 60812 del 2006 Fuente:(60812-Une-FMEA.Pdf - Free Down load PDF, s. f.)

Asignar el grado de ocurrencia, que no es más que la estimación de probabilidad de que ocurra un fallo por la causa especificada, al igual que la severidad, la ocurrencia se suele clasificar en una escala del 1 a 10, siendo 1 muy improbable y 10 inevitable como se evidencia en la tabla de ocurrencia mostrada en la ilustración 14.

Determinación alternativa de la ocurrencia

Debería tenerse en cuenta que en la tabla de la (ilustración 14) el término "frecuencia" se emplea como una tasa de ocurrencia en número de oportunidades durante una misión o tiempo de vida designado, que puede compararse con una "fracción fallida" o probabilidad de ocurrencia y las correspondientes probabilidades reflejan simplemente esta fracción. Por ejemplo, un modo de fallo al que se asigna un valor de 0 de 9 causaría el fallo de uno de tres sistemas durante un periodo predeterminado de misión. Aquí la determinación de esta probabilidad de ocurrencia debe relacionarse con el periodo de tiempo de interés. Es aconsejable declarar este periodo de tiempo en el encabezado del análisis. Lo mejor es aplicar la probabilidad de ocurrencia calculada para los componentes y sus modos de fallo basándose en sus propias tasas de fallo cuando se aplican las condiciones de esfuerzo esperadas (ambiental y operativa). Cuando no se dispone de esta información, puede asignarse una estimación, pero haciendo esto, el equipo de análisis debe tener presente el significado de los valores de ocurrencia - el número de ocurrencias por mil vehículos en el periodo de tiempo predeterminado usado para el análisis (garantía, vida del vehículo, u otro); es la probabilidad calculada o estimada, de ocurrencia, de ese modo de fallo en un periodo de tiempo de interés. También se debe tener en cuenta que, a diferencia de la escala de severidad, la escala de ocurrencia no es lineal y tampoco logarítmica. Por consiguiente, debería tenerse en cuenta que cuando se calcula y evalúa el NPR el número resultante tampoco es lineal y debe tratarse con especial cuidado. (60812-Una-FMEA.Pdf - Free Download PDF, s. f.)

Ilustración 15

Análisis y Parámetros de Criticidad

- valor de criticidad 1 o E. Inprobable, probabilidad de ocurrencia: $0 \leq P_i < 0,001$;
- valor de criticidad 2 o D. Remoto, probabilidad de ocurrencia: $0,001 \leq P_i < 0,01$;
- valor de criticidad 3 o C. Ocasional, probabilidad de ocurrencia: $0,01 \leq P_i < 0,1$;
- valor de criticidad 4 o B. Probable, probabilidad de ocurrencia: $0,1 \leq P_i < 0,2$;
- valor de criticidad 5 o A. Frecuente, probabilidad de ocurrencia: $P_i \geq 0,2$.

Nota: Esta ilustración muestra el análisis y parámetros de la matriz de criticidad de evaluación según el criterio de la norma 60812 del 2006 Fuente : (60812-Una-FMEA.Pdf - Free Down load PDF, s. f.)

Ilustración 16

Matriz de Criticidad

Probabilidad de ocurrencia	5 (A)				Alto riesgo
	4 (B)		Modo de fallo 1		
	3 (C)				
	2 (D)			Modo de fallo 2	
	1 (E)	Bajo riesgo			
		I	II	III	IV
		Severidad			

Nota: Esta ilustración muestra la matriz de criticidad de evaluación según el criterio de la norma 60812 del 2006 Fuente : (60812-Una-FMEA.Pdf - Free Down load PDF, s. f.)

La tabla de matriz de criticidad mostrada en la (ilustración 16) se evidencia la probabilidad de ocurrencia vs severidad, en la que su calificación es de 5 para la probabilidad de ocurrencia y IV para la severidad dado que 1 vs I es de bajo riesgo frente a 5 vs IV es alto riesgo de accidentalidad.

Matriz de criticidad

En la tabla de la (ilustración 16) se observa que la severidad aumenta en el sentido de los números, correspondiendo el número IV a la severidad más alta (la pérdida de vida humana o de la misión u operación, lesiones). La probabilidad de ocurrencia se representa en el eje Y también en orden ascendente. Si la categoría de probabilidad de ocurrencia más alta no excede de un valor de 0,2, los valores de probabilidad de ocurrencia y de criticidad son aproximadamente iguales. Una de las matrices que se ven a menudo tiene la siguiente escala (60812-*Une-FMEA.Pdf - Free Download PDF*, s. f.)

- valor de criticidad 1 o E, Improbable, probabilidad de ocurrencia: $0 \leq P_i < 0,001$;
- valor de criticidad 2 o D, Remoto, probabilidad de ocurrencia: $0,001 \leq P_i < 0,01$;
- valor de criticidad 3 o C, Ocasional, probabilidad de ocurrencia: $0,01 \leq P_i < 0,1$;
- valor de criticidad 4 o B, Probable, probabilidad de ocurrencia: $0,1 \leq P_i < 0,2$;
- valor de criticidad 5 o A, Frecuente, probabilidad de ocurrencia: $P_i \geq 0,2$.

Ilustración 17

Matriz de Riesgo

Tabla 3 – Matriz de Riesgo/Criticidad

Frecuencia de ocurrencia del efecto de fallo	Niveles de Severidad			
	1 Insignificante	2 Marginal	3 Crítico	4 Catastrófico
5: Frecuente	No deseable	Intolerable	Intolerable	Intolerable
4: Probable	Tolerable	No deseable	Intolerable	Intolerable
3: Ocasional	Tolerable	No deseable	No deseable	Intolerable
2: Remoto	Insignificante	Tolerable	No deseable	No deseable
1: Improbable	Insignificante	Insignificante	Tolerable	Tolerable

Nota: Esta ilustración muestra la matriz de riesgo de evaluación según el criterio de la norma 60812
Fuente:(60812-*Une-FMEA.Pdf - Free Down load PDF*, s. f.)

Conforme a los resultados que se obtienen, estos se identifican en la sección de absorción, modos de falla y efecto que requieren mayor atención dado a su nivel de riesgo. En la matriz de riesgo mostradas en la (ilustración 17), se puede apreciar la escala de clasificación de 5 a 1 siendo 5 el más frecuente, el cual deberá de ser atendido mediante un tratamiento especial y detallado que permita identificar la mejor alternativa de mantenimiento a fin de lograr disminuir dicho riesgo a un nivel aceptable y 1 improbable.

Evaluación de la aceptabilidad del riesgo

Cuando el producto final requerido del análisis es una matriz de criticidad, Ésta puede representarse a partir de las severidades asignadas y de las frecuencias de los sucesos. La aceptabilidad del riesgo se define subjetivamente o se trata según n decisiones profesionales y financieras y varía en diferentes tipos de industria. La tabla de la (ilustración 17) da algunos ejemplos de categorías de aceptabilidad de riesgo y una matriz de criticidad modificada.(60812-
Une-FMEA.Pdf - Free Download PDF, s. f.)

