



UNIVERSIDAD
PRIVADA
DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería Industrial

“APLICACIÓN DEL MANTENIMIENTO AUTÓNOMO
Y PLANIFICADO PARA REDUCIR LOS COSTOS
DEL MANTENIMIENTO EN UNA EMPRESA
METALMECÁNICA, AÑO 2019”

Trabajo de suficiencia profesional para optar el título
profesional de:

Ingeniero Industrial

Autor:

Victor Alejandro Guevara Jimenez

Asesor:

Ing. Mg. Miguel Ángel Oruna Rodríguez

Lima - Perú

2021

DEDICATORIA

Está dedicado para la vida que me ha enseñado que;
sí deseo más, necesito profesionalizarme, siempre
debemos preguntarnos ¿Qué quiero para futuro?
por ello la perseverancia debe estar en
cada momento de nuestra vida.

AGRADECIMIENTO

Primero a Dios por bendecirme una vez más y compartir esta felicidad con mis padres, mis hijos y hermanos que son pilares fundamentales para seguir creciendo en todo aspecto, a pesar del mal momento que está pasando el mundo producto del SARS_COV-2.

Finalmente agradecer a mi asesor y a todos los docentes de la Universidad UPN sede Los Olivos por sus enseñanzas, que me han acompañado en este camino profesional.

Tabla de contenidos

DEDICATORIA.....	2
AGRADECIMIENTO	3
ÍNDICE DE TABLAS.....	6
ÍNDICE DE FIGURAS.....	7
ÍNDICE DE ECUACIONES.....	10
RESUMEN EJECUTIVO	11
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN.....	12
1.1. Contextualización de la Experiencia.....	12
1.2. De la empresa.....	12
1.3. Misión	16
1.4. Visión.....	16
1.5. Productos y Servicios.....	17
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.....	26
2.1. Sustentos teóricos.....	26
2.2. Bases teóricas del estudio	31
2.3. Mantenimiento Autónomo	32
2.4. Mantenimiento Planificado	34
2.5. Costos de Mantenimiento.....	37
2.6. Herramientas de la calidad	39
CAPÍTULO III. DESCRIPCIÓN DE LA EXPERIENCIA.....	42
3.1. Problemática.....	42
3.1.1. Contextualización de la problemática.....	42
3.1.2. Contextualización del problema en la empresa	43
3.2. Formulación del Problema	43

3.4.	Estrategias de Desarrollo	44
3.5.	Descripción de la experiencia profesional	45
3.6.	Diagnóstico del área de Mantenimiento.....	45
3.7.	Realizar la implementación de las herramientas Lean Manufacturing.	63
CAPÍTULO IV. RESULTADOS		84
4.1	Fallas de Equipos	84
4.2	Variación de Costo Real vs Presupuesto 2019.....	85
4.3	Cumplimiento de Mantenimiento Preventivo.	87
4.4	Costos Mensuales de Mantenimiento Preventivo y Correctivo 2019	89
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		93
5.1	Conclusiones	93
5.2	Recomendaciones.....	94
REFERENCIAS		95
ANEXOS.....		99
Anexo 1: Reunión de Sensibilización.....		99
Anexo 2: Capacitación Mantenimiento Planificado		100
Anexo 3: Capacitación Mantenimiento Autónomo.....		101
Anexo 4: Capacitación en Inspección de Máquinas.....		102
Anexo 5: Formato de Inventario de Máquinas		103
Anexo 6: Ficha Técnica		104
Anexo 7: Formato de Lubricación.....		105
Anexo 8: Formato de Control de Lubricación		106
Anexo 9: Historial de Máquinas		107

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Estrategias de desarrollo para la aplicación de la propuesta	44
Tabla 2 Costos Mensuales de Mantenimiento Preventivo y Correctivo 2018.....	50
Tabla 3 Fallas por Máquina 2018	56
Tabla 4 Variación de Costo Real vs Presupuesto 2018	58
Tabla 5 Cumplimiento de Mantenimiento Preventivo 2018.....	59
Tabla 6 Resumen de los indicadores 2018	60
Tabla 7 Causas identificadas	60
Tabla 8 Frecuencia de ocurrencia de causas 2019	62
Tabla 9 AMEF Inicial.....	66
Tabla 10 Intervalo de Mantenimiento e Inspección	73
Tabla 11 AMEF post implementación.....	81
Tabla 12 Fallas por Máquina 2019	84
Tabla 13 Fallas por Máquina 2018 Vs 2019.....	85
Tabla 14 Variación de Costo Real vs Presupuesto 2019	86
Tabla 15 Variación de Costo Real vs Presupuesto 2018 y 2019	86
Tabla 16 Cumplimiento de Mantenimiento Preventivo 2019.....	87
Tabla 17 Cumplimiento de Mantenimiento Preventivo 2018 vs 2019	88
Tabla 18 Costos Mensuales de Mantenimiento Preventivo y Correctivo 2019.....	89
Tabla 19 Costos Mensuales de Mantenimiento Total 2018 y 2019.....	91
Tabla 20 Resumen de los indicadores 2018 y 2019	92

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Clientes.....	13
Figura 2 Organigrama 2018.....	14
Figura 3 Mecanizado CNC.....	17
Figura 4 Electroerosión por hilo.....	17
Figura 5 Electroerosión por penetración.....	18
Figura 6 Matriz de embutido.....	18
Figura 7 Matriz de Corte.....	19
Figura 8 Moldes.....	19
Figura 9 Mecanizados.....	20
Figura 10 Mecanizado de repuestos.....	20
Figura 11 Matriz de envase.....	21
Figura 12 Repuestos diversos.....	21
Figura 13 Cubetera para hielo.....	22
Figura 14 Máquina de inyección.....	22
Figura 15 Bisagras.....	23
Figura 16 Mandiles.....	23
Figura 17 Matrices.....	24
Figura 18 Repuestos para cerradoras.....	24
Figura 19 Repuestos para minería.....	25
Figura 20 Clasificación de mantenimiento planificado.....	35
Figura 21 Ejemplo de Diagrama Ishikawa.....	39
Figura 22 Ejemplo de Gráfico de Pareto.....	40
Figura 23 Ejemplo de AMEF.....	41
Figura 24 Organigrama área de Mantenimiento.....	46

Figura 25 Programa de mantenimiento 2017 - 2018	47
Figura 26 Flujograma del mantenimiento preventivo	48
Figura 27 Flujograma del mantenimiento correctivo	49
Figura 28 Costo Total vs Costo Presupuestado de Mantenimiento 2018.....	51
Figura 29 Costo de Mant. Preventivo vs Costo de Mant. Correctivo 2018.....	51
Figura 30 Centro Mecanizado CNC Mazak Smart 530.....	52
Figura 31 Torno Mecanizado CNC Mazak Smart 200.....	52
Figura 32 Erosionadora por hilo JSDEM W-B430.....	53
Figura 33 Erosionadora por penetración AZ75R JOEMARS	53
Figura 34 Torno Fresador HAAS ST30Y.....	54
Figura 35 Rectificadora Cilíndrica Mello.....	54
Figura 36 Rectificadora Plana Jotes	55
Figura 37 Compresora de Aire	55
Figura 38 Fallas por Máquina 2018.....	57
Figura 39 Cumplimiento de Mantenimiento Preventivo 2018	59
Figura 40 Diagrama Ishikawa.....	61
Figura 41 Diagrama de Pareto de Causas	62
Figura 42 Cronograma.....	64
Figura 43 Máquina de Mecanizado CNC	70
Figura 44 Estado de la Máquina de Mecanizado CNC.....	70
Figura 45 Señalización a tener en cuenta para limpieza.....	71
Figura 46 Inventario de máquinas	77
Figura 47 Ficha Técnica Centro Mecanizado CNC.....	78
Figura 48 Formato de Lubricación Centro Mecanizado CNC.....	78
Figura 49 Control de Lubricación Centro Mecanizado CNC.....	79

Figura 50 Historial de Centro Mecanizado CNC	80
Figura 51 Fallas por Máquina 2019.....	85
Figura 52 Cumplimiento de Mantenimiento Preventivo 2019	88
Figura 53 Costo Total vs Costo Presupuestado de Mantenimiento 2019	90
Figura 54 Costo de Mant. Preventivo vs Costo de Mant. Correctivo 2019.....	90
Figura 55 Costo de Mantenimiento Total 2018 vs 2019	91

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Variación del Costo	57
Ecuación 2. Cumplimiento de Mantenimiento Preventivo.....	58

RESUMEN EJECUTIVO

El presente informe de suficiencia profesional tuvo como objetivo reducir los costos del área de mantenimiento de una empresa metalmecánica para el periodo 2019 a partir de la aplicación de dos pilares del TPM: Mantenimiento Autónomo y Mantenimiento Planificado. Se eligieron estas herramientas que consisten en involucrar al personal usuario de las máquinas en el trabajo de mantenimiento e inspección periódica de los equipos y máquinas. En el análisis realizado, se dio a conocer que el costo total de mantenimiento superó en un 28.64% al presupuesto designado para el área, y las causas de este problema eran falta de capacitación en uso de la máquina e inspección diaria, falta de mantenimiento, estado no óptimo de los equipos, acumulación de viruta en la máquina, incumplimientos en las actividades de mantenimiento y que no se utilizan indicadores. Gracias a las competencias de identificación de problema, diseño y desarrollo de soluciones del autor, se aplicaron las herramientas descritas y gracias a eso los resultados para el periodo 2019 fueron positivos. El resultado principal fue que el presupuesto asignado para el periodo 2019 disminuyó en un 20% frente al 2018, esto debido a que el costo de mantenimiento se redujo en un 40.50% para el periodo 2019, con esto el costo de mantenimiento estaba dentro de lo presupuestado. Por otro lado, se mejoraron los indicadores de cumplimiento del mantenimiento preventivo de un 66.85% a un 85.17%, logrando la meta establecida por la empresa sobre este indicador. Además, hubo reducción de fallas por máquina, en el 2018 se tenía 212 fallas, y en el 2019 se redujo a 87 fallas significando una reducción del 58.96%. Se concluye que las herramientas de Mantenimiento Autónomo y Mantenimiento Planificado ayudan a la mejora de los costos gracias a la gestión que plantean de revisiones, inspecciones y mantenimiento periódico, así como instrucción a los usuarios de las máquinas.

Palabras clave: Mantenimiento Autónomo, Mantenimiento Planificado, Costos de Mantenimiento, Inspecciones.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1. Contextualización de la Experiencia

El autor del presente informe inicia sus labores en la empresa como un consultor externo en enero del 2018. Por necesidad de la empresa, se necesitaba una persona que pudiera realizar un diagnóstico de las actividades de mantenimiento y brindar las actividades necesarias para mejorar los indicadores del área. Como consultor, las responsabilidades y funciones eran mejorar el área de mantenimiento y con ello incrementar la productividad de la línea de producción, previniendo paradas de máquina y sobrecostos.

En el periodo de estudio de enero a setiembre del 2018 se realizaron tareas de conocimiento de la empresa, sus áreas, sus procesos, y particularmente el desarrollo de las actividades de mantenimiento. En setiembre, se inició el levantamiento de información del área, evaluación de indicadores, identificación de problemas y sus causas.

En diciembre del 2018 se proponen las actividades para mejorar la gestión de mantenimiento y con ello garantizar una reducción en los costos correspondientes a la misma. Esta propuesta se presentó a la Dirección General, siendo aceptada e implementada de inmediato. A fines del 2019 se recogieron los datos post-implementación para poder comparar y reconocer la mejora cuantitativa. Por consiguiente, los conocimientos recibidos en la formación académica y profesional universitaria, así como la experiencia profesional del autor en el área de mantenimiento, han permitido aportar en la mejora (reducción) de los costos del área.

1.2. De la empresa

La empresa bajo estudio fue fundada hace 20 años y desde entonces desarrolla sus actividades trabajando con empresas top en el rubro, teniendo su centro de operaciones en la ciudad de Lima. Ofrece bienes y servicios como diseño, fabricación, instalación y mantenimiento de maquinaria industrial, para la industria del plástico fabrica moldes de

inyección, para la industria manufacturera de envases metálicos ofrece fabricación de matricería del producto y repuestos de accesorios, también atiende trabajos para minería. Estos servicios se llevan a cabo gracias al equipamiento de última generación y lineamientos de calidad estrictamente cumplidos.

La empresa, en su búsqueda por seguir atendiendo a sus clientes, ha logrado conseguir homologarse como proveedor de cada una de ellas (Anexo 1). Este objetivo logrado demuestra el valor constante de entregar productos y servicios de calidad a sus clientes. Entre sus principales clientes tiene a FERREYROS S.A, GRUPO GLORIA S.A, GRUPO ELEKTRA S.A.B, COMPAÑIA GOODYEAR DEL PERU S.A, RECORD S.A, INDUSTRIAS DEL ENVASE S.A, CARTONES VILLA MARINA S.A., entre otras.

Figura 1

Cientes



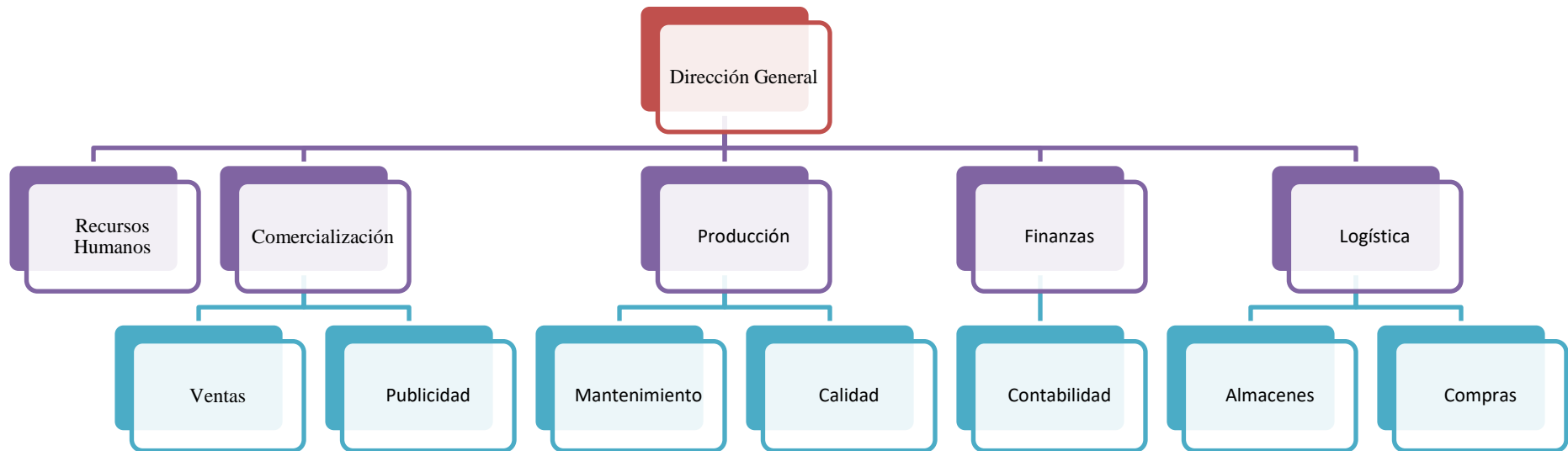
Organigrama

La empresa metalmeccánica cuenta con una estructura organizacional encabezada por el Director General, y seguido por la división de área: Recursos Humanos, Comercialización, Producción, Finanzas y Logística. A su vez, el área de Comercialización se divide en Ventas y Publicidad, el área de Producción se divide en Mantenimiento y Calidad, en el área de Finanzas encontramos al responsable de Contabilidad, y, por último, el área Logística se divide en Almacenes y Compras. La distribución gráfica se visualiza en la Figura 1.