6.2.3 Auditoría

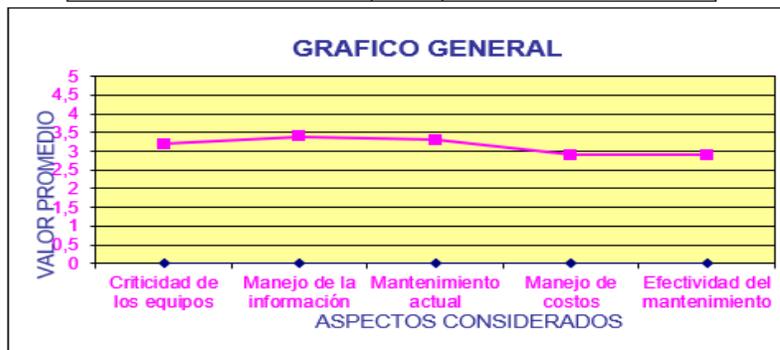
Se auditaron diferentes aspectos evaluándolos de 1 a 5, siendo 1 insuficiente o malo, 3 parcial o regular y 5 completo o bueno.

Ilustración 18

Gráfico General

GRAFICO DE RESUMEN PARA LOS DISTINTOS ASPECTOS DEL MANTENIMIENTO AUDITADO RESUMEN DE LA AUDITORIA DEL MANTENIMIENTO

Aspectos Considerados	Valor	Calificación
Criticidad de los equipos	3,2	Aspecto regular
Manejo de la información	3,4	Aspecto bien implementado
Mantenimiento actual	3,3	Aspecto regular
Manejo de costos	2,9	Aspecto regular
Efectividad del mantenimiento	2,9	Aspecto regular



Fecha de la auditoria: 17/09/2020

Fuente: Autor Propio. Nota: Esta ilustración muestra el resultado de la auditoria interna realiza al departamento de mantenimiento Fuente: (Fernando Espinoza)

La (ilustración 18) nos muestra el resumen de la auditoría realizada al departamento de mantenimiento con sus valores y calificaciones menores a tener en cuenta, para realizar sus respectivos ajustes con miras al posible mejoramiento del departamento teniendo en cuenta dichas recomendaciones dadas por el auditor según grafico diseñado por: (Fernando Espinoza) de la Universidad de Talca en Chile.

Ilustración 19

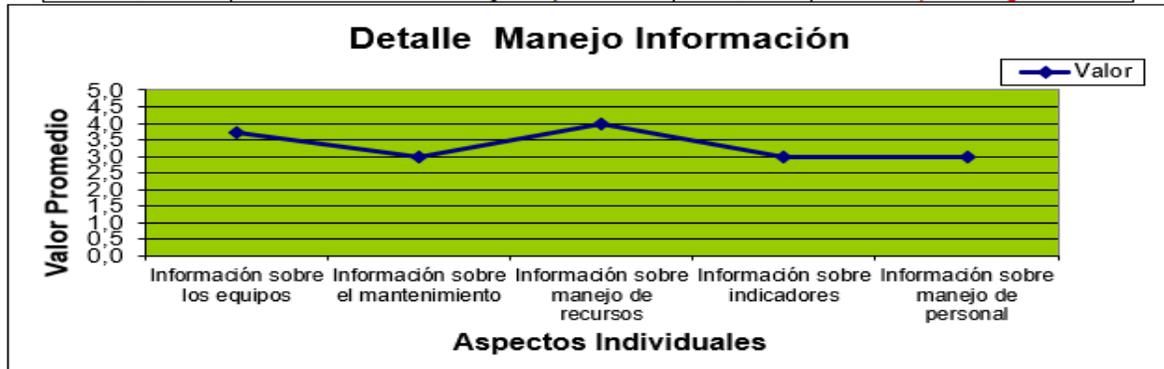
Grafico Manejo de la Información

C. MANEJO DE LA INFORMACION SOBRE EQUIPOS

Valor Promedio Global= 3,4

Aspecto bien implementado

Preguntas	Aspectos individuales considerados	Valor	Calificación
C1,C2,C4	Información sobre los equipos	3,7	Aspecto bien implementado
C3,C5,C6	Información sobre el mantenimiento	3,0	Aspecto regular
C7,C8,C9,C12	Información sobre manejo de recursos	4,0	Aspecto bien implementado
C10,C11,C15	Información sobre indicadores	3,0	Aspecto regular
C13,C14	Información sobre manejo de personal	3,0	Aspecto regular



Nota: Esta ilustración nos identifica el resultado de la auditoría interna realizada en el departamento de mantenimiento Fuente:(Fernando Espinoza)

La (ilustración 19) nos muestra la gráfica de resultado de la auditoría en la parte del manejo de información sobre los equipos, que están a cargo del departamento de mantenimiento con su respectivo valor de calificación dándolo como aspecto bien implementado.

Ilustración 20

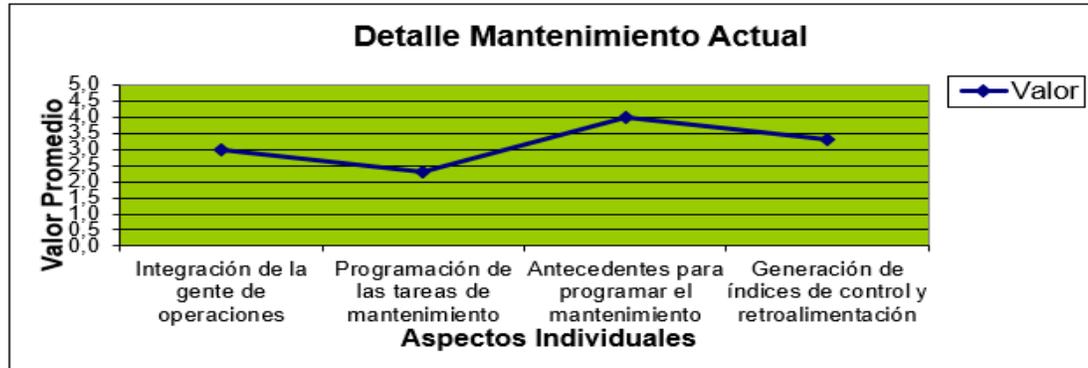
Gráfico sobre el Mantenimiento Actual

D. AUDITORIA SOBRE EL MANTENIMIENTO ACTUAL

Valor Promedio Global= 3,3

Aspecto regular

Preguntas	Aspectos individuales considerados	Valor	Calificación
D1,D2	Integración de la gente de operaciones	3,0	Aspecto regular
D3,D4,D10	Programación de las tareas de mantenimiento	2,3	Aspecto regular
D5,D6,D7,D9	Antecedentes para programar el mantenimiento	4,0	Aspecto bien implementado
D8,D11,D12,D13,D14,D15	Generación de índices de control y retroalimentación	3,3	Aspecto regular



Nota: Esta ilustración identifica el resultado de la auditoría interna realizada en el departamento de mantenimiento Fuente:(Fernando Espinoza)

La (ilustración 20) nos muestra la gráfica del resultado de la auditoria en la fase del mantenimiento actual que se está llevando por parte del departamento, dando como resultado de calificación el valor promedio: aspecto regular y así darles su respectiva ejecución a las actividades asignas por el auditor.

Ilustración 21

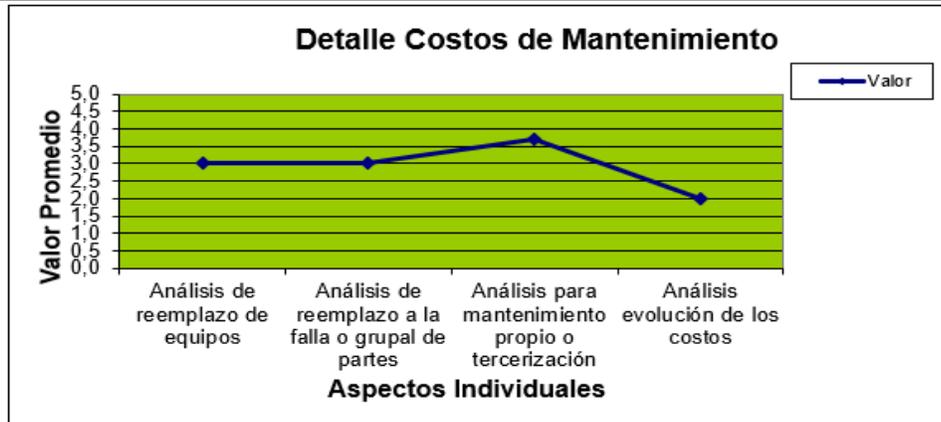
Grafico Costos de Mantenimiento

E. ANTECEDENTES DE COSTOS DE MANTENIMIENTO

Valor Promedio Global= 2,9

Aspecto regular

Preguntas	Aspectos individuales considerados	Valor	Calificación
E1,E2,E3,E7	Análisis de reemplazo de equipos	3,0	Aspecto regular
E4,E5,E6,E8	Análisis de reemplazo a la falla o grupal de partes	3,0	Aspecto regular
E9,E14,E15	Análisis para mantenimiento propio o tercerización	3,7	Aspecto bien implementado
E10,E11,E12,E13	Análisis evolución de los costos	2,0	Aspecto regular



Nota. Esta ilustración nos muestra el resultado de la auditoría interna realizada en el departamento de mantenimiento Fuente:(Fernando Espinoza)

La (ilustración 21) muestra la gráfica de solución que deje la auditoria en la fase de los antecedentes de costos de mantenimiento, dando como calificación: aspecto regular y así darles su respectiva ejecución a las actividades propuesta por el auditor.

Ilustración 22

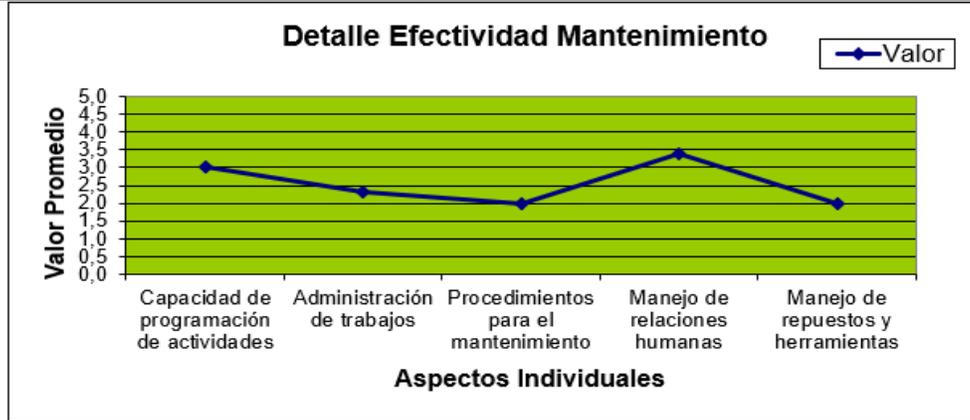
Gráfico de la Efectividad del Mantenimiento Actual

F. EFECTIVIDAD DE LA MANTENIMIENTO ACTUAL

Valor Promedio Global= 2,9

Aspecto regular

Preguntas	Aspectos individuales considerados	Valor	Calificación
F1,F2,F8,F9	Capacidad de programación de actividades	3,0	Aspecto regular
F3,F4,F5	Administración de trabajos	2,3	Aspecto regular
F6,F7	Procedimientos para el mantenimiento	2,0	Aspecto regular
F10,F11,F12,F13,F14	Manejo de relaciones humanas	3,4	Aspecto bien implementado
F15,F16	Manejo de repuestos y herramientas	2,0	Aspecto regular



Nota: Esta ilustración es el resultado de la auditoría interna realizada en el departamento de mantenimiento
Fuente:(Fernando Espinoza)

Como resultado de la auditoria que realizó el área del sistema integrado de gestión (SIG) de la compañía se evidencio en qué condición se encuentra el departamento de mantenimiento, se generan planes de acción partiendo de los hallazgos encontrados por el auditor. A estos planes se les da cumplimiento en la propuesta de solución evidenciando cambios positivos de organización y forma de administrar este departamento.

6.3 Propuesta de Solución

6.3.1 AMEF

A Al realizar la taxonomía de la máquina y llevarlo hasta sus componentes mantenibles mediante la herramienta de AMEF se asignan las fallas reportadas a dichos componentes y se analizan los modos y efectos de cada falla, se da la calificación para calcular el número de prioridad de riesgo (NPR) y así poder establecer las actividades y frecuencias para disminuir el

NPR. Del desarrollo de esta herramienta resultaron una serie de tareas y actividades en las diferentes especialidades (electricidad, mecánica, soldadura), en los diferentes tipos de mantenimiento (correctivo, preventivo, predictivo) y con diferentes frecuencias.

6.3.1.1 Tareas Correctivas

En los componentes eléctricos es difícil identificar fallas prematuras, por esta razón se establecen actividades correctivas eléctricas (Tabla 8), es importante identificar en este tipo de tareas los repuestos requeridos para no incurrir en tiempos muertos por falta de dichos elementos.