Figura 2

Organigrama 2018

Organigrama 2018



Dirección General

Esta área es gestionada por el Director General quien presenta las estrategias, políticas y objetivos que seguirá la empresa para su crecimiento y desarrollo. Se encarga de coordinar directamente con todas las áreas.

Recursos Humanos

Área liderada por el Jefe de Recursos Humanos e integrada por él y un par de asistentes. Se encarga en todo lo concerniente al reclutamiento de personal, desarrollo de mecanismos que mejoren el talento propio de la empresa y mejore el clima laboral. También es responsabilidad del área brindar como mínimo todas las exigencias por ley a los trabajadores.

Comercialización

El área de Comercialización está dividida en las subáreas de Ventas, donde encontramos el encargado de ventas, y la subárea de Publicidad, liderada por el responsable de publicidad. Las funciones del área de ventas es la comunicación con los clientes para la recepción de requisitos, envío de cotizaciones, recepción de órdenes de compra, solicitud a las áreas encargadas de la expedición de productos y servicios, y servicio de postventa. Por otro lado, el responsable de publicidad está encargado de la administración de la página web, entrega de merchandising, y otros.

Producción

El área de producción está liderada por el Jefe de Producción e integrada por supervisores, operarios y auxiliares. Su función principal es de brindar el servicio y los productos requeridos. Se apoya en las áreas de mantenimiento, que vela por la disponibilidad de equipos, y en el área de calidad, que verifica que los procesos, productos y servicios sean realizados y entregados con la calidad requerida.

Finanzas

El área de finanzas se encarga de aprobar los presupuestos de las demás áreas, gestionar las inversiones y supervisar la labor de la subárea contable. El responsable de contabilidad se encarga del pago de impuestos, pago de planillas, y toda la gestión contable.

Logística

El área logística está conformada por el equipo de compras y el equipo de almacén. Se encarga de la gestión de proveedores, abastecimiento, inventarios, almacenamiento, distribución y transporte.

1.3. Misión

“Poder ofrecer calidad y eficiencia en cada proyecto confiado por los clientes. Asimismo, busca mejorar continuamente la calidad de sus servicios, productos y procesos, cumplir con las normas técnicas de seguridad, calidad y medio ambiente para satisfacer a los clientes”

1.4. Visión

“Posicionarse como líder en el rubro en el mercado nacional y poder atender al mercado internacional llevando la misma calidad y eficiencia”.

1.5. Productos y Servicios

1.5.1 Servicios

Mecanizado CNC

Se realiza servicio de mecanizado con máquinas CNC que garantizan una mejor precisión en el servicio ofrecido, se realizan mecanizados con y sin arranque de viruta.

Figura 3

Mecanizado CNC



Electroerosión

Electroerosión corte por hilo

Se trabaja con máquinas CNC de corte por hilo. Equipado con 5 ejes de movimientos para los trabajos más complejos de mecanizado. Aplicaciones especialmente en matricería de chapa, moldes de plástico, y también en la fabricación de repuestos de maquinarias.

Figura 4

Electroerosión por hilo



Electroerosión por penetración

Figura 5

Electroerosión por penetración



1.5.2 Productos

Matricería:

- Matriz de embutido

Figura 6

Matriz de embutido



- Matriz de Corte

Figura 7

Matriz de Corte



- Moldes

Figura 8

Moldes



- Mecanizados

Figura 9

Mecanizados



- Mecanizado de repuestos

Figura 10

Mecanizado de repuestos



- Matriz de envase

Figura 11

Matriz de envase



- Repuestos diversos

Figura 12

Repuestos diversos



Plásticos:

- Fabricación de Productos plásticos

Figura 13

Cubetera para hielo



- Servicio de Inyección

Figura 14

Máquina de inyección



Ferretería:

- Bisagras.

Figura 15

Bisagras



Industria Conservera:

- Mandiles y rolas

Figura 16

Mandiles



- Matrices

Figura 17

Matrices



- Repuestos para cerradoras

Figura 18

Repuestos para cerradoras



Minería:

- Repuestos para minería

Figura 19

Repuestos para minería



CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1. Sustentos teóricos

2.1.1. Antecedentes de la investigación

La investigación realizada por Cardona y Castaño (2019) titulada “Aplicación de los pasos I y II del plan de mantenimiento autónomo basado en el mantenimiento productivo total para el Grupo Santa María por la empresa EAT SERTA”, para optar por el título de Especialista en Gerencia de Mantenimiento, en Medellín, Colombia, tuvo como objetivo desarrollar un plan de mantenimiento basado en los pasos I y II del pilar Mantenimiento Autónomo de la metodología TPM para mejorar los indicadores de disponibilidad, mantenibilidad y confiabilidad de los equipos de bombeo de la planta Catamarán del Grupo Santa María. Para el éxito de esta implementación, se necesitó concientizar al personal y entrenarlo para poder llevar a cabo las nuevas actividades de manera correcta; además, se necesitó del apoyo de las áreas de compra y almacén para garantizar la disponibilidad de recursos (Cardona y Castaño, 2019). Entre los resultados obtenidos se obtuvieron los directos de las herramientas que son mejores condiciones de limpieza, eliminación de fuentes de contaminación y acceso a puntos inaccesibles de los equipos. Con ello, se mejoró también la cultura de la empresa frente a las actividades de mantenimiento y los indicadores medidos marcaban todos por encima de 90%. Se concluye que, para iniciar la implementación de estas herramientas, fue muy importante la sensibilización del personal (Cardona y Castaño, 2019).

Manjón (2018), en su investigación titulada “Mantenimiento planificado y su aplicación en la mejora de resultados de la empresa Ice Cream Factory Comaker”, publicado por la Universidad Politécnica de Valencia, en Valencia, España, tuvo como objetivo analizar la maquinaria de una de las líneas de producción de la empresa en estudio para conseguir la máxima eficiencia productiva y el mínimo de averías posibles siguiendo la filosofía del TPM. El pilar desarrollado en el estudio fue el de Mantenimiento Planificado, mediante el cual se

mejoró el Plan de Mantenimiento existente y se dio un mejor seguimiento y capacitación en su desarrollo (Manjón, 2018). Como resultado, se ve una mejora en la gestión de mantenimiento soportado por indicadores como confiabilidad y disponibilidad de equipos, así como personal más motivado y comprometido con las tareas a cargo. Se concluye que la implementación del TPM a cualquier nivel implica el compromiso y participación de parte de todas las áreas y empleados de la empresa, en distinta magnitud (Manjón, 2018).

Moyano, Piza y Zaruma (2013), en su artículo científico titulado “Implementación de un plan de mantenimiento autónomo en un taller mecánico industrial”, artículo publicado por la Escuela Superior Politécnica del Litoral, en Guayaquil, Ecuador, tuvo como objetivo reducir las paradas de los equipos que incurrían en altos costos de mantenimiento no presupuestados y baja productividad, con esto aumentar también la vida útil de las máquinas y equipos. Entre las herramientas que se utilizaron para llevar a cabo la implementación están el Mantenimiento Autónomo, herramientas de Calidad y aplicación de la metodología 5S (Moyano, Piza y Zaruma, 2013). Los autores concluyeron que la aplicación del mantenimiento autónomo ayudado de estándares y check list prolonga la vida útil de los equipos, máquinas y herramientas. También, con la ayuda de la aplicación de las 5S se logra preparar el área para poder desarrollar un mantenimiento preventivo de manera óptima. (Moyano, Piza y Zaruma, 2013). Se recomienda comprometer al personal, capacitarlo u entrenarlo constantemente para así poder mantener los planes de mantenimiento autónomo y preventivo.

En la investigación de Estupiñán y Cordero (2019) titulada “Uso de la metodología FMECA-RCM, para la optimización De la estrategia de mantenimiento en una planta de tostación de cobre”, publicada por la Revista de la Facultad de Ciencias Básicas de la Universidad de Pamplona, Colombia, tuvo como objetivo reducir los costos relacionados a la producción y mantenimiento mediante el aumento de la confiabilidad y el análisis de modo y

efecto de falla. Se determinó un ahorro significativo solo logrando mitigar las pérdidas de producción y reproceso. Se concluye que se debe expandir la aplicación de esta metodología a otras máquinas y así incrementar la eficiencia y reducir los costos que implica el mantenimiento (Estupiñán & Cordero, 2019)

Muentes (2019) en su investigación titulada “Propuesta de mejora mediante la metodología de Mantenimiento Productivo Total (TPM) para disminuir costos en una ensambladora de motos” publicada por la Universidad de Guayaquil, en Guayaquil, Ecuador, tuvo como objetivo disminuir los costos a partir de la metodología TPM. Principalmente se buscaba disminuir las incidencias de paradas no programadas de planta mediante el TPM con la aplicación de las 5S de base para estandarizar el área (Muentes, 2019). Gracias a la implementación del TPM, los costos logran mejorar en más de un 30%, y se tiene un número menos de incidencias de parada de planta y un buen flujo de materiales para mantenimiento preventivo. Muentes recomendó promover una cultura de mejora continua y realizar un seguimiento regular del mantenimiento preventivo (2019).

La investigación realizada por Fuentes (2015) titulada “Propuesta de un sistema de gestión de mantenimiento preventivo basado en los indicadores de overall equipment efficiency para la reducción de los costos de mantenimiento en la empresa Hilados Richad’s SAC”, para optar por el título de ingeniero industrial de Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo, en Chiclayo, Perú, tuvo como principal objetivo reducir los problemas inesperados en el proceso de mantenimiento para garantizar la prolongación de la vida útil de los equipos, contribuir a una mejora de la calidad del producto y sobre todo reducir los costos de producción. Para ello implementó un nuevo sistema de mantenimiento preventivo, mejoró la gestión por procesos y capacitó al personal. (Fuentes, 2015). Los resultados más esperados fueron la mejora de indicadores de eficiencia de equipos: disponibilidad, rendimiento y calidad (Fuentes, 2015). Fuentes concluye que la empresa lograría ahorrar aproximadamente

S/ 103,020.53 semestrales atendiendo de manera correcta las averías menores (2015).

Además, se logra disminuir las fallas gracias al seguimiento estricto del plan de mantenimiento. Se recomienda implementar otras herramientas de gestión de mantenimiento con el fin de mejorar los indicadores del OEE (Fuentes, 2015).

Bazán (2018), en su investigación titulada “Proyecto de mejora de Mantenimiento Productivo Total (TPM) para reducir los costos de mantenimiento en la empresa SETRAMI SAC”, para optar por el título de ingeniero industrial de Universidad Privada del Norte, en Trujillo, Perú, tuvo como objetivo disminuir las paradas de máquina, tiempos muertos, mantenimiento correctivo, costos de reparación y retrasos en la producción. Para el logro del objetivo, el autor implementó herramientas de gestión de mantenimiento basado en la metodología del TPM como Mantenimiento Programado, Mantenimiento Autónomo, Entrenamiento y 5S (Bazán, 2018). El resultado del trabajo de investigación fueron la optimización de uso de recursos económicos, tecnológicos, laborales y de seguridad, obteniendo así una reducción de costos de mantenimiento de S/ 345,33.07 (Bazán, 2018).

Bazán (2018) concluyó que la implementación de los pilares del TPM: Entrenamiento, Mantenimiento Autónomo y Mantenimiento Programado logran reducir los costos de mantenimiento de manera significativa en la empresa en estudio, además, los indicadores de gestión mejoraron en un 28% general, la implementación de las 5S mejoró el ambiente de trabajo proporcionando dinamismo al proceso productivo y finalmente, la implementación de estas herramientas fue factible o viable económicamente. Se recomienda tomar importancia de la supervisión de las actividades de mantenimiento y brindar herramientas a los técnicos para que puedan realizar sus actividades.

La investigación de Morillo (2018) en su tesis titulada “Aplicación del Mantenimiento Autónomo para incrementar la Productividad en el Área de Mantenimiento de Máquinas Herramienta de la empresa AIRTEC S.A., Callao 2018”, publicado por la

Universidad César Vallejo, Lima, Perú, tuvo como objetivo principal incrementar la productividad del proceso productivo mediante la aplicación del Mantenimiento Autónomo. Se identificó el problema en el área de mantenimiento donde existía deficiencias en las capacidades y habilidades del personal por falta de capacitación (Morillo, 2018). En los resultados, se logró evidenciar que la aplicación del Mantenimiento Autónomo incrementa significativamente la productividad del proceso ya que mejora el uso de las horas hombre. Se recomienda implementar todos los pilares del TPM (Morillo, 2018).

Condori y Hurtado (2020) en su tesis titulada “aplicación de la metodología AMEF para disminuir los costos de mantenimiento en una planta de bloques de concreto en el año 2019”, publicado por la Universidad Privada del Norte, Lima, Perú, tuvo como objetivo disminuir los costos de mantenimiento a partir del análisis de modo y efecto de falla de cada máquina. Gracias al análisis, se pudo tomar acciones inmediatas para reducir el riesgo de cada fallo y adicional a eso proponer mejorar en cuanto a gestión de mantenimiento (Condori & Hurtado, 2020). Como resultado de la aplicación de las herramientas mencionadas, se disminuyó un 34% en los costos entre un periodo y otro, gracias a la atención de mantenimiento preventivo sobre el correctivo. Además, mejoraron otros indicadores evaluados como la cantidad de fallas que se redujeron en 13% y se propuso capacitaciones constantes que se cumplieron durante todo el tiempo evaluado (Condori & Hurtado, 2020). Condori y Hurtado concluyeron que gracias al AMEF los operarios pudieron reconocer sus equipos y poder prevenir sus averías impactando directamente en los costos de mantenimiento (2020).

La investigación de Sánchez (2018) titulada “Propuesta de implementación de un sistema de gestión de mantenimiento para disminuir los costos del área de mantenimiento de la empresa DH Empresas Perú S.A., Lima 2018” publicada por la Universidad Privada del Norte, Lima, Perú, tuvo como objetivo mejorar la disponibilidad y confiabilidad de los equipos que se encontraba debajo del 80% produciendo que los costos sobrepasaran el presupuesto

asignado. Se implementó un sistema de gestión de mantenimiento brindando políticas, objetivos, indicadores y plan de mantenimiento (Sánchez, 2018). Como resultado, la empresa redujo sus incidencias de mantenimiento en un 20%, la confiabilidad incrementó en un 5%, logrando una confiabilidad del 85%, y los costos se redujeron en un 31.7%. Se concluyó que una gestión de mantenimiento era necesario para controlar el mantenimiento de equipos.

2.2. Bases teóricas del estudio

2.2.1 Mantenimiento productivo total

Para Hernández y Vizán (2013) el Mantenimiento Productivo Total o TPM, por sus siglas en inglés, es un grupo de herramientas y técnicas que buscan la participación y compromiso de todos los colaboradores para poder eliminar los desperdicios encontrados en el sistema. Se identifican 6 grandes pérdidas: tiempo muerto en averías y preparación y ajustes, velocidad reducida, tiempo en vacío, defectos y repetición de proceso, y menor rendimiento de las máquinas (Hernández & Vizán, 2013).

2.2.2 Mejoras Enfocadas

Este pilar del TPM busca la mejora continua e invita a encontrar una oportunidad de mejora para eliminar uno de los grandes desperdicios dentro de la empresa o dentro de un área en particular (Sacristán, 2002).