Tabla 8

Tareas Correctivas Eléctricas

TAREA CORRECTIVA				
DESCRIPCIÓN TAREA CORRECTIVA				
Código	Descripción Tarea Correctiva	Duración	Tiempo muerto	Operador
GBE-E-TPC-C	Cambio de contactor	60	60	Electricista
GBE-E-TPC-E	Verificar secuencias de máquina	60	60	Electricista
GBE-E-TPC-E	Verificar suministro de energía eléctrica	10	10	Electricista
GBE-E-TPC-F	Verificar secuencias de máquina	60	60	Electricista
GBE-E-TPC-F	Cambio del relevo	60	60	Electricista
GBE-E-TPC-G	Verificar suministro de energía eléctrica	10	10	Electricista
GBE-E-TPC-G	Establecer modo de alarma y verificarlo	90	90	Electricista
GBE-E-TPC-G	Verificar funciones variador	120	120	Electricista
GBE-E-TPC-J	Revisión y conexión cableado	10	10	Electricista
GBE-E-TPC-J	Cambio del pulsador	20	20	Electricista
GBE-E-TPC-K	Revisión y conexión cableado	10	10	Electricista
GBE-E-TPC-K	Cambio de bobina	30	30	Electricista
GBE-E-MES-M	Verificar bobinas y/o cambiar	90	90	Electricista
GBE-E-MES-M	Verificar Bobinas y/o cambiar	90	90	Electricista
GBE-N-DGR-AK	Verificar suministro de energía eléctrica	10	10	Electricista

Nota: Esta tabla identifica las tareas de correctivas (eléctricas) de granalladora Bajo esfuerzo Fuente: Autor propio

En la información suministrada de paradas por mantenimiento correctivo presentadas en la máquina se identifican fallas mecánicas que por la experiencia de los técnicos y del personal de mantenimiento no es posible identificarlas, en la (tabla 9) se relacionan actividades para restablecer dichas fallas, un ejemplo es el des atascamiento del material a procesar en la cadena transportadora principal que depende de la experiencia y cuidado del operador al realizar el

cargue del material. Otras fallas que se definen su intervención en el momento que se presenten son asociadas a fallas prematuras en cadenas y correas de sistemas de tracción y las fallas asociadas a la falta de suministro de servicios industriales como el aire comprimido.

Tabla 9

Tareas Correctivas Mecánicas

TAREA CORRECTIVA				
DESCRIPCIÓN TAREA CORRECTIVA				
Código	Descripción Tarea Correctiva	Duración	Tiempo muerto	Operador
GBE-E-MES-L	Desatascamiento sistema	60	60	Mecánico
GBE-E-MES-N	Cambio de rodamientos	120	120	Mecánico
GBE-M-TRS-U	Cambio de correas	30	30	Mecánico
GBE-M-TRS-V	Cambio de cadena	30	30	Mecánico
GBE-M-TRS-V	Cambio de cadena	30	30	Mecánico
GBE-M-TRP-W	Cambio de rodamientos	60	60	Mecánico
GBE-M-TRP-Z	Revisión saturación del tamiz	30	30	Mecánico
GBE-N-DGR-AJ	Verificar suministro de aire	10	10	Mecánico
GBE-N-DGR-AK	Verificar suministro de aire	10	10	Mecánico

Nota: Esta tabla identifica de las tareas de correctivas (mecánicas) de granalladora Bajo esfuerzo Fuente: Autor propio

6.3.1.2 Tareas preventivas

De la implementación del AMEF también resultaron tareas para alimentar el ERP donde se crearán los programas de mantenimiento preventivo con las frecuencias definidas tomando como base el MTBF (tiempo promedio entre falla) de cada falla, la duración estimada de cada tarea y el técnico que la ejecutara. En la tabla 10 se relacionan la descripción de las tareas de cada especialidad (eléctricas, mecánicas, soldadura).

Tabla 10*Tareas Preventivas (eléctricas, mecánicas, soldadura)*

TAREA PREVENTIVA					
DESCRIPCIÓN TAREA PREVENTIVA					
Código	Descripción Tarea Preventiva	Frecuencia PM	Duración PM	Tiempo muerto PM	Operador
GBE-E-TPC-D	Verificar ajuste térmicos	anual	60	0	Electricista
GBE-E-TPC-G	Verificar frecuencias variadores	anual	60	0	Electricista
GBE-E-SEN-Q	Verificar posición y señal de los sensores	mensual	240	240	Electricista
GBE-E-SEN-Q	Verificar posición y señal de los sensores	mensual	60	60	Electricista
GBE-E-SEN-R	Verificar posición y señal de los sensores	mensual	60	60	Electricista
GBE-E-SEN-R	Verificar posición y señal de los sensores	mensual	60	60	Electricista
GBE-E-SEN-S	Verificar posición y señal de los sensores	mensual	60	60	Electricista
GBE-E-SEN-S	Verificar posición y señal de los sensores	mensual	60	60	Electricista
GBE-M-TRP-Y	Verificar condiciones eléctricas de máquina para que no se presente el atascamiento	Trimestral	60	60	Electricista
GBE-M-TRP-AA	Verificar condiciones eléctricas de máquina para que no se presente el atascamiento	Trimestral	60	60	Electricista

TAREA PREVENTIVA					
DESCRIPCIÓN TAREA PREVENTIVA					
Código	Descripción Tarea Preventiva	Frecuencia PM	Duración PM	Tiempo muerto PM	Operador
GBE-M-TRS-T	Verificar y revisión ajuste ejes/acoples	Trimestral	60	60	Mecánico
GBE-M-TRS-T	Verificar ajuste tornillería reductores	Trimestral	240	240	Mecánico
GBE-M-TRS-U	Revisión alineación sistema poleas correas	semestral	240	240	Mecánico
GBE-M-TRS-U	Revisión alineación sistema poleas correas	semestral	240	240	Mecánico
GBE-M-TRS-U	Verificar y revisión ajuste ejes/poleas	semestral	240	240	Mecánico
GBE-M-TRS-V	Verificar y ajuste piñones/cadenas	semestral	240	240	Mecánico
GBE-M-TRS-V	Verificar ajuste ejes piñones	semestral	240	240	Mecánico
GBE-M-TRP-W	Verificar alineación eje	semestral	30	30	Mecánico
GBE-M-TRP-W	Verificar rodillos y ejes	Semestral	120	120	Mecánico
GBE-M-TRP-W	Verificar ajuste ejes rodillos	semestral	120	120	Mecánico
GBE-M-TRP-X	Ajuste tornillería travesaños	mensual	240	240	Mecánico
GBE-M-TRP-X	Verificar sujeción deflectores cadena	Bimensual	120	120	Mecánico
GBE-M-TRP-X	Verificación estado travesaños	mensual	60	60	Mecánico
GBE-M-TRP-X	Verificar Cadena de tracción	mensual	30	30	Mecánico

GBE-M-TRP-Y	Verificar Estado de Cangilones	Semestral	120	120	Mecánico
GBE-M-TRP-Y	Verificar sistema de transmisión, ajuste y estado	Semestral	60	60	Mecánico
GBE-M-TRP-Y	Verificación sistema elevador, banda y cangilones	semestral	120	120	Mecánico
GBE-M-TRP-AA	Revisión estado y ajuste de acoplé de pines del sinfín	semestral	60	60	Mecánico
GBE-M-TRP-AA	Verificar diámetro y estado de la hélice	anual	180	180	Mecánico
GBE-M-TCF-AD	Verificación estado del kit de la turbina, posición y desgaste	mensual	60	60	Mecánico
GBE-M-TCF-AD	Verificación estado del kit de la turbina, posición y desgaste	mensual	60	60	Mecánico
GBE-M-TCF-AF	Verificación estado del kit de la turbina, posición y desgaste	mensual	60	60	Mecánico
GBE-M-TCF-AG	Verificación estado del kit de la turbina, posición y desgaste	mensual	60	60	Mecánico
GBE-M-TCF-AG	Verificación estado del kit de la turbina, posición y desgaste	mensual	60	60	Mecánico
GBE-N-DGR-AJ	Verificar ajuste de tornillería sistema de dosificación.	Trimestral	45	45	Mecánico
GBE-N-DGR-AJ	Verificar funcionamiento cilindros de dosificación	Trimestral	60	60	Mecánico
GBE-N-DGR-AK	Verificar funcionamiento electroválvula	Trimestral	60	60	Mecánico
GBE-N-DGR-AL	Revisión unidad de mantenimiento neumática	Trimestral	90	90	Mecánico
GBE-N-DGR-AL	Revisión unidad de mantenimiento neumática	Trimestral	90	90	Mecánico
GBE-N-DGR-AL	Revisión unidad de mantenimiento neumática	Trimestral	90	90	Mecánico

TAREA PREVENTIVA					
DESCRIPCIÓN TAREA PREVENTIVA					
Código	Descripción Tarea Preventiva	Frecuencia PM	Duración PM	Tiempo muerto PM	Operador
GBE-M-TCF-AH	Verificar estado de escudo y paredes de la cámara de granallado	mensual	420	420	Soldador
GBE-M-TCF-AH	Verificar estado de escudo y paredes de la cámara de granallado	mensual	420	420	Soldador
GBE-M-TAM-AI	Verificar estado de escudo y paredes de la cámara de granallado	mensual	420	420	Soldador

TAREA PREVENTIVA					
DESCRIPCIÓN TAREA PREVENTIVA					
Código	Descripción Tarea Preventiva	Frecuencia PM	Duración PM	Tiempo muerto PM	Operador
GBE-E-TPC-K	Verificar intensidad por medio de la probeta Almen	C/OP	15	15	Asegurador de calidad

Nota: Esta tabla identifica las tareas preventivas (mecánica, eléctricas, soldador y aseguradores de calidad) de granalladora Bajo esfuerzo Fuente: Autor propio

6.3.1.3 Tareas predictivas

Otro de los tipos de mantenimiento para el cual resultaron actividades es el mantenimiento predictivo el cual nos permite predecir la ocurrencia de una falla realizando análisis más especializados y durante la operación de la máquina, el resultado del AMEF nos arrojó tres técnicas a realizar, estas son: termografía, análisis de vibraciones y análisis de aceites como se muestra en la (tabla 11)

Tabla 11*Tareas predictivas*

TAREA PREDICTIVA					
DESCRIPCIÓN TAREA PREDICTIVA					
Código	Descripción PdM	Frecuencia PdM	Duración PdM	Tiempo muerto PdM	Operador
GBE-E-TPC-A	Termografía	anual	20	20	Contratista
GBE-E-TPC-B	Termografía	anual	20	20	Contratista
GBE-E-TPC-C	Termografía	anual	20	20	Contratista
GBE-E-TPC-D	Termografía	anual	20	20	Contratista
GBE-E-TPC-H	Termografía	anual	20	20	Contratista
GBE-E-TPC-I	Termografía	anual	20	20	Contratista
GBE-E-MES	Termografía	Trimestral	20	20	Electricista

TAREA PREDICTIVA					
DESCRIPCIÓN TAREA PREDICTIVA					
Código	Descripción PdM	Frecuencia PdM	Duración PdM	Tiempo muerto PdM	Operador
GBE-M-TCF-AB	Análisis de vibraciones	Anual	15	15	Contratista
GBE-M-TCF-AC	Análisis de vibraciones	Anual	15	15	Contratista
GBE-M-TCF-AE	Análisis de vibraciones	Anual	15	15	Contratista
GBE-M-TCF-AF	Análisis de vibraciones	Anual	15	15	Contratista

TAREA PREDICTIVA					
DESCRIPCIÓN TAREA PREDICTIVA					
Código	Descripción PdM	Frecuencia PdM	Duración PdM	Tiempo muerto PdM	Operador
GBE-M-TRS-T	Análisis de Aceites	Anual	240	240	Contratista

Nota: Esta tabla identifica las tareas predictivas (análisis de aceites, análisis de vibración y termografía) de la granalladora Bajo esfuerzo Fuente: Autor propio

6.3.2 Auditoría

Como resultado de la auditoría realizada al proceso de mantenimiento se obtuvieron las siguientes propuestas de mejora.

6.3.2.1 Criticidad de rutas de inspección

- Con ayuda del practicante SENA, se diseñarán hojas estándar respectivas para el desarrollo de las actividades de mantenimiento.
- Se propondrá al supervisor de mantenimiento establecerá plan de tareas según la capacidad del personal actual.
- Se programarán reuniones y capacitaciones con el personal de mantenimiento para socializar la matriz de riesgo de accidentalidad.

6.3.2.2 Manejo de la información sobre equipos

- Se identificarán los equipos que no tienen la información organizada para continuar con el proceso de diligenciamiento de información
- El pasante SENA se encargará de hacer las hojas de vida de los equipos
- Se propone al supervisor de mantenimiento diseñar el formato de trabajo estandarizado para las actividades de mantenimiento y se le pedirá validación a los Ingenieros de Sistema Integral de Gestión (SIG) de la empresa
- Se planteará al Gerente del proceso cambiar el análisis del control de fallas para no afectar el resultado de los indicadores
- El área de Gestión Humana se encargará de hacer cronograma de capacitación al personal de mantenimiento

6.3.2.3 Estado del mantenimiento actual

- Por parte del Jefe de Mantenimiento se retroalimentará a los técnicos, lo importante de dejar los centros de trabajo limpios

Se identificará un punto donde los técnicos tengan acceso fácil al formato de inspección y se ara seguimiento al cumplimiento de diligenciamiento del mismo.