2.2.3 Mantenimiento Autónomo

Se prepara al mismo usuario de máquina para que sepa detectar la falla antes de que afecte a toda la producción, aprenda a realizar los ajustes y le realice el mantenimiento preventivo de manera óptima (Sacristán, 2002).

2.2.4 Mantenimiento Planificado

Este pilar busca tener una buena gestión de mantenimiento para poder asegurar la disponibilidad de las máquinas y disminuir los costos (Sacristán, 2002).

2.2.5 Mantenimiento de Calidad

Este pilar busca reconocer y eliminar los problemas por los que los productos podrían salir defectuosos. Consiste en identificar las causas raíz y eliminarlas (Sacristán, 2002).

2.2.6 Prevención del mantenimiento

Busca disminuir las causas que provocan que se realice mantenimiento a los equipos mediante la reingeniería de equipos (Sacristán, 2002).

2.2.7 Actividades de departamentos administrativos y de apoyo

Busca reforzar la participación de estas áreas imitando la cultura de mejora continua de las áreas operativas (Sacristán, 2002).

2.2.8 Formación y Adiestramiento

Formar al personal de acuerdo a las necesidades de la actividad, proceso, área o empresa (Sacristán, 2002).

2.2.9 Gestión de Seguridad y Entorno

Busca gestionar los riesgos relacionados con la seguridad de la planta (Sacristán, 2002).

2.3. Mantenimiento Autónomo

2.3.1 Definición

Flores (2018) define al mantenimiento autónomo como uno de los pilares fundamentales para poder lograr la aplicación del Mantenimiento Productivo Total mediante el cual se asegura la disponibilidad y mantenimiento de las maquinarias y equipos en condiciones óptimas para los fines de la empresa. El éxito de esta herramienta radica en la capacitación, entrenamiento y compromiso de los operarios de máquina y otros colaboradores (Flores, 2018), de esta manera cada uno sabrá diagnosticar las fallas que se presenten y prevenirlas en el futuro, haciendo que las máquinas tengan un mayor tiempo de vida útil (Velez, 2015)

2.3.2 Objetivo

EL objetivo principal de esta herramienta de mantenimiento es mantener y conservar las máquinas con el compromiso, participación de los operarios de cada máquina (Flores, 2018). Con esto también se persigue mejorar la eficiencia de las áreas, participación de los involucrados en el proceso y uso de la maquinaria, mejora las habilidades y el funcionamiento en general de los procesos (Flores, 2018).

2.3.3 Beneficios

Según Carreras y García (2010), los beneficios más relevantes de la aplicación del mantenimiento autónomo es que reducen los costos referidos al mantenimiento e incrementan la productividad, además mejoran la calidad de los productos ya que el proceso productivo es estable y está monitoreado, además, aumenta la confiabilidad de los equipos y su disponibilidad. La aplicación de esta herramienta también es importante porque al capacitar al operario en su uso y forma de mantenimiento se previene los errores de manipulación y el daño de algunas piezas de los equipos (Velez, 2015).

2.3.4 Etapas de Implementación

Carreras y García proponen las siguientes etapas para la implementación del mantenimiento autónomo: Estado inicial, eliminar las fuentes de suciedad y zonas de difícil acceso; e inspección (2010).

Estado inicial

En este paso se debe dejar la máquina en el estado inicial tal y como fue entregado por el proveedor. También llamado puesta a cero, este paso asegura dejar la máquina totalmente limpia, sin rastros de suciedad ni soluciones, y así poder visualizar mejor las fallas con las que podría estar trabajando.

Eliminar las fuentes de suciedad y las zonas de difícil acceso

Se deben identificar los agentes de suciedad para poder eliminarlos o mitigarlos. Se consideran los residuos de la misma operación de la máquina como factores del mal funcionamiento.

Inspeccionar el equipo

Este paso busca capacitar a los usuarios de las máquinas en las inspecciones correspondientes, sean diarias, visuales, etc. El objetivo es que el mismo personal sea autónomo y sepa reconocer posibles fallas en la máquina y prevenir paradas.

2.3.5 Indicadores

Cumplimiento de capacitación al personal

Este indicador busca medir el porcentaje de cumplimiento de las capacitaciones realizadas respecto a las capacitaciones programadas (Ríos, 2020). La fórmula es cantidad de capacitaciones realizadas entre cantidad de capacitaciones programadas por 100%.

Número de averías

Este indicador se propone para conocer la cantidad de averías encontradas en determinado periodo de una o más máquinas evaluadas.

2.4. Mantenimiento Planificado

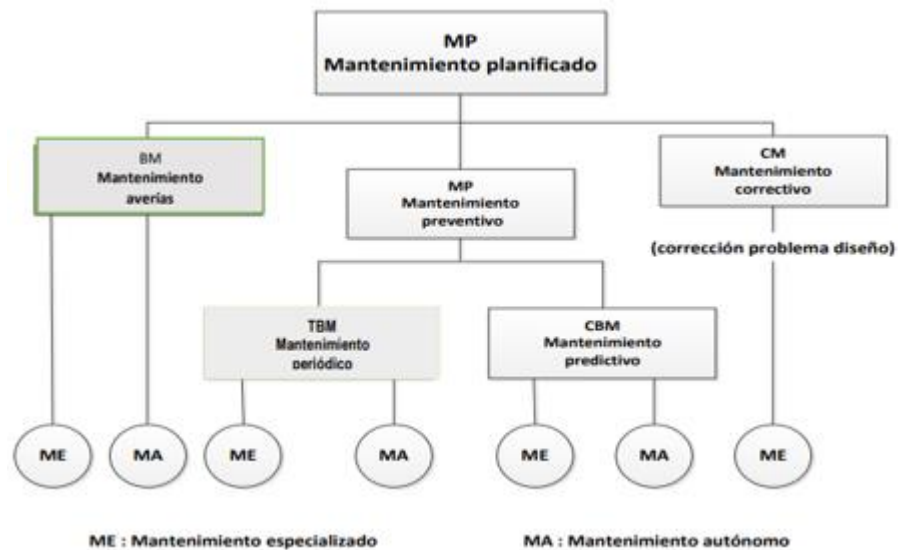
2.4.1 Definición

Cuatrecasas y Torrell (2010) definieron al mantenimiento planificado como un sistema de mantenimiento cuyas actividades era programadas y buscaba mantener un centro de producción sin averías, despilfarros, defectos ni accidentes; el éxito dependería de una participación conjunta de las áreas de mantenimiento y producción. Por otro lado, se define al mantenimiento planificado como el conjunto de actividades que se realizan para prevenir y reconocer aquellos estados de la máquina que resultarán en intermisión de la línea productiva, y que se realizan en un periodo programado (Ruiz, 2013). Con estas actividades

el equipo no debería presentar ninguna complicación hasta su siguiente intervención (Ruiz, 2013). El mantenimiento planificado según Cuatrecasas y Torrell se divide en Mantenimiento de Averías, Mantenimiento Preventivo y Mantenimiento Correctivo (2010).

Figura 20

Clasificación de mantenimiento planificado



Nota. Tomado de *TPM en un entorno Lean Management.*, de L. Cuatrecasas y F. Torrell, 2010, Barcelona: Profit Editorial.

2.4.2 Objetivo

Para Velez (2015), el objetivo del mantenimiento planificado es conservar el equipo y con ello todo el proceso en condiciones favorables para los intereses de la empresa. Así también lo es diseñar los periodos de la realización de tareas en los momentos menos perjudiciales y antes de que aparezca algún fallo o avería de la máquina (Cuatrecasas & Torrell, 2010).

2.4.3 Beneficios

Ruiz (2013) sostuvo que los beneficios de la aplicación del mantenimiento planificado, y sobre todo de un mantenimiento preventivo son:

- Disminuyen la cantidad de mantenimiento correctivo y paradas de máquina gracias a la prevención de estos.
- Mejora la eficiencia de las máquinas y con ello la producción
- Se reducen costos ya que se reducen las fallas frecuentes, el tiempo de reparación, se controla mejor el trabajo (seguimiento) y se tienen menos productos defectuosos.

2.4.4 Etapas de Implementación

Según Cuatrecasas y Torrell (2010) las etapas de implementación del mantenimiento planificado son:

- Seleccionar un equipo encargado de la gestión del mantenimiento de equipos que pertenezca al proceso productivo y de mantenimiento.
- Planificar el mantenimiento de acuerdo en las sugerencias el fabricante y condiciones del equipo.
- Registrar los fallos.
- Realizar formatos de sencillo entendimiento para que se puedan estandarizar las actividades de mantenimiento.
- Realizar el seguimiento al mantenimiento planificado (cumplimiento)
- Asegurar la disponibilidad de repuestos y materiales.

Ruiz (2013) en su aplicación de mantenimiento planificado utiliza los siguientes formatos:

Lista de verificación: Listas en los que se chequea actividades diarias para poder asegurar la disponibilidad del equipo.

Hoja de Vida del Equipo: Es una hoja de registro donde se detallas los trabajos de mantenimiento aplicados al equipo y sirve para poder hacer el seguimiento correspondiente.

Estado del Equipo: Evaluar la situación de la máquina y sus componentes de forma minuciosa y detallada para programar la corrección de las fallas encontradas.

Programa de Lubricación y Mantenimiento: Es la realización de un cronograma de las actividades correspondientes al programa propuesto y debe contener los ciclos de tiempo a realizar las actividades.

2.4.5 Indicadores

Cumplimiento de Plan de Mantenimiento

Según López (2015), el cumplimiento del plan de mantenimiento hace referencia a qué porcentaje de este se cumple eficazmente. Se halla dividiendo el número de actividades del plan de mantenimiento preventivo realizados entre el total de actividades planificadas en el plan de mantenimiento preventivo por 100%.

Tasa de Mantenimiento Preventivo

La tasa de mantenimiento preventivo se halla dividiendo el costo del mantenimiento preventivo entre el costo total de mantenimiento (costo de mantenimiento preventivo más correctivo) por 100% (Ruiz, 2013).

Tasa de Mantenimiento Correctivo

La tasa de mantenimiento correctivo se halla dividiendo el costo del mantenimiento correctivo entre el costo total de mantenimiento (costo de mantenimiento preventivo más correctivo) por 100% (Ruiz, 2013).

2.5. Costos de Mantenimiento

2.5.1 Definición

Se define como costo de mantenimiento a todos los costos generados por las actividades realizadas en la gestión de mantenimiento de equipos (Cabrera, Ortiz & Cruz, 2019). Es el costo de tener las máquinas y equipos en un estado de funcionalidad (Ipinza,

2012). Sin embargo, algunos autores también definen como parte del costo de mantenimiento ese costo que se incurre por pérdida de producción o de calidad (Arango, 2009).

Ruiz (2013) define un mantenimiento eficiente cuando hay armonía entre el costo del mantenimiento preventivo y correctivo, generando disponibilidad de las máquinas y una alta productividad. Asimismo, Ruiz define que, si tenemos un bajo costo en mantenimiento preventivo y alto costo en mantenimiento correctivo, incurrimos en un bajo mantenimiento que genera pérdidas en la producción por las fallas recurrentes que aparecen; por otro lado, tener un alto costo de mantenimiento preventivo y un bajo costo de mantenimiento correctivo genera un exceso de mantenimiento y también baja productividad por el exceso de actividades y tiempos en que se realiza el mantenimiento de equipos (2013).

2.5.2 Importancia

Según Cabrera, Ortiz y Cruz (2019), las empresas miden su competitividad basados en la funcionabilidad de planta, por ello, es vital que los equipos de producción se conserven en buen estado y disponibles teniendo un manejo conveniente de su costo de mantenimiento.

2.5.3 Indicadores

Los costos de mantenimiento son de por sí un indicador que engloba todos los costos de la gestión de mantenimiento: costos de intervención, costos de fallas, costos de almacenamiento de repuestos, y costos de sobreinversión (Figuroa, 2015).

Costos de intervención: Refiere a costos de mano de obra, consumibles y repuestos usados.

Costos de fallas: Refiere que se genera al parar el funcionamiento de la máquina.

Costos de almacenamiento: Refiere al costo de mantener inventario de repuestos.

Costos de sobreinversión: Refiere a las inversiones realizadas en implementación de mejoras en el área.

El costo de mantenimiento es la suma de los anteriores descritos.

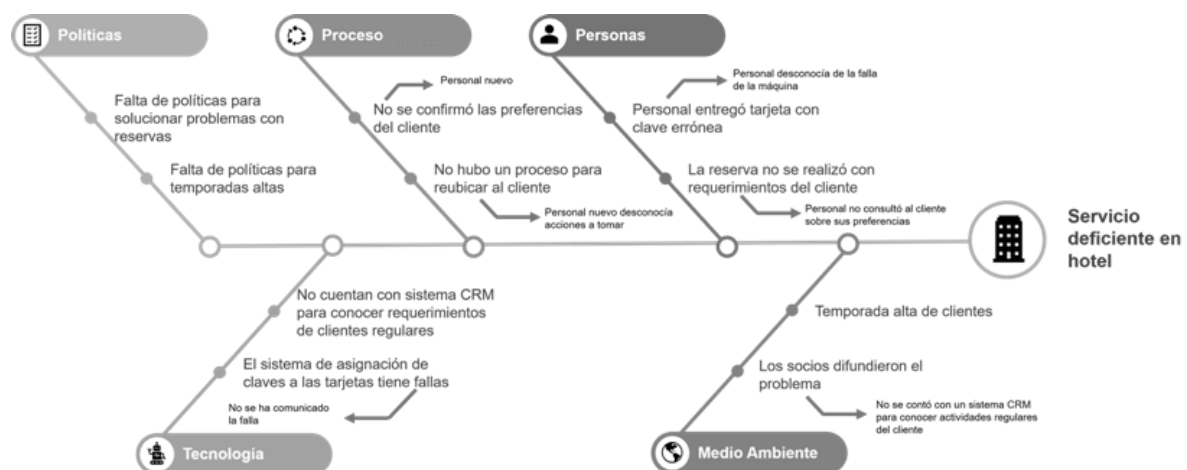
2.6. Herramientas de la calidad

2.6.1 Ishikawa

El diagrama de Ishikawa, o también llamado diagrama causa-efecto y diagrama espina de pescado, es una herramienta utilizada para la identificación de causas raíz de un problema en determinado proceso o área (Lemos, 2016). Con este gráfico, las empresas no solo identifican las causas, sino que permite tomar decisiones eficientes para la corrección de estas (González, 2014).

Figura 21

Ejemplo de Diagrama Ishikawa



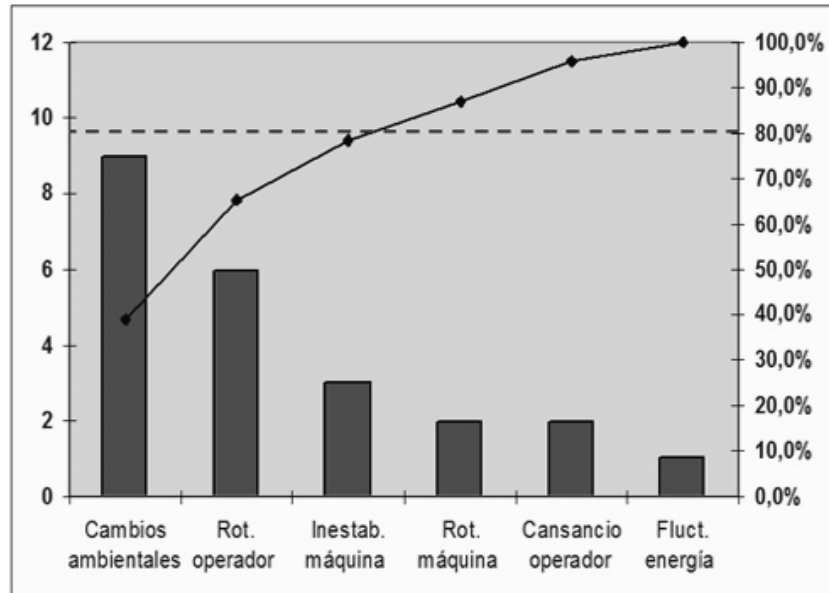
Nota. Tomado de *Ejemplos de Diagrama Ishikawa*, de Plan de Mejora, 2021.

2.6.2 Pareto

El diagrama de Pareto, también llamado Gráfico de 80-20 y distribución ABC, es una herramienta que brinda de manera gráfica diferenciar los problemas más importantes o que impactan en mayor proporción a una empresa (González, 2014). Un beneficio de usar esta herramienta es que facilita la toma de decisiones al conocer los problemas más graves e iniciando por atenderlos. Se dice que el 80% de los problemas presentados se puede resolver atendiendo el 20% de las causas (González, 2014).

Figura 22

Ejemplo de Gráfico de Pareto



Nota. Tomado de *La Mejora Continua – Diagrama de Pareto*, de Calidad y Gestión – Consultoría para empresas, 2012.

2.6.3 AMEF

El Análisis de Modo y Efecto de Falla (AMEF), es un análisis que se da a determinado proceso, equipo, maquinaria y otro para poder reconocer los posibles modos en que este puede fallar (Integra Markets, 2017). Trata de encontrar las causas a cada modo de falla encontrado y con ello describir también la consecuencia o efecto que puede tener (Integra Markets, 2017).

Busca brindar acciones preventivas y correctivas e indicar la prioridad de cada modo de falla por medio del Nivel de Prioridad de Riesgo (NPR) (Cóndor, 2020).

CAPÍTULO III. DESCRIPCIÓN DE LA EXPERIENCIA

3.1. Problemática

3.1.1. Contextualización de la problemática

El sector metalmeccánico es uno de los sectores con mayor importancia para el desarrollo de un país, ya que al ser un eje articulador que atiende a muchos otros sectores, genera inversión, capital y empleo en la nación (Sociedad Nacional de Industrias [SNI], 2019). Las empresas que se desarrollan en este sector proveen a otros sectores como el automotriz, minería, manufacturera, plástico, construcción, transporte etc. (Posada, 2020).

En el Perú, desarrollarse en este sector requiere estar a la vanguardia con la maquinaria a usar tener personal calificado a fin de ser competitivos, reconocidos y poder seguir evolucionando la industria nacional (Posada, 2020). Sin embargo, existen otros factores que son necesarios para el éxito de una empresa: la constante innovación en sus procesos, productos y servicios, incrementar la calidad del servicio o producto ofrecido, reducir los costos incurridos, etc. Según Zegarra (2017), todas las industrias buscan ser más competentes mejorando la eficiencia de sus líneas de producción desde la mejora del mantenimiento de sus equipos. Esto significa evitar averías, defectos en los productos, paradas de máquinas y pérdidas de tiempo y confianza de los clientes.

Es importante priorizar una adecuada gestión de mantenimiento predictivo, preventivo y reactivo con el fin de que esta gestión se convierta en una fortaleza para la empresa en vez de un centro de costos (Tacca, 2018). Con esto, también se logra tener una mejor productividad, mejorar la vida útil de equipos y maquinarias, y tener menos tiempo de máquina parada (Tacca, 2018), y por ende se hace un uso correcto de los recursos económicos, de personal y de equipos (Zegarra, 2017).

Contextualización del problema en la empresa

La empresa metalmecánica en estudio presenta un alto costo de mantenimiento. De acuerdo con la información recogida, se supera el presupuesto asignado y no solo afecta a nivel de presupuesto, sino que genera paradas de máquina y averías que perjudican la calidad y el tiempo de producción. Las causas de los problemas presentados son: no existe un plan de mantenimiento, se lleva a cabo solo mantenimiento correctivo según el manual de las máquinas, el personal no hace revisiones periódicas ni conoce por completo las máquinas que operan, y no existe una cultura de prevención y cuidado.

Por ello, la empresa debe asegurar la confiabilidad de sus equipos y tener un mejor desempeño mientras disminuye los costos, usando herramientas que trabajen con el reconocimiento de la operación de las máquinas y con el mantenimiento que hay que aplicar.

3.2. Formulación del Problema

3.2.1. Problema General

¿Cómo la aplicación del mantenimiento autónomo y planificado reducirá los costos de mantenimiento de la empresa metalmecánica en el año 2019?

3.2.2. Problemas Específicos

¿Cuál es la situación actual del área de mantenimiento de la empresa metalmecánica en el año 2018?

¿Cómo aplicar el Mantenimiento Autónomo y Mantenimiento Planificado en la empresa metalmecánica en el año 2019?

¿Cuál es el resultado de la aplicación del Mantenimiento Autónomo y Mantenimiento Planificado en la empresa metalmecánica en el año 2019?

3.3. Objetivos

3.3.1. Objetivo General

Aplicar el mantenimiento autónomo y planificado para reducir los costos de mantenimientos de la empresa metalmecánica en el año 2019.

3.3.2. Objetivos Específicos

1. Elaborar el diagnóstico de la situación actual del área de mantenimiento en la empresa metalmecánica en el año 2018.
2. Aplicar el Mantenimiento Autónomo y Mantenimiento Planificado en la empresa metalmecánica en el año 2019.
3. Medir el beneficio de la aplicación del Mantenimiento Autónomo y Mantenimiento Planificado en la empresa metalmecánica en el año 2019.

3.4. Estrategias de Desarrollo

Para lograr los objetivos trazados en el presente trabajo, se implementaron las estrategias como se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1

Estrategias de desarrollo para la aplicación de la propuesta

Fase	Objetivos	Herramientas/Modelos
Diagnóstico	Elaborar el diagnóstico de la situación actual del área de mantenimiento en la empresa metalmecánica en el año 2019	Levantamiento de información Inspección de equipos Falla de equipos Indicadores Lluvia de ideas Diagrama de Ishikawa Diagrama de Pareto
Implementación	Aplicar el Mantenimiento Autónomo y Mantenimiento Planificado en la empresa metalmecánica en el año 2019	Diagrama Gantt Mantenimiento Autónomo Mantenimiento Planificado
Evaluación	Medir el beneficio de la aplicación del Mantenimiento Autónomo y Mantenimiento Planificado en la empresa metalmecánica en el año 2019	Número de fallas por máquinas Variación del costo de mantenimiento vs el presupuesto Cumplimiento del Mantenimiento Preventivo

3.5. Descripción de la experiencia profesional

El autor Víctor Alejandro Guevara Jiménez ingresa a la empresa en estudio en enero del 2018 como consultor externo de Mantenimiento. La empresa requería de sus servicios en el área de mantenimiento ya que estaba sufriendo paradas de máquina que estaban afectando no solo a su producción en cantidad sino también en calidad, ocasionando altos costos de mantenimiento aún por encima de lo presupuestado. Las funciones de Víctor Alejandro Guevara Jiménez fueron:

- Reconocer el proceso de producción y observar el funcionamiento de las máquinas y equipos en el área.
- Hacer un diagnóstico de la situación actual de la empresa.
- Supervisar las actividades de mantenimiento.
- Programar mantenimiento.
- Capacitar al personal.
- Proponer mejoras en el área.
- Administrar los documentos del proceso de mantenimiento.

De acuerdo con estas funciones, es dónde el autor de este informe analiza las actividades y propone un plan de mejora basado en los dos primeros pilares del TPM que son Mantenimiento Autónomo y Mantenimiento Planificado para reducir finalmente los costos de mantenimiento. Sin embargo, al implementar, no solo se mejoraron los costos, sino el funcionamiento y disponibilidad de las máquinas también.

3.6. Diagnóstico del área de Mantenimiento

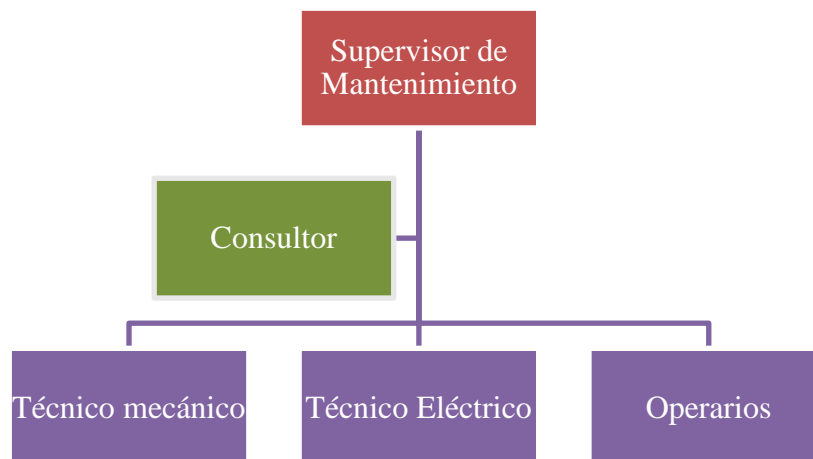
3.5.1. Área de mantenimiento

Para iniciar con el diagnóstico, se tienen que entender el desarrollo actual del área de mantenimiento. Este está conformado por el Supervisor de Mantenimiento y los técnicos

mecánicos y eléctricos; al equipo se suma el consultor y los operarios que son los usuarios de las máquinas, pero también parte del área de producción.

Figura 24

Organigrama área de Mantenimiento



3.5.2. Mantenimiento Preventivo

La empresa en estudio tiene un Plan de Mantenimiento Preventivo el cual no se ejecuta ni se da seguimiento. En la Figura 22 se muestra el flujograma del mantenimiento preventivo. En este se indica que se inicia con la programación de la actividad, luego se solicitan los materiales, piezas, e insumos correspondientes para llevar a cabo la actividad. Los técnicos reciben estos materiales e inician la actividad correspondiente. Los operarios se encargan de dejar las máquinas sin restos de materia para que pueda hacerse el mantenimiento correctamente.

Figura 25

Programa de mantenimiento 2017 - 2018

INDUSIG													
PRESICION ENGINEERING						MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE COMPRESORAS DE TORNILLO							
MACHING	DATE	NEX	DATE	NEX	DATE	NEX	DATE	NEX	DATE	NEX	DATE	NEX	DATE
CO-1	20/01/2017	12/02/2017	09/02/2017	28/02/2017	05/03/2017	25/03/2017	02/04/2017	25/04/2017	26/04/2017	09/05/2017	12/05/2017	01/06/2017	03/06/2017
Filt-air	no		no		si		no				no		si
CO-2	20/01/2017	12/02/2017	09/02/2017	28/02/2017	05/03/2017	25/03/2017	02/04/2017	25/04/2017	26/04/2017	09/05/2017	12/05/2017	01/06/2017	03/06/2017
Filt-air	si		si		si		si		si		si		si
CO-3	15/01/2017	05/02/2017	10/02/2017	03/03/2017	05/03/2017	25/03/2017	27/03/2017	17/04/2017	04/05/2017	24/05/2017	30/05/2017	20/06/2017	24/06/2017
Filt-air	si		si		si		si		si		si		si
secador-1	20/01/2017	12/02/2017	09/02/2017	28/02/2017	05/03/2017	25/03/2017	02/04/2017	25/04/2017	26/04/2017	09/05/2017	12/05/2017	01/06/2017	03/06/2017
secador-2	15/01/2017	05/02/2017	10/02/2017	03/03/2017	05/03/2017	25/03/2017	27/03/2017	17/04/2017	04/05/2017	24/05/2017	30/05/2017	20/06/2017	24/06/2017
CO-1	01/07/2017	22/07/2017	25/07/2017	15/08/2017	7NEW				04-11-17		15-11-17	05-12-17	14-12-17
Filt-air	si		no								si		si
CO-2	01/07/2017	22/07/2017	25/07/2017	15/08/2017	19-09-17	10-09-17	27-09-17	20-10-17	04-11-17		15-11-17	05-12-17	14-12-17
Filt-air	si		si		si		si				no		si
CO-3	15/07/2017	05/08/2017	17-08-17	10-09-17	13-09-17	05-10-17	31-10-17		31-10-17	20-11-17	22-11-17	12-12	27-12-17
Filt-air	si								si		si		si
secador-1	01/07/2017	22/07/2017	25/07/2017	15/08/2017	19-09-17		27-09-17	20-10-17	04-11-17		12-12	14-12-17	10-1-18
secador-2	15/07/2017	05/08/2017	17-08-17	10-09-17	13-09-17	05-10-17		31-10-17			20-11-17	12-12	27-12-17

80 días

Inspección y limpieza de compartimento de elementos, radiador y con partimento electrónico, inspección y cambio por condición de filtro de aire este mantenimiento se realiza por haber alta contaminación de polvo en el area

Nota. Fotografía de la empresa metalmeccánica.

3.5.3. Mantenimiento Correctivo

El mantenimiento correctivo por definición es aquel que se realiza luego de que la máquina falla. Es el tipo de mantenimiento que la empresa utilizaba más, ya que preferían parar cuando no hay nada más que hacer, que programar para prevenir. Las correcciones las realizaban los técnicos, sin embargo, debido al tipo de máquinas, muchas veces el problema era más complejo y delicado, por lo que se tenía que acudir a un tercero. La Figura 23 muestra el flujograma del mantenimiento correctivo, que iniciaba con la máquina que falla, lo revisaban los técnicos, si no lo podían arreglar, se acude a un tercero para que pueda solucionar el inconveniente.

Figura 26

Flujograma del mantenimiento preventivo

FLUJOGRAMA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO



Figura 27

Flujograma del mantenimiento correctivo



Continuando con el diagnóstico del área de mantenimiento, el Jefe de Producción indicó que para el periodo 2018 el presupuesto mensual fue de S/ 7,500.00, lo que anual significaba S/ 90,000.00. Sin embargo, el gasto por mantenimiento fue de aproximadamente S/ 115,783.85 durante dicho periodo. El exceso del costo de mantenimiento sobre el presupuestado es de 28.64%.

Tabla 2

Costos Mensuales de Mantenimiento Preventivo y Correctivo 2018

Mes	Preventivo	Correctivo	Total	Presupuestado
Enero	S/5,820.59	S/2,650.00	S/8,470.59	S/7,500.00
Febrero	S/4,582.46	S/6,953.25	S/11,535.71	S/7,500.00
Marzo	S/2,648.51	S/6,985.25	S/9,633.76	S/7,500.00
Abril	S/4,163.57	S/7,152.65	S/11,316.22	S/7,500.00
Mayo	S/4,125.68	S/5,865.24	S/9,990.92	S/7,500.00
Junio	S/3,418.59	S/4,875.56	S/8,294.15	S/7,500.00
Julio	S/4,122.85	S/4,662.59	S/8,785.44	S/7,500.00
Agosto	S/4,583.26	S/5,782.25	S/10,365.51	S/7,500.00
Setiembre	S/4,685.25	S/6,187.14	S/10,872.39	S/7,500.00
Octubre	S/3,664.58	S/4,865.56	S/8,530.14	S/7,500.00
Noviembre	S/3,446.96	S/5,814.85	S/9,261.81	S/7,500.00
Diciembre	S/4,985.65	S/3,741.56	S/8,727.21	S/7,500.00
Total	S/50,247.95	S/65,535.90	S/115,783.85	S/90,000.00

En la Figura 24 se muestra gráficamente cómo todos los meses se excede el presupuesto designado para el área de mantenimiento. Por otro lado, en la Figura 25 se muestra una comparación de los costos mensuales del mantenimiento preventivo y del mantenimiento correctivo. Se aprecia que, los costos de mantenimiento correctivo son los que dominaban y de ello se puede entender que el incremento del costo se debe a una mala planificación del mantenimiento, lo que lleva a tener muchas paradas para llevar a cabo un mantenimiento correctivo, que no siempre se resuelve con personal de la empresa, sino que requiere muchas veces tercerizar el servicio.