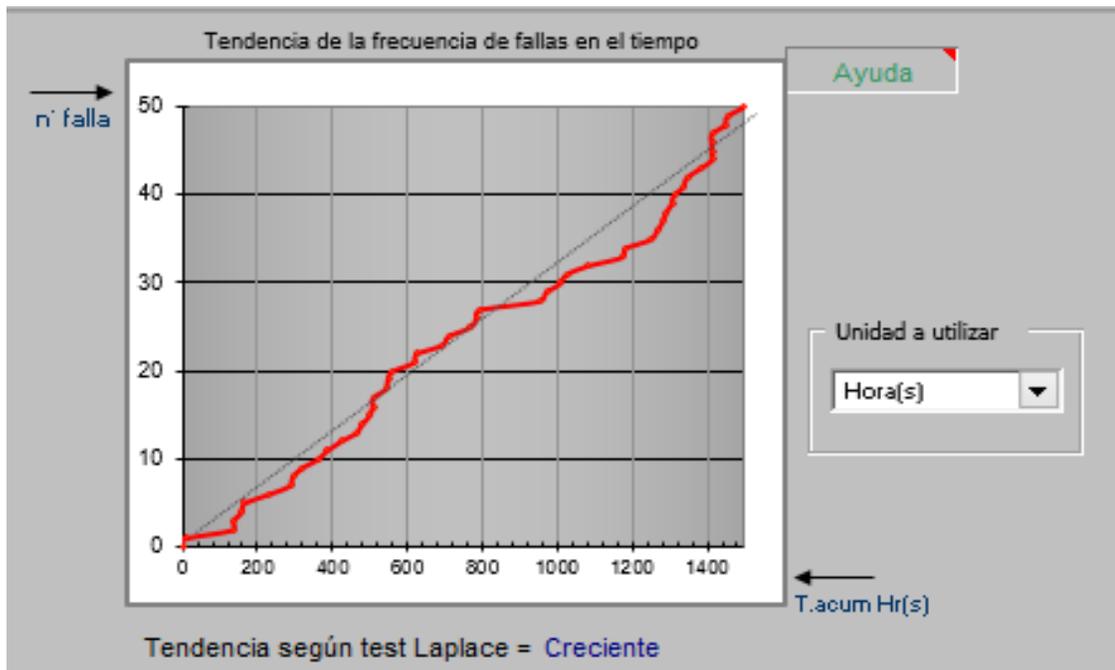
- Con el compromiso de los técnicos se volverán a retomar los hábitos de diligenciar la bitácora según corresponda el mantenimiento, (eléctrico, mecánico, lubricación y de mecanizado)
- Por medio del Jefe de Mantenimiento se capacitará al personal, explicándole la forma de llenar la OT, para que estas sean legibles y hacerles seguimiento de entrega

6.3.3 *Análisis RAM*

Después de realizar la recopilación y codificación de las fallas presentadas en el equipo en el periodo comprendido entre el 01/01/2019 y el 19/03/2020, se procede a realizar un análisis RAM para un tiempo total operativo de 3.578,97 horas donde se observaron los siguientes resultados; una confiabilidad de 45,83 % para un periodo de tiempo de 30 horas; un tiempo promedio operativo de 32,83 horas con una disponibilidad de 94,1 % y una mantenibilidad de 67,57 % con un tiempo de 2 horas para retornar el equipo a la condición de operación como se muestra en las ilustraciones 22, 23, 24 y 25.

Ilustración 23

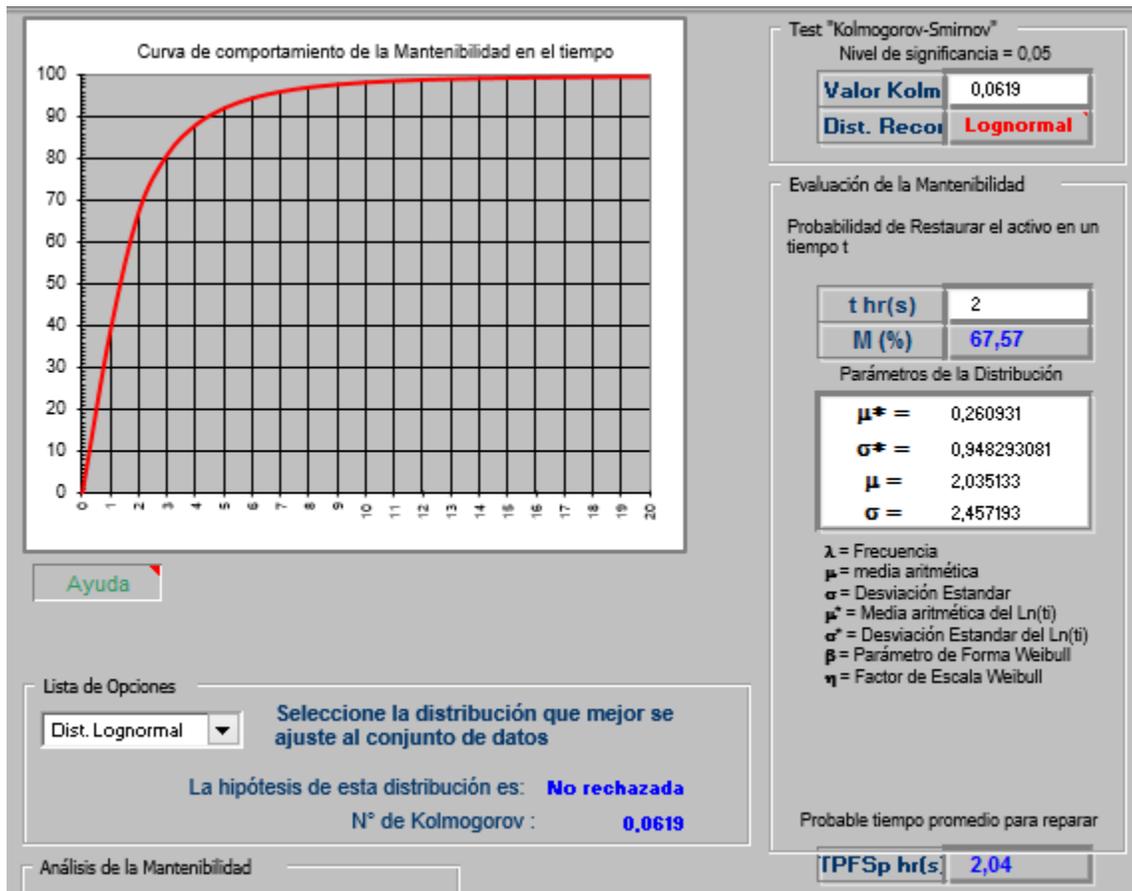
Tendencia de frecuencia de fallas Granalladora Bajo Esfuerzo



Nota: Esta ilustración nos muestra los datos tomados del histórico de fallas. Fuente: Autor propia

Ilustración 26

Análisis de Mantenibilidad Granalladora Bajo Esfuerzo



Nota: Esta ilustración nos identifica el resultado del análisis de mantenibilidad de la granalladora Bajo esfuerzo Fuente: Autor propia