Figura 28

Costo Total vs Costo Presupuestado de Mantenimiento 2018

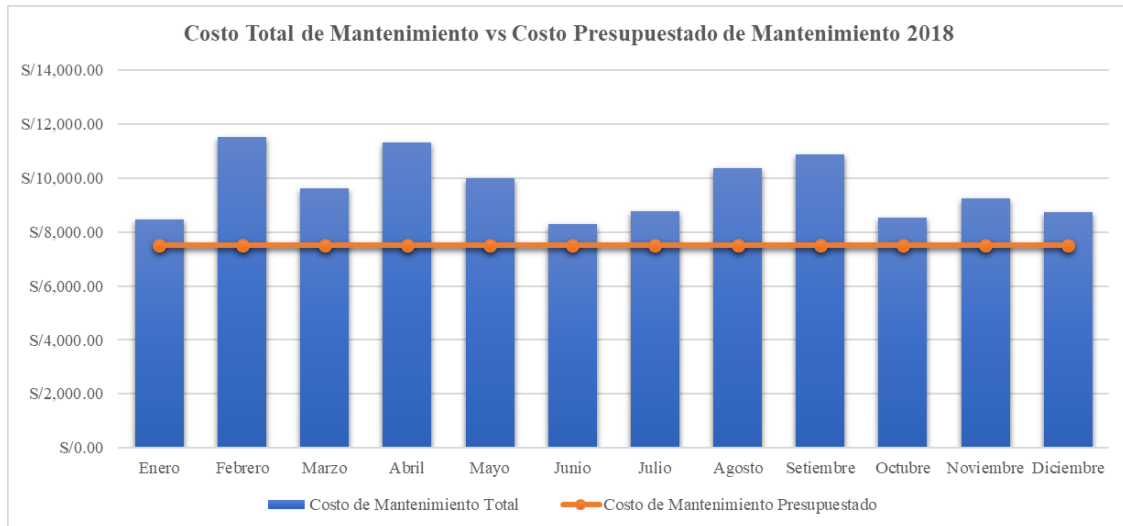
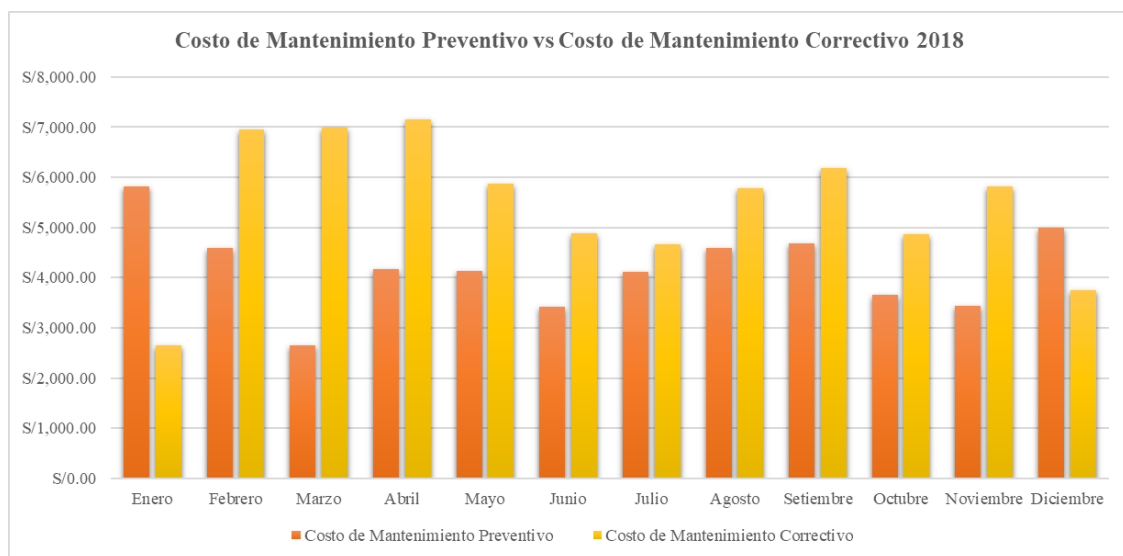


Figura 29

Costo de Mant. Preventivo vs Costo de Mant. Correctivo 2018



3.5.4. Equipos

Los equipos que intervienen en el área de mantenimiento estudiada son Centro Mecanizado CNC, Centro Torneado CNC, Electroerosionadora Corte por Hilo, Electroerosionadora por Penetración, Fresadora, Torno Paralelo Rectificadora Cilíndrica, Rectificadora Plana y Compresora de Aire.

Centro Mecanizado CNC

Son centros de mecanizado vertical, la intervención humana es mínima gracias a los 5 ejes de posición en combinación de giro, aplicado a trabajar en diferentes materiales a mínimas y altas rpm sin perder la fiabilidad y garantiza una alta productividad, cada marca tiene su programación bajo los códigos G y M.

Figura 30

Centro Mecanizado CNC Mazak Smart 530



Centro Torneado CNC

Los centros de torneado son de tipo paralelo, revolver y vertical, trabajan mayormente desplazándose en los ejes de posición X, Z en algunas maquinas tiene incorporado el desplazamiento eje Y, también en su cabezal tiene alojado un máximo de 20 portaherramientas distintas, en su programación cada marca tiene sus propios códigos como G y M.

Figura 31

Torno Mecanizado CNC Mazak Smart 200



Electroerosionadora Corte por Hilo

Corte por hilo a través del arco eléctrico entre el hilo y el material generando forma la pieza deseada. Su escala de trabajos es desde un simple corte hasta moldes con ángulo de alivio. Los tipos de materiales a mecanizar deben conducir la electricidad entre ellos tenemos un acero dulce hasta el grafito.

Figura 32

Erosionadora por hilo JSDEM W-B430



Electroerosionadora por Penetración

Mecanizado por penetración de un electrodo en una pieza diseñada para copiar en el molde, el electrodo usualmente está fabricado de cobre o grafito. Todos los mecanizados son para moldes de plástico.

Figura 33

Erosionadora por penetración AZ75R JOEMARS



Fresadora y Torno Paralelo

El mecanizado de cualquier pieza se realiza manualmente para cada uno de los procesos.

Figura 34

Torno Fresador HAAS ST30Y



Rectificadora Cilíndrica

Se realiza mecanizado de pieza de gran envergadura, los procesos se realizan manualmente.

Figura 35

Rectificadora Cilíndrica Mello



Rectificadora Plana

Realiza trabajos de acabado preciso en diferentes materiales como metálicos o no metálicos. Utiliza una rueda redonda giratoria de aspecto abrasivo y en la mesa se encuentra la pieza a trabajar ejecuta movimiento de derecha a izquierda, la eliminación de material se ejecuta levemente para evitar daños en la rueda abrasiva, piezas y accidente al operador.

Figura 36

Rectificadora Plana Jotes



Compresora de Aire.

Abastece aire comprimido para el funcionamiento de las maquinas CNC.

Figura 37

Compresora de Aire



3.5.5. Fallas de Equipos

Se identificaron 9 máquinas principales que tienen una mayor participación en las actividades de producción. Se procesó el registro de fallas por equipo, con esto se puede entender también el alto costo de mantenimiento correctivo. Estos datos se encuentran resumidos en la Tabla 3. Se muestra que las fallas del centro mecanizado CNC representa el 26.42% del total, el centro torneado CNC un 24.53%, las electroerosionadoras corte por hilo y por penetración representan un 11.79% y 8.02% respectivamente, la fresadora representa un 7.55%, el torno paralelo representa un 6.60%, las rectificadoras cilíndrica y plana un 6.60% y 4.72% respectivamente, y la compresora de aire presenta un 3.77% del total de fallas. En la Figura 34 se puede apreciar gráficamente como están distribuidas las fallas por cada máquina del proceso de producción.

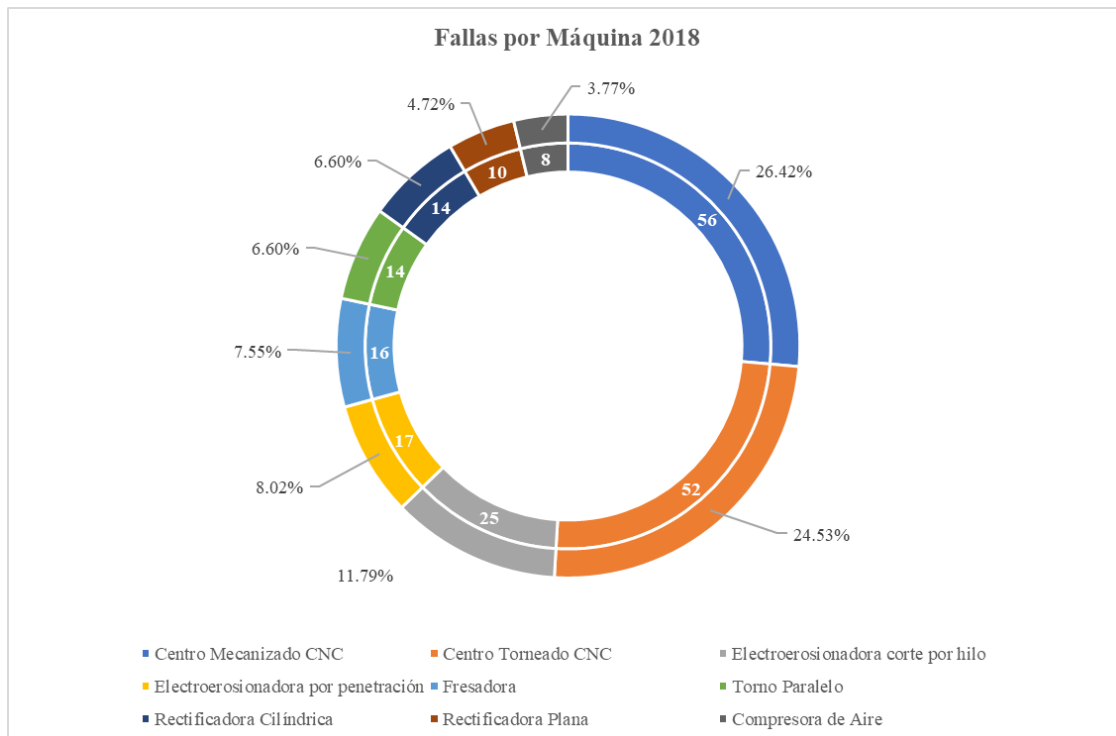
Tabla 3

Fallas por Máquina 2018

Equipos	N° Fallas	Porcentaje
Centro Mecanizado CNC	56	26.42%
Centro Torneado CNC	52	24.53%
Electroerosionadora corte por hilo	25	11.79%
Electroerosionadora por penetración	17	8.02%
Fresadora	16	7.55%
Torno Paralelo	14	6.60%
Rectificadora Cilíndrica	14	6.60%
Rectificadora Plana	10	4.72%
Compresora de Aire	8	3.77%
Total	212	100%

Figura 38

Fallas por Máquina 2018



3.5.6. Indicadores

Con el fin de continuar con el diagnóstico de la situación actual del área de mantenimiento, se decidió evaluar algunos indicadores que pudieran evidenciar cómo se encontraba la gestión.

Variación del costo de mantenimiento vs el presupuesto. Este indicador mide en qué porcentaje se sobregiró el presupuesto. El resultado positivo indica que se usó más de lo presupuestado, un resultado negativo indica que se gastó dentro de lo presupuestado. La fórmula es:

$$\text{Variación del costo (\%)} = \frac{(\text{Costo real de mantenimiento} - \text{Presupuesto})}{\text{Presupuesto de mantenimiento}} \times 100\%$$

Ecuación 1. Variación del Costo

El resultado de este indicador para el periodo 2018 se muestra en la Tabla 4, considerar que los costos de mantenimiento son la adición de los correspondientes a

mantenimiento preventivo y mantenimiento correctivo. Se muestra que a lo largo de todo el periodo 2018 se encuentra un costo mayor a lo presupuestado.

Tabla 4

Variación de Costo Real vs Presupuesto 2018

Mes	Total	Presupuestado	Variación (S/)	Variación (%)
Enero	S/8,470.59	S/7,500.00	S/970.59	12.94%
Febrero	S/11,535.71	S/7,500.00	S/4,035.71	53.81%
Marzo	S/9,633.76	S/7,500.00	S/2,133.76	28.45%
Abril	S/11,316.22	S/7,500.00	S/3,816.22	50.88%
Mayo	S/9,990.92	S/7,500.00	S/2,490.92	33.21%
Junio	S/8,294.15	S/7,500.00	S/794.15	10.59%
Julio	S/8,785.44	S/7,500.00	S/1,285.44	17.14%
Agosto	S/10,365.51	S/7,500.00	S/2,865.51	38.21%
Setiembre	S/10,872.39	S/7,500.00	S/3,372.39	44.97%
Octubre	S/8,530.14	S/7,500.00	S/1,030.14	13.74%
Noviembre	S/9,261.81	S/7,500.00	S/1,761.81	23.49%
Diciembre	S/8,727.21	S/7,500.00	S/1,227.21	16.36%
Total	S/115,783.85	S/90,000.00	S/25,783.85	28.65%

Cumplimiento de Mantenimiento Preventivo.

Este indicador mide el avance de las actividades de mantenimiento respecto a lo programada en el plan de mantenimiento. La fórmula es:

$$\text{Cumplimiento de Mantenimiento Preventivo (\%)} = \frac{\text{Mantenimiento realizado}}{\text{Mantenimiento programado}} \times 100\%$$

Ecuación 2. Cumplimiento de Mantenimiento Preventivo

El resultado de este indicador para el periodo 2018 se muestra en la Tabla 5. La empresa espera cumplir en por lo menos un 75% de lo planificado. En la Tabla 5 se muestra que este indicador se cumplió en los meses enero y julio. En la Figura 35 se muestra el gráfico donde se visualiza los meses que se logró cumplir con el porcentaje de cumplimiento esperado por la empresa.