7 Resultados Alcanzados y Esperados

Para desarrollar la propuesta de mantenimiento para la granalladora bajo esfuerzo se muestran los siguientes impactos esperados:

7.1 Resultados alcanzados

- Aplicación de la matriz de criticidad para los equipos de la organización
- Desarrollo de una auditoría al proceso de gestión de mantenimiento generando los hallazgos que conducen a la generación de la propuesta de solución
- Propuesta de las tareas preventivas a desarrollar y ajuste al plan de mantenimiento actual
- Aplicación de la metodología AMEF y por medio de ella el establecimiento de las fallas y los
- Desarrollo de análisis RAM

7.2 Resultados esperados

- Definición de la estrategia de mantenimiento más óptima e ideal para este tipo de máquinas con el fin de garantizar una mayor disponibilidad de ella, enfocada a un 94%
- Identificación de los riesgos relacionados con la actividad de granallado y por los mismo se espera hacer uso de estándares de operación que permitan el desarrollo permanente de mejoras hasta lograr evitarlos.
- Generación de planes de reacción para que al momento de presentarse una parada que genera tiempo muerto que involucra costos en mantenimientos y además perdidas en producción, la intervención en la falla sea eficaz y eficiente, lo que también generaría una disminución en la cantidad de fallas y un 30% menos en tiempos muertos.

- Reducción en los costos definidos como costos de paradas aproximada a un 28%, estos generados por adquisición de repuesto, mantenimientos y operación.

8 Análisis Financiero

Para realizar el análisis financiero se tuvieron en cuenta los datos de tiempos y número de paradas relacionados en el histórico de fallas presentados, con esta información se calcula la disponibilidad del equipo en un 93% con unos costos totales por mantenimiento correctivo de \$79.062.791 en el periodo evaluado como se muestra en la (ilustración 26). Para este análisis se tuvieron en cuenta los costos fijos de la máquina (mano de obra directa operativa, costos de arrendamiento, costos de depreciación), los costos de mano de obra directa del personal de mantenimiento y los costos de repuestos utilizados en las reparaciones.

Ilustración 27

Costos Actuales

SITUACIÓN ACTUAL		
Datos de Entrada		
Costo Hora Máquina	\$	291.814
Tiempo de parada (hr)		222
Costo MO mantenimiento	\$	3.624.970
Costo repuestos	\$	10.587.023
TTOP (horas)		3130,4
# Paradas		109
MTBF		28,71926606
MTTR		2,039
Disponibilidad		93,37%
Periodo Evaluado (meses)		15

Costos Totales		
Costo parada máquina	\$	64.850.798
Costo MOD	\$	3.624.970
Costo Repuestos	\$	10.587.023
Total	\$	79.062.791

Nota: Esta ilustración identifica los datos acordes a la parte financiera de la empresa Fuente: Autor Propia

Con la implementación del presente proyecto se propone reducir en un 50% las paradas por mantenimiento correctivo y esto nos da como resultado una disponibilidad del 97% con un ahorro mensual de \$2.329.637 (Ilustración 27). En los costos de los repuestos no se estima

reducción ya que por la condición del proceso las piezas sufren desgastes y hay que reemplazarlas, con esta implementación lo que se pretende es cambiarlas antes de que fallen.

Ilustración 28

Costos y Ahorro Esperados

Disminución # de Paradas en 50%	
Datos de Entrada	
Costo Hora Máquina	\$ 291.814
Tiempo de parada (hr)	111
Costo MO mantenimiento	\$ 1.105.819
Costo repuestos	\$ 10.587.023
TTOP (horas)	3130,4
# Paradas	55
MTBF	57,43853211
MTTR	2,039
Disponibilidad	97%
Periodo Evaluado (meses)	15

Costos Totales	
Costo parada máquina	\$ 32.425.399
Costo MOD	\$ 1.105.819
Costo Repuestos	\$ 10.587.023
Total	\$ 44.118.241
Ahorros periodo evaluado	\$ 34.944.550
Ahorro mensual	\$ 2.329.637
Ahorro año	\$ 27.955.640

Nota: Esta ilustración nos identifica los ahorros obtenidos con el desarrollo del proyecto: Fuente Autor Propia

Para estimar los costos de la implementación se tienen en cuenta los planes de mantenimiento preventivo y predictivo resultado del AMEF realizado, también se requiere una capacitación sobre el proceso y el mantenimiento en equipos de granallado para el personal técnico y los operadores de los equipos, con estas inversiones da como resultado que el primer año se obtiene un ahorro de \$14.834.802 y para los siguientes años un ahorro de \$18.034.802 como se observa en la (ilustración 28).

Ilustración 29

Costos de Implementación

Costos Implementación	
Costo tareas Preventivas/año	\$ 8.787.505
Costo tareas Predictivas/año	\$ 1.133.333
Capacitación Granallado	\$ 3.200.000
Total	\$ 13.120.838

Ahorros 1er año	
Costo anual Mtto	\$ 9.920.838
Costo Capacitación	\$ 3.200.000
Ahorro año	\$ 27.955.640
Total	\$ 14.834.802

Ahorros siguientes años	
Costo anual Mtto	\$ 9.920.838
Costo Capacitación	\$ -
Ahorro año	\$ 27.955.640
Total	\$ 18.034.802

Nota: Esta Ilustración evalúa el costo que tiene la implementación del proyecto Fuente: propia

9 Conclusiones y Recomendaciones

9.1 Conclusiones

Una vez realizado el diagnóstico (a través de la herramienta aplicada) al proceso actual de granallado y a la máquina granalladora, se establece la condición actual, teniendo en cuenta riesgos, datos históricos y operación donde se concluye que tanto la información técnica del recurso humano, como la información y la relación mantenimiento, costo y operación requiere mejoras con urgencia.

Partiendo del diagnóstico realizado y de la recopilación, análisis y metodologías estudiadas, se concluye la criticidad de la máquina, el estado de su mantenimiento, la información y los datos actuales son insuficientes para una buena operación.

Se define la estrategia de mantenimiento RCM como la más apropiada para aplicar al activo más crítico, se identifican nuevas tareas, nuevos recursos de desarrollo técnico y se plantea un nuevo plan de mantenimiento.

Se obtiene que una de las grandes herramientas de gran ayuda para realizar el análisis del mantenimiento de un equipo es realizar un análisis de modo y efecto de fallas ya que es de gran importancia conocer las fallas y las ocurrencias sobre todo el proceso, para así saber bajo qué condiciones está operando el equipo.

Algo importante que notamos en este ejercicio es que nos demuestra que el no tener una estrategia o un plan de mantenimiento establecidos impactan las operaciones, las entregas oportunas, la imagen ante los clientes internos y externos, hasta la seguridad misma del operador y sobre todo la rentabilidad de llevar un equipo como este a mantenimiento correctivo es mucho más costosa que hacer la inversión en un mantenimiento preventivo.