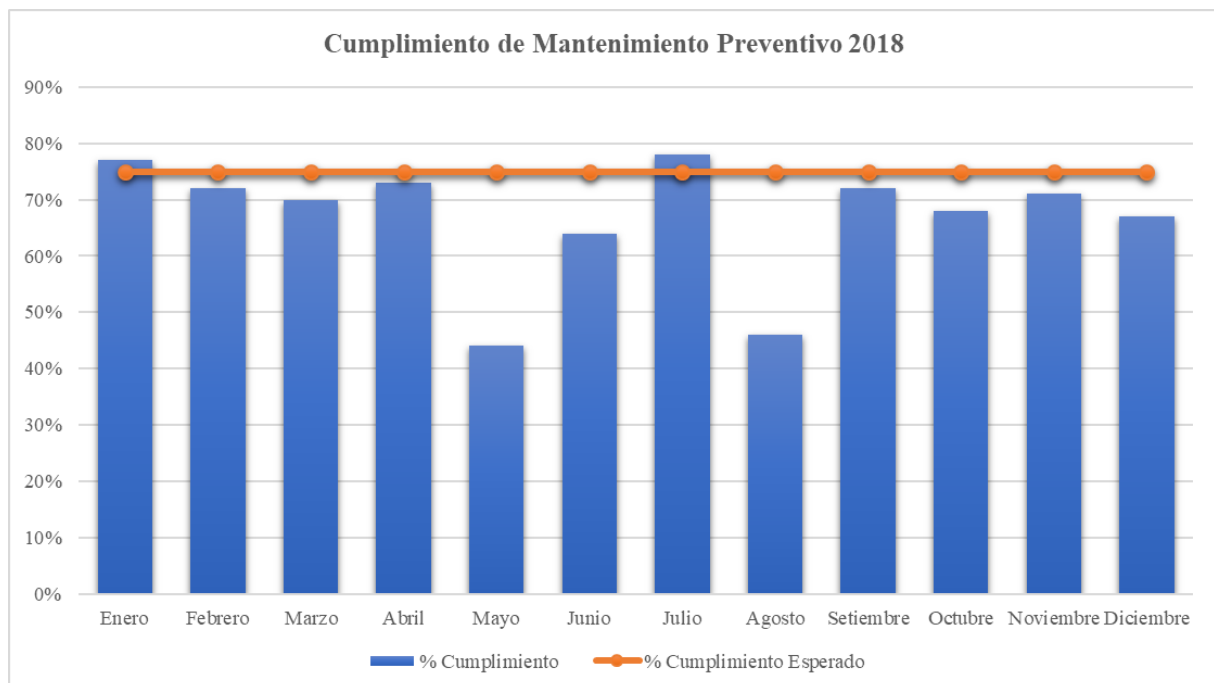
Tabla 5

Cumplimiento de Mantenimiento Preventivo 2018

Mes	% Cumplimiento
Enero	77%
Febrero	72%
Marzo	70%
Abril	73%
Mayo	44%
Junio	64%
Julio	78%
Agosto	46%
Setiembre	72%
Octubre	68%
Noviembre	71%
Diciembre	67%
Promedio	66.83%

Figura 39

Cumplimiento de Mantenimiento Preventivo 2018



La Tabla 6 muestra en resumen los resultados de los indicadores evaluados para poder determinar el problema que aqueja al área de mantenimiento.

Tabla 6

Resumen de los indicadores 2018

Indicador	Objetivo	Resultado
Variación de costo y presupuesto de mantenimiento	Medir la variación del exceso o sobregiro del presupuesto asignado al área.	28.65%
Cumplimiento de mantenimiento preventivo	Medir la cantidad de actividades realizadas vs la cantidad de actividades programadas para ese periodo.	66.83%
Número de Fallas	Cantidad de fallas encontradas en determinado periodo.	212

Con los datos recogidos del área, se pudo determinar que el problema es que existe una variación considerable entre el presupuesto y el costo real de mantenimiento. Esto se debe en principio al bajo cumplimiento del plan de mantenimiento y al alto índice de fallas.

3.5.7. Análisis de causas

Se determinaron las siguientes causas para el alto porcentaje de variabilidad en los costos de mantenimiento. Estas causas han sido agrupadas en la Tabla 7 en base a las 6M.

Tabla 7

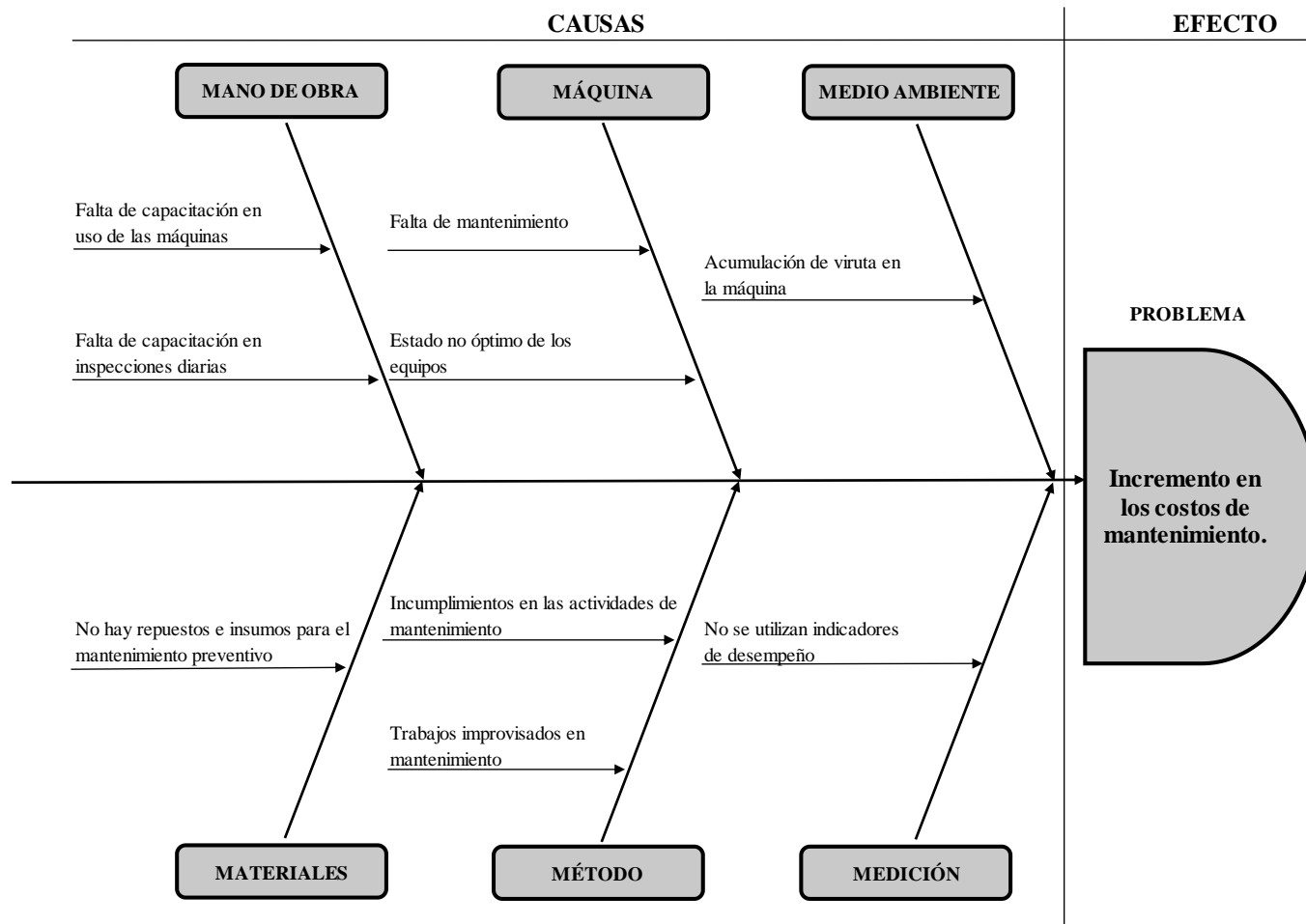
Causas identificadas

Categoría	Causa identificada
Mano de Obra	Falta de capacitación en uso de la máquina
	Falta de capacitación en inspección diaria
Máquina	Falta de mantenimiento
	Estado no óptimo de los equipos
Medio Ambiente	Acumulación de viruta en la máquina
Materiales	No hay repuestos e insumos para el mantenimiento preventivo
Método	Incumplimientos en las actividades de mantenimiento
	Trabajos improvisados en mantenimiento
Medición	No se utilizan indicadores de desempeño

Tomando el mismo criterio de las 6M, se procedió a elaborar el diagrama de Ishikawa (Figura 40).

Figura 40

Diagrama Ishikawa



Luego, en conjunto con el equipo de mantenimiento, se procedió a puntuar de acuerdo con la frecuencia y severidad de cada causa. Esta evaluación se muestra en el diagrama de Pareto en la Figura 41.

Figura 41

Diagrama de Pareto de Causas

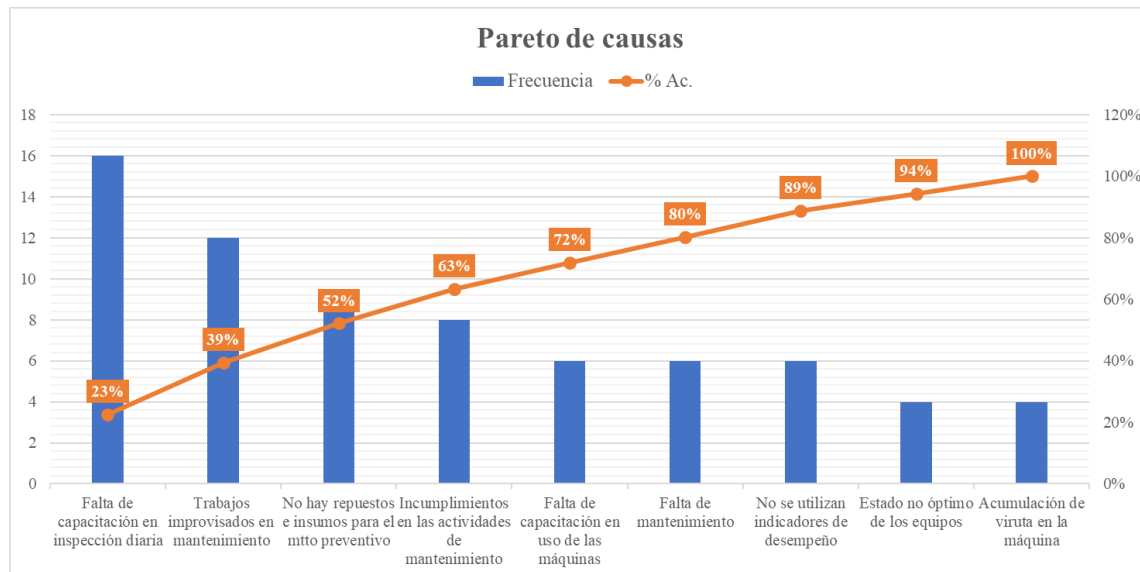


Tabla 8

Frecuencia de ocurrencia de causas 2019

Causa	Frecuencia	%	% Ac.
Falta de capacitación en inspección diaria	16	23%	23%
Trabajos improvisados en mantenimiento	12	17%	39%
No hay repuestos e insumos para el mantenimiento preventivo	9	13%	52%
Incumplimientos en las actividades de mantenimiento	8	11%	63%
Falta de capacitación en uso de las máquinas	6	8%	72%
Falta de mantenimiento	6	8%	80%
No se utilizan indicadores de desempeño	6	8%	89%
Estado no óptimo de los equipos	4	6%	94%
Acumulación de viruta en la máquina	4	6%	100%
	71	100%	

El 50% de las causas originan el 63% de las ocurrencias siendo estas todas relacionadas por un inadecuado mantenimiento preventivo. Por otro lado, el 25% de las causas relacionadas con la falta de mantenimiento autónomo originan el 25% de ocurrencias. Con ello, se muestra

que la implementación de los dos pilares del TPM, Mantenimiento autónomo y planificado, se soluciona el 78% de los casos evaluados

3.7. Realizar la implementación de las herramientas Lean Manufacturing.

3.7.1. Descripción de las actividades

Las actividades por realizar en la aplicación del mantenimiento autónomo y planificado serían:

1. Reunión de sensibilización y comunicación.
2. Capacitación en las herramientas a aplicar.
3. AMEF inicial
4. Mantenimiento Autónomo:
 - a. Poner las máquinas al estado inicial
 - b. Eliminar las fuentes de suciedad y las zonas de difícil acceso
 - c. Capacitación en mantenimiento inspección de la maquinaria
5. Plan de Mantenimiento Preventivo: inspecciones periódicas, ajuste o sustitución de piezas, limpieza, lubricación y calibración.
6. AMEF después de aplicar las herramientas.

3.7.2. Cronograma

Figura 42

Cronograma

Implementación *Aplicación de Mantenimiento Autónomo y Mantenimiento Planificado*

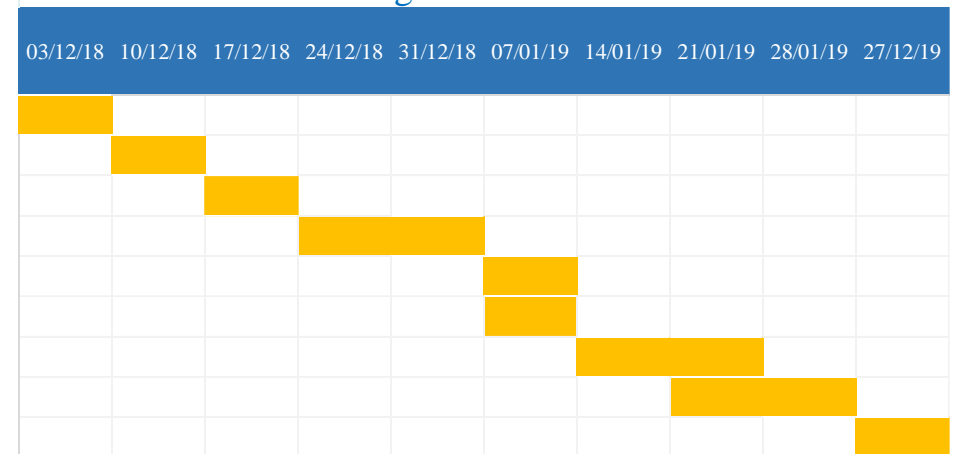
Fecha de inicio: *3/12/2018*

Días planeados de trabajo: *58*

Fecha de fin: *30/01/2019*

N°	Descripción de la etapa	Duración de la etapa (días)	Comienzo	Fin
1	Reunión de sensibilización y comunicación.	6	03/12/18	08/12/18
2	Capacitación en las herramientas a aplicar.	6	10/12/18	15/12/18
3	AMEF inicial	6	17/12/18	22/12/18
4	Poner las máquinas al estado inicial	8	26/12/18	05/01/19
5	Eliminar las fuentes de suciedad y las zonas de difícil acceso	3	07/01/19	09/01/19
6	Capacitación en inspección de la maquinaria	3	10/01/19	12/01/19
7	Plan de Mantenimiento Preventivo	10	14/01/19	24/01/19
8	AMEF después de aplicar las herramientas.	3	25/01/19	28/01/19
9	Evaluación de Indicadores post implementación	2	26/12/19	27/12/19

Diagrama de Gantt



3.7.3. Implementación

Reunión de sensibilización y comunicación.

Se realizaron dos reuniones, una para poder conversar con la dirección de la empresa y hacer de su conocimiento lo que acontecía en el área de mantenimiento y las estrategias que se tomarían para poder mejorar esos aspectos. Se buscó también hacer entender la importancia tanto para la empresa como para los empleados el aplicar estas técnicas. La segunda reunión fue la de comunicación que se dio a nivel de áreas, de producción y mantenimiento. Se realizó esta reunión para poder comunicar la intención de aplicar las herramientas de gestión de mantenimiento y su importancia en la empresa (Anexo 1).

Capacitación en las herramientas a aplicar.

Se programan capacitaciones en Mantenimiento Autónomo y Mantenimiento Planificado antes de aplicar las herramientas. Se realizan estas capacitaciones para que el operario o persona a ejecutar las actividades de aplicación sepa cómo, por qué y para qué se realiza cada actividad. Se realizaron 4 capacitaciones: Mantenimiento Autónomo (Anexo 2), Máquina CNC, Mantenimiento Preventivo (Anexo 3), uso de formatos. Asimismo, se elaboró un plan de capacitaciones en temas de mantenimiento para tener actualizados a los operarios sobre el uso de las máquinas y otras herramientas que les permitan mejorar su trabajo.