9.2 Recomendaciones

Se recomienda la aplicación de las nuevas tareas de mantenimiento después de realizar el análisis de AMEF.

Se recomienda garantizar la implementación del tipo de mantenimiento RCM, a partir de este estudio, realizar disciplinadamente las actividades que se desprendieron en cuanto a mantenimiento para la máquina granalladora bajo esfuerzo.

Se recomienda capacitar a los técnicos de mantenimiento en temas de producción ya que es de gran importancia que ellos tengan conocimiento sobre esto, e identifiquen el impacto de la criticidad del equipo sobre la producción.

Se recomienda al personal encargado de información, usar un nuevo formato para el reporte de fallas y paradas, uno en el cual la información sea más clara y concisa.

Se hace necesario realizar un inventario y marcación total que nos permita llevar un mejor análisis de repuestos en el almacén general, esto con el fin de agilizar la entrega evitando la demora de mantenimiento en el caso de que se presente cualquier evento y se pueda atender oportunamente.

Se recomienda la implementación del programa de mantenimientos sugerido, alimentándolo en el sistema (ERP SAP) puesto que si se lleva con buena práctica va tener un nivel de disponibilidad mucho más alto, adicional a esto una mejor imagen y aumento de productividad.

Finalmente se recomienda llevar un mejor análisis de repuestos en el almacén general, esto con el fin de agilizar la entrega evitando la demora de mantenimiento en el caso de que se presente cualquier evento y se pueda atender oportunamente

10 Bibliografía

- Allende Gutiérrez, C. B., & Sanhueza San Juan, N. A. (2019). *PROPUESTA DE PLAN DE MANTENIMIENTO PARA COMPACTADOR DE BASURA ALIMENTADO POR ENERGÍA FOTOVOLTAICA*. <https://repositorio.usm.cl/handle/11673/47906>
- Arismendy, L. A. G., & Galeano, H. B. (s. f.). *ELABORACIÓN DEL PLAN DE MANTENIMIENTO BASADO EN CONDICIÓN PARA LA FLOTA VEHICULAR DE MEZCLADORAS DE CONCRETO DE UNA EMPRESA PRODUCTORA DE CONCRETOS, MORTEROS Y DERIVADOS*. 107.
- Ayala, D. F. O., & Guerrero, M. L. F. (2016). *Propuesta de un plan de mantenimiento para las máquinas probadoras de inyectores de la empresa Diésel de Occidente*. 43.
- C, S., & E, J. (2017). *Propuesta de un plan de mantenimiento preventivo para la llenadora rotativa de la línea de producción de salsa a base de tomate y ketchup de la empresa Alimentos Garmi C.A.*, [Thesis]. <http://saber.ucv.ve/handle/123456789/16773>
- Estupiñan, E., & Cordero, O. (2019). Uso de la metodología FMECA -RCM, para la optimización De la estrategia de mantenimiento en una planta de tostación de cobre. *Using FMECA - RCM methodology as a tool for the optimization of the maintenance strategy in a copper roasting plant.*, 17(2), 21-30. <https://doi.org/10.24054/01204211.v2.n2.2019.3519>
- Jaramillo, K. E. B., & Reyes, J. J. R. (s. f.). *DISEÑO DE UN PLAN DE MEJORA DE LA GESTIÓN DE MANTENIMIENTO PARA EQUIPOS CRÍTICOS DE FÁBRICA BASADO EN LA FILOSOFÍA TPM APLICANDO HERRAMIENTAS DE SIMULACIÓN EN UN INGENIO AZUCARERO*. 130.
- Layme_rr.pdf*. (s. f.). Recuperado 30 de septiembre de 2020, de https://repositorioacademico.upc.edu.pe/bitstream/handle/10757/336943/layme_rr.pdf?sequence=1&isAllowed=y

López, C. E. B. (s. f.). *PROPUESTA PARA IMPLEMENTAR UN PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE UN HORNO DE INCINERACIÓN*. 121.

Mejía, L., & Antonio, M. (2017). Elaboración de plan de mantenimiento preventivo para sistemas técnicos del Centro Internacional de la Papa. *Repositorio Institucional - USIL*.
<http://repositorio.usil.edu.pe/handle/USIL/3652>

MONOGRAFIA LUIS Y CRISTHIAN .pdf. (s. f.). Recuperado 29 de septiembre de 2020, de
<https://repositorio.ecci.edu.co/bitstream/handle/001/179/MONOGRAFIA%20LUIS%20Y%20CRISTHIAN%20.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Ramos, M. G. M. (2016). *CÓDIGO: 65092002 CEDULA: 1014230012 TELÉFONO: 3157547282 CORREOELECTRÓNICO: sergios.paramoo@unilibrebog.edu.co*. 65.

Sosa, J. V. G., Quijada, J. L., Ontiveros, M. Á. L., Montoya, P. P., & Hernández, A. C. (2018).
MANTENIMIENTO INDUSTRIAL EN MÁQUINAS HERRAMIENTAS POR MEDIO DE AMFE.
Revista Ingeniería Industrial, 17(3), Article 3.
<http://revistas.ubiobio.cl/index.php/RI/article/view/3923>

Torres, J. S. U. (s. f.). *ELABORACIÓN DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA EQUIPOS DE LA LÍNEA DE PERFORACIÓN DE LA EMPRESA CIMENTACIONES DE COLOMBIA LTDA*. 135.

Ubaque, A. E. G. (2015). *PROPUESTA DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO AL COMPRESOR DE AIRE DOBLE TORNILLO HUMEDECIDO DE LA EMPRESA LOS COCHES MEGACENTRO*. 76.

Velásquez, M., & Alexander, J. (2019). *Aplicación de RCM como estrategia de implementación del mantenimiento predictivo para la metodología TPM.*

<https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/64727>

60812-une-FMEA.pdf—Free Download PDF. (s. f.). Recuperado 10 de enero de 2021, de

https://kupdf.net/download/60812-une-fmeapdf_5af7354ce2b6f566531e7bfb_pdf

MONOGRAFIA LUIS Y CRISTHIAN .pdf. (s. f.). Recuperado 29 de septiembre de 2020, de

<https://repositorio.ecci.edu.co/bitstream/handle/001/179/MONOGRAFIA%20LUIS%20Y%20CRISTHIAN%20.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

MONOGRAFIA LUIS Y CRISTHIAN .pdf. (s. f.). Recuperado 29 de septiembre de 2020, de

<https://repositorio.ecci.edu.co/bitstream/handle/001/179/MONOGRAFIA%20LUIS%20Y%20CRISTHIAN%20.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Velásquez, M., & Alexander, J. (2019). *Aplicación de RCM como estrategia de implementación del mantenimiento predictivo para la metodología TPM.*

<https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/64727>