AMEF inicial

Se realizó un Análisis de Modo y Efecto de Falla inicial para poder determinar los modos de falla y cómo es que se están abordando los efectos antes de la aplicación de las herramientas. A su vez, el AMEF ayuda a determinar qué componentes deben ser atendidos prioritariamente gracias al Nivel de Prioridad de Riesgo (NPR), indicador que se determina por el nivel de ocurrencia, severidad y detección.

Tabla 9

AMEF Inicial

ANÁLISIS DE MODO Y EFECTO DE FALLA (AMEF) INICIAL								
Nombre del equipo: Mecanizado CNC			Elaborado por: Víctor Guevara					
COMPONENTES	MODO DE FALLO POTENCIAL	EFECTOS POTENCIALES DE FALLO	CAUSAS POTENCIALES DE FALLO	ACCIONES A TOMAR	G	O	D	NPR
Eje	No arranca Se para pese a que está programado	Máquina parada	Insuficiente capacidad o problemas con la fuente de energía.	Preparar una fuente de poder con los requerimientos de la máquina	3	6	1	18
			Temperatura del ambiente del eje mayor a 40°C.	Bajar la temperatura del ambiente	5	7	3	105
			Trabajo por mucho tiempo	Reducir la carga del eje	4	5	6	120
			El eje está defectuoso	Contactar con el proveedor	5	8	5	200
	No se completa la orientación del eje El estado de la orientación no se puede cancelar	Piezas defectuosas	La unidad de manejo del eje o el motor del eje están defectuosos. Hay problemas con el eje.	Contactar con el proveedor	5	4	5	100
	Sonido o vibración anormal mientras el eje está en rotación	Máquina parada	El eje está rotando a una velocidad muy alta con una herramienta montada que ocasiona desbalance	Cambiar a una herramienta que haga balance	4	7	3	84
			La unidad de manejo del eje o el motor del eje están defectuosos.	Contactar con el proveedor	3	6	2	36
	Las operaciones de sujetar y soltar no se completan	Piezas defectuosas	El sensor está defectuoso	Cambiar sensor	2	4	5	40
			El sensor no está asegurado	Montar correctamente el sensor	5	3	6	90
			La válvula hidráulica está defectuosa o bloqueada	Revisar el sistema hidráulico Contactar con el proveedor	6	9	6	324
			El cilindro que permite sujetar y soltar está defectuoso		5	4	4	80
			El circuito hidráulico tiene fuga de aceite		4	6	4	96
			Tomillos sueltos		3	4	5	60
	Fuga de Aceite	Piezas defectuosas Parada de máquina	El sello del cilindro que permite sujetar y soltar está usado	Contactar con el proveedor	6	1	4	24
	No llega el flujo de aire al ATC	Máquina parada	No está conectado la fuente externa de aire	Conectar la fuente externa de aire	4	4	1	16
No para de llegar el flujo en el ATC	Averías	La electroválvula está defectuosa	Contactar con el proveedor	5	8	6	240	

Tabla 9

AMEF Inicial

ANÁLISIS DE MODO Y EFECTO DE FALLA (AMEF) INICIAL								
Nombre del equipo: Mecanizado CNC				Elaborado por: Víctor Guevara				
COMPONENTES	MODO DE FALLO POTENCIAL	EFECTOS POTENCIALES DE FALLO	CAUSAS POTENCIALES DE FALLO	ACCIONES A TOMAR	G	O	D	NPR
Repositorio ATC	El repositorio no rota La posición de parada del repositorio se bloquea desde la correcta posición Un ruido anormal se genera cuando el repositorio está girando	Averías mecánicas	Una herramienta que excede las especificaciones de tamaño de la herramienta se almacena en el repositorio	Guardar herramientas adecuadas	4	5	2	40
			Hay residuos de materiales en el rodillo	Remover/limpiar los elementos extraños	3	4	2	24
			La unidad de accionamiento del cargador está defectuosa	Contactar con el proveedor	5	4	6	120
			El motor de rotación del cargador está defectuoso	Contactar con el proveedor	6	2	5	60
	El ATC no opera	Máquina parada	El motor de accionamiento está averiado	Contactar con el proveedor	2	5	5	50
			La unidad ATC está defectuosa	Contactar con el proveedor	4	8	6	192
Sistema Neumático	La presión es menor a 0.5MPa (70psi)	Avería neumática	Capacidad insuficiente de la fuente de aire externo	Preparar y conectar la fuente externa según requerimiento de la máquina	4	4	2	32
			La válvula reductora en la unidad de aire está defectuosa	Cambiar la válvula reductora	3	6	5	90
			El separador de neblina en la unidad de aire está defectuoso	Cambiar el filtro	2	5	3	30
			Fuga en el circuito neumático	Contactar con el proveedor	5	4	2	40
			El interruptor de presión de aire, montado en la unidad del eje, está defectuoso.	Contactar con el proveedor	5	2	6	60
	El aire se escapa constantemente a través del puerto de drenaje de la unidad de aire.	Parada de máquina	El drenaje automático del separador de neblina está defectuoso	Cambiar el separador de neblina	3	4	6	72
Lubricación del husillo y eje lineal	No se consume aceite o grasa lubricante	Averías	La tubería está bloqueada	Contactar con el proveedor	5	5	3	75
			La bomba de la unidad de lubricación centralizada está defectuosa	Contactar con el proveedor	5	5	3	75
	El aceite lubricante o la grasa se consumen de forma anormalmente rápida	Averías Residuos en la máquina	La tubería está suelta	Contactar con el proveedor	4	7	3	84

Tabla 9

AMEF Inicial

ANÁLISIS DE MODO Y EFECTO DE FALLA (AMEF) INICIAL								
Nombre del equipo: Mecanizado CNC				Elaborado por: Víctor Guevara				
COMPONENTES	MODO DE FALLO POTENCIAL	EFFECTOS POTENCIALES DE FALLO	CAUSAS POTENCIALES DE FALLO	ACCIONES A TOMAR	G	O	D	NPR
Sistema de refrigerante	El refrigerante no está descargado Se reduce el volumen de descarga de refrigerante	Calentamiento de la máquina Parada de máquina	El filtro está obstruido	Limpiar el filtro	3	7	2	42
			La cantidad de refrigerante es insuficiente	Reponer el refrigerante especificado	1	4	4	16
			La boquilla de descarga está bloqueada	Limpiar la boquilla	2	4	3	24
	Refrigerante a través del husillo no se descarga. Refrigerante a través del husillo se reduce el volumen de descarga.	Avería	El filtro de línea está obstruido.	Limpiar el filtro de línea.	3	5	2	30
	No se descarga refrigerante	Calentamiento de la máquina Parada de máquina	Debido al enclavamiento: puerta del operador abierta, tecla de menú de parada de refrigerante ENCENDIDA, herramienta especial seleccionada	Elimine la causa del bloqueo.	3	6	3	54
			La bomba de refrigerante está defectuosa	Contactar con el proveedor	5	3	5	75
			La electroválvula está averiada	Contactar con el proveedor	4	7	5	140
	La descarga de refrigerante no se detiene	Avería	La electroválvula está averiada	Contactar con el proveedor	4	6	5	120
	Fugas de refrigerante	Avería	Las boquillas de refrigerante de la tapa no está en la dirección correcta	Corrija el ajuste de las boquillas	3	4	3	36
			La máquina y el tanque de refrigerante no están instalados en las posiciones correctas	Ajuste la holgura entre los máquina y el tanque de refrigerante.	4	5	3	60
Fugas de refrigerante a través de virutas en la cubeta			Remover residuos	2	5	3	30	

Mantenimiento Autónomo

Poner las máquinas al estado inicial

En este paso, pondremos la máquina a cero, quiere decir que los operarios deben dejar la máquina como llegó del proveedor a la fábrica. Esto incluye limpieza y cambio a repuestos nuevos. Con este paso se busca tener una máquina limpia donde las anomalías sean más fáciles de detectar. Para esto, se explicó a los usuarios las partes de la máquina a fin puedan conocer la mientras reiniciaban a su estado inicial. La máquina cuenta con los siguientes componentes:

1. Unidad de aire
2. Sistema de manejo / Unidad de lubricación
3. Panel de mando
4. Repositorio
5. Unidad hidráulica
6. Eje
7. Puerta del operador
8. Panel de operaciones de control numérico
9. Panel de operaciones auxiliar
10. Dispositivo de medición de longitud
11. Mesa/Tablero
12. Tanque refrigerante
13. Unidad ATC
14. Puerta de repositorio
15. Columna
16. Tanque de fluido refrigerante del eje
17. Cabina de control eléctrico
18. Interruptor de poder
19. Cubierta ATC

Figura 43

Máquina de Mecanizado CNC

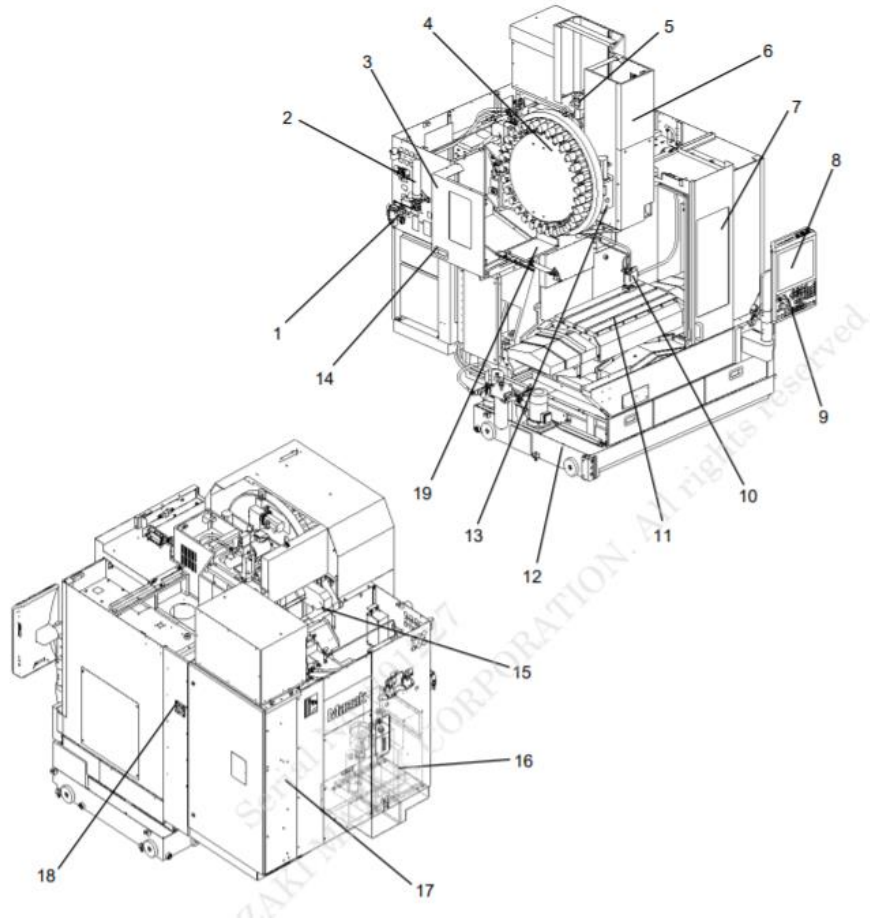


Figura 44

Estado de la Máquina de Mecanizado CNC

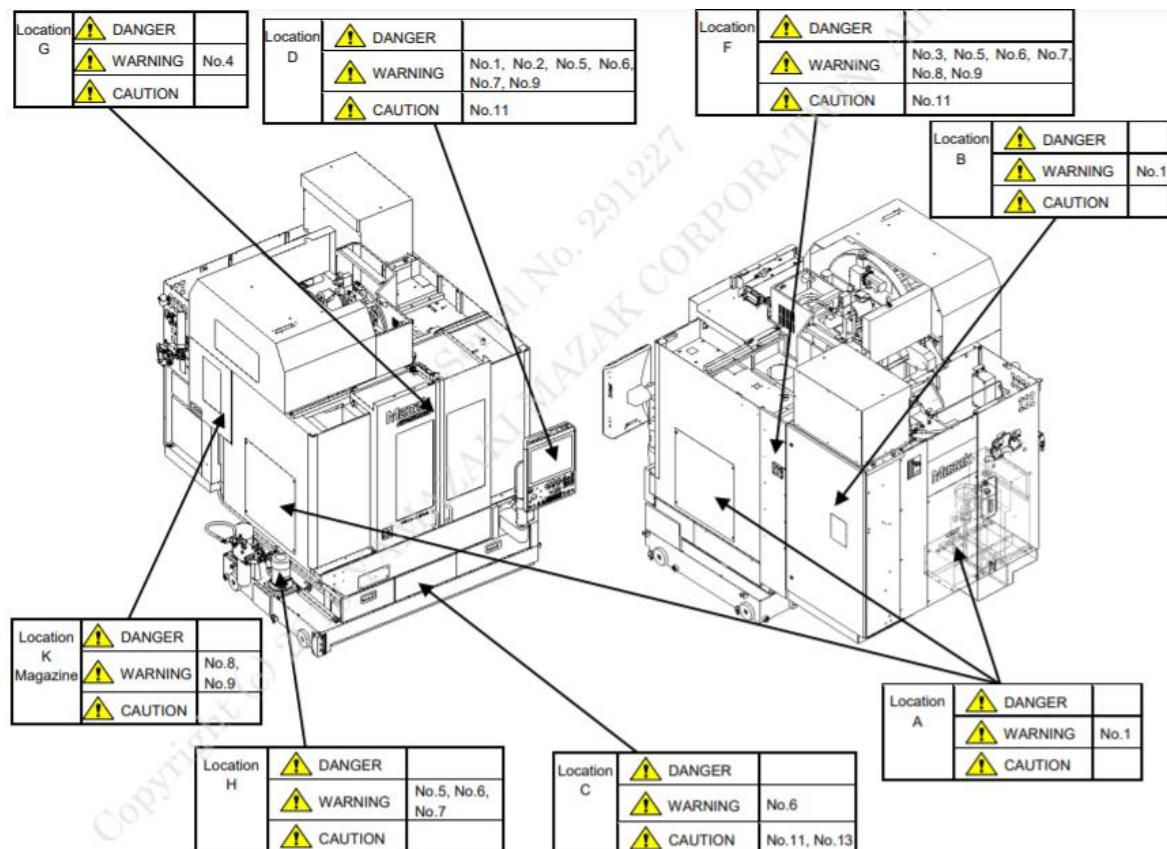


Eliminar las fuentes de suciedad y las zonas de difícil acceso

Para poder eliminar las fuentes de suciedad y las zonas de difícil acceso, los operarios primero reconocieron las partes de la máquina que eran de cuidado manipular. Se les mostró la Figura XX, dónde encontramos que hay señales de Peligro: para partes donde una mala manipulación puede causar la pérdida de la vida; Advertencia: para las partes donde no seguir las instrucciones de manipulación puede causar daños a la vida humana o a su cuerpo; y, Precaución: si no se siguen las instrucciones de manipulación puede causar daños menores a la persona que manipula o daños severos a la máquina. Como se muestra en la Figura XX, el Mapa de Riesgo de la máquina CNC busca que el operario tenga determinado cuidado a la hora de manipular. Esta explicación se dio en la capacitación de Mantenimiento Autónomo.

Figura 45

Señalización a tener en cuenta para limpieza



Capacitación en inspección de la maquinaria

En este paso, se busca que el operario trabaje de maneta autónomo tal y como la herramienta, que conozca los sonidos, la vibración, la operación de la máquina y saber cuándo está trabajando de manera normal, cuando está trabajando de manera irregular y cuándo está a punto de averiarse. Esto con el fin de evitar una parada de máquina inesperada y solucionar a tiempo el conveniente que se presente. La asistencia a la capacitación en inspección de máquinas se encuentra en el Anexo 4.

Plan de Mantenimiento Preventivo.

El plan de mantenimiento preventivo se realizó con el fin de poder conservar las máquinas en un estado óptimo y disponible para los fines de producción de la empresa. En el caso de la máquina CNC, la máquina crítica, lo aplicado fue en inspecciones, ajuste de piezas, limpieza, lubricación y calibración, todo siguiendo las recomendaciones del proveedor, con quien se buscó una comunicación para poder hacer un buen plan de mantenimiento preventivo.

En la Tabla 10 se muestra el intervalo de mantenimiento e inspección de los ítems que aseguran la disponibilidad de la máquina. Por otro lado, en los Anexos 5, 6, 7, 8 y 9 se encuentran los formatos utilizados de Inventario de máquinas, Fichas técnicas, Formato de lubricación, Control de lubricación e Historial de máquina.

Tabla 10
Intervalo de Mantenimiento e Inspección

Ítems	Intervalo de Mantenimiento e Inspección					
	Diario	Semanal	Mensual	Trimestral	Semestral	Anual
Dentro de la máquina						
Eliminar la viruta acumulada, incluyendo la del repositorio	X					
Limpiar la ventana de la puerta del operador	X					
Fuera de la máquina						
Limpiar el cubo de viruta	X					
Limpiar el filtro del tanque de refrigeración	X					
Limpiar el filtro del cubo	X					
Limpiar la cabina de control eléctrico del filtro de aire refrigerado	X					
Revisar niveles de aceite						
Revisar el nivel de fluido de refrigeración de los ejes	X					
Revisar el aceite de lubricación del eje	X					
Revisar el nivel de grasa de la bomba de grasa	X					
Revisar el nivel de refrigeración	X					
Revisar el nivel de presión del aire						
Revisar el nivel de presión del aire	X					
Cambio o reposición de aceite						
Reposición de refrigerante	X					
Reposición de aceite de lubricación de eje			X			
Cambio de aceite hidráulico de la unidad ATC					X	
Cambio del fluido refrigerante del eje y limpiar los filtros de succión						X

Ítems	Intervalo de Mantenimiento e Inspección					
	Diario	Semanal	Mensual	Trimestral	Semestral	Anual
Máquina						
Limpiar el exterior de la máquina	X					
Revisar fugas de aceite	X					
Revisar agujeros del eje		X				
Ajustar el perno de retención		X				
Limpiar el mango		X				
Limpiar el filtro de la unidad de refrigeración del eje		X				
Revisar las luces indicadoras del panel de operaciones		X				
Limpiar la superficie de la base		X				
Revisar que el botón de parada de emergencia está funcionando correctamente			X			
Revisar los dispositivos que contienen clorofluorcarbonos				X		
Revisar que los dispositivos de seguridad están operando correctamente					X	
Revisar el drenaje de la unidad de aire					X	
Revisar cubierta del eje en busca de daños					X	
Revisar el tanque de refrigeración y cambiar el refrigerante					X	
Reposición de la grasa lubricante						X
Revisar las mangueras para el sistema de movimiento					X	
Reemplazar las baterías						X

Inspección y mantenimiento diario

Las acciones que se requieren realizar diariamente son las de eliminar la viruta que queda dentro de la máquina, limpiar la ventana de la puerta del operador para poder ver el interior de la máquina, limpiar el cubo de viruta, limpiar el filtro de tanque de refrigeración, limpiar el filtro del cubo, limpiar la cabina de control eléctrico del filtro de aire refrigerado, revisar los niveles de fluido de refrigeración de los ejes, revisar el aceite de lubricación del eje, revisar el nivel de grasa de la bomba de grasa, revisar el nivel de refrigeración, revisar el nivel de presión de aire, reponer el refrigerante, limpiar el exterior de la máquina, y revisar las fugas de aceite.

Inspección y mantenimiento semanal

El mantenimiento semanal significa una vez a la semana o una vez cada 60 horas de operación. Las acciones de mantenimiento semanal son revisar agujeros del eje, ajustar el perno de retención, limpiar el mango, limpiar el filtro de la unidad de refrigeración del eje, revisar las luces indicadoras del panel de operaciones, y limpiar la superficie de la base.

Inspección y mantenimiento mensual

La inspección y mantenimiento mensual se dan una vez al mes o una vez cada 250 horas de uso de la máquina. Las acciones mensuales son reposición de aceite de lubricación del eje y revisar que el botón de parada de emergencia esté funcionando correctamente. Se realiza a las máquinas de mecanizado y torno CNC, y también a las electroerosionadoras.

Inspección y mantenimiento trimestral

Se debe dar trimestralmente o una vez cada 750 horas de uso de la máquina. La acción trimestral en cuanto a mantenimiento es revisar los dispositivos que contiene clorofluorcarbonos. Realizado a máquinas CNC.

Inspección y mantenimiento semestral

El mantenimiento semestral se da cada 6 meses o cada 1500 horas de uso de la máquina, Las acciones de mantenimiento semestral sin el cambio de aceite hidráulico de la unidad ATC, revisar que los dispositivos de seguridad estén operando correctamente, revisar el drenaje de la unidad de aire, revisar la cubierta del eje en busca de daños, revisar el tanque de refrigeración y cambiar de refrigerante, y revisar las mangueras del sistema de movimiento.

Inspección y mantenimiento anual

La inspección anual refiere a una vez al año o una vez cada 3000 horas. Las acciones anuales que se deben tomar para el mantenimiento preventivo son cambio del fluido refrigerante del eje, limpiar los filtros de succión, reponer la grasa lubricante y reemplazar las baterías.

Inventario de máquinas

Es un formato que busca saber con qué máquinas cuenta el área de producción y que tienen que ser consideradas en el plan de mantenimiento. Este formato describe: el nombre de la máquina, el código (puesto por la empresa), el modelo y serie, datos de fabricación, descripción técnica como manuales, planos, ficha, entre otros; y si tuviese fichas de mantenimiento autónomo, mecánico, eléctrico, carta de lubricación, historial de la máquina.

Figura 46

Inventario de máquinas

INVENTARIO DE MÁQUINAS

CÓDIGO	NOMBRE DE MÁQUINA	FABRICANTE	MODELO	SERIE	AÑO DE FABRICACIÓN	DOCUMENTACIÓN TÉCNICA						FICHAS DE MANTENIMIENTO								
						MF	MO	P	FT	C	LR	MA	MM	ME	CL	HM				
C-5	CENTRO MECANIZADO	YCM	FV125A	171	2010		X													
C-6	CENTRO MECANIZADO	HAZAK	530CPS	246843	2013	X	X	X	X			X	X	X	X					
C-7	CENTRO MECANIZADO	HAAS	VF9/40	1096105	2012	X			X			X	X							
T-1	CENTRO TORNEADO	POLYCOM	PL660	6001853	2008	X	X		X											
T-2	CENTRO TORNEADO	POLYCOM	PL660	6001538	2006	X	X		X											
T-3	CENTRO TORNEADO	YCM	GT2507HA	0116	2012		X		X			X			X					
T-4	CENTRO TORNEADO	HAZAK	QTS20011	224212	2011		X		X			X	X		X					
H-2	ELECT. CORTA X HILO	JS EDM	WE430	BPE2338	2011	X	X		X			X	X					X		
E-2	ELECT. REARTRACCIÓN	JS EDM	ER606N	BPE2248EM	2010	X	X		X						X			X		
F-1	FRESADORA HORIZONTAL	HACER	LTTMAB15	3101001	1997		X		X			X	X							
TC-1	TORNADO PARALELO 2	SMTCL	CA 6250B	A41061127	2010	X	X		X			X	X							
TC-2	TORNADO PARALELO 3	SMTCL	CW6250C	A51050067	2010	X	X		X			X	X							
R-1	RECTIF. CILINDRICA	MELLO	UNS2000	943	2009	X	X		X											
R-2	RECTIF. PLANA	JOTES	SPA25X63	389	2005		X		X			X								
GA-15	LIMPIESCRAPORNEE	ATLAS COPCO APP	B2610	CA5123538	2015	X			X			X								

MF Manual del Fabricante
MO Manual de Operación
P Planos
FT Ficha Técnica
C Catálogos
LR Lista de Repuestos

MA Mantenimiento Autónomo
MM Mantenimiento Mecánico
ME Mantenimiento Eléctrico
CL Carta de Lubricación
HM Historia de Máquina

Fichas técnicas

La ficha técnica recoge toda la información relevante posible para poder conocer la máquina que se va a poner en uso. Esta ficha tiene información sobre el equipo, la frecuencia del trabajo que realiza, los sistemas con los que cuenta, que pueden ser eléctrico, hidráulico, neumático y de refrigeración, sus características técnicas y una figura que muestra su aspecto físico.

Figura 47

Ficha Técnica Centro Mecanizado CNC

FICHA TÉCNICA

CÓDIGO: C-6

DATOS DEL MÁQUINA							
MÁQUINA:	<u>CENTRO MECANIZADO CNC</u>		MODELO:	<u>S30 CUCS</u>	SERIE:	<u>246 B43</u>	
FABRICANTE:	<u>HATZAK</u>		AÑO DE FABRICACIÓN:	<u>2013</u>			
PESO TOTAL:	LARGO:	<u>1750 mm.</u>	ANCHO:	<u>2980 mm.</u>	ALTO:	<u>2500 mm</u>	
TRABAJO	<input type="checkbox"/> CRÍTICO	<input checked="" type="checkbox"/> TURNO	<input type="checkbox"/> ESPORÁDICO	<input type="checkbox"/> INTERMITENTE			
SISTEMAS							
ELÉCTRICO	<input checked="" type="checkbox"/>	VOLTAJE (V):	<u>440</u>	CORRIENTE (A):	<u>45,45</u>	FRECUENCIA (Hz):	<u>60</u>
HIDRÁULICO	<input checked="" type="checkbox"/>	TIPO: <u>5 ejes / Aislón los cables.</u>					
REFRIGERACIÓN	<input checked="" type="checkbox"/>						
LUBRICACIÓN	<input checked="" type="checkbox"/>						
NEUMÁTICO	<input checked="" type="checkbox"/>						
CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS							
FOTOGRAFÍA DE LA MÁQUINA							

Formato de lubricación

Este formato es un instructivo para las actividades de lubricación y es usada de acuerdo al intervalo de mantenimiento e inspección planteada. En este formato encontramos datos de frecuencia de lubricación, el componente a lubricar, el tipo de lubricación, la actividad (de lubricación) empleada, el tiempo, y por último el tipo y la cantidad de lubricante.

Figura 48

Formato de Lubricación Centro Mecanizado CNC

FORMATO DE LUBRICACIÓN

MÁQUINA: <u>CENTRO MECANIZADO CNC</u>		MODELO: <u>S30 CUCS</u>		CÓDIGO: <u>C-6</u>		
CLASE DE ACTIVIDAD:						
RN: Revisar el nivel y completar; RF: Revisar flujo; AA: Aplicar aceite; AG: Aplicar grasa; CA: Cambio de aceite						
FRECUENCIA DE LUBRICACIÓN	MECANISMO / PARTE A LUBRICAR	TIPO DE LUBRICACIÓN	ACTIVIDAD	TIEMPO	LUBRICANTE	
					TIPO	CANTIDAD
<u>PERIÓDICA</u> <u>DIARIO</u>	<u>EJE</u> <u>EJE</u>	<u>aplicación</u> <u>revisión</u>	<u>AA</u> <u>RN/RF</u>	<u>15 min</u> <u>5 min</u>	<u>ACEITE</u> <u>—</u>	<u>0.75 L</u> <u>—</u>

Control de lubricación

Este formato trabaja como un registro que contempla las actividades de lubricación realizadas por equipo. La información que maneja es información propia de a máquina, fechas de cambio, próximas fechas, horas de operación, frecuencia y cantidad y tipo de lubricante.

Figura 49

Control de Lubricación Centro Mecanizado CNC

CONTROL DE LUBRICACIÓN

MÁQUINA: CENTRO MECANIZADO CNC MODELO: S30CUCS CÓDIGO: C-6

FECHA DE CAMBIO	MECANISMO / PARTE	HORAS DE OPERACIÓN	FRECUENCIA DE LUBRICACIÓN	TIPO DE LUBRICANTE	CANTIDAD	FECHA DE PRÓXIMO CAMBIO	REALIZÓ
22/01/19	Eje	15 min	Mensual	ACEITE	0.75	27/2/19	✓
25/02/19	Eje	15 min	Mensual	aceite	0.75	25/3/2019	✓
25/03/2019	Eje	20 min	Mensual	ACEITE	0.5	25/4/2019	✓
30/04/2019	Eje	15 min	Mensual	ACEITE	0.50	29/05/19	✓
27/05/2019	Eje	15 min	Mensual	aceite	0.50	27/06/19	✓
11/07/2019	EJE	30 min	Mensual	aceite	0.75	11/08/19	✓
30/08/2019	Eje	15 min	Mensual	aceite	0.75	30/9/2019	✓
30/09/2019	Eje	15 min	Mensual	ACEITE	0.50	30/10/19	✓
28/10/2019	EJE	15 min	Mensual	ACEITE	0.75	28/11/19	✓
21/2/2019	Eje	10 min	Mensual	ACEITE	0.75	21/11/2020	

Historial de máquina

En este documento se registran todas las actividades de mantenimiento realizados a una máquina. La información que guarda es con respecto a la orden de mantenimiento, las fechas de inicio, el tiempo empleado, la falla detectada, el tipo de mantenimiento y el material usado.

Tabla 11

AMEF post implementación

ANÁLISIS DE MODO Y EFECTO DE FALLA (AMEF) - POST IMPLEMENTACIÓN								
Nombre del equipo: Mecanizado CNC			Elaborado por: Víctor Guevara					
COMPONENTES	MODO DE FALLO POTENCIAL	EFECTOS POTENCIALES DE FALLO	CAUSAS POTENCIALES DE FALLO	ACCIONES A TOMAR	G	O	D	NPR
Eje	No arranca Se para pese a que está programado	Máquina parada	Insuficiente capacidad o problemas con la fuente de energía.	Preparar una fuente de poder con los requerimientos de la máquina	3	6	1	18
			Temperatura del ambiente del eje mayor a 40°C.	Bajar la temperatura del ambiente	3	4	3	36
			Trabajo por mucho tiempo	Reducir la carga del eje	3	3	5	45
			El eje está defectuoso	Contactar con el proveedor	4	5	3	60
	No se completa la orientación del eje El estado de la orientación no se puede cancelar	Piezas defectuosas	La unidad de manejo del eje o el motor del eje están defectuosos. Hay problemas con el eje.	Contactar con el proveedor	4	4	3	48
	Sonido o vibración anormal mientras el eje está en rotación	Máquina parada	El eje está rotando a una velocidad muy alta con una herramienta montada que ocasiona desbalance	Cambiar a una herramienta que haga balance	4	6	3	72
			La unidad de manejo del eje o el motor del eje están defectuosos.	Contactar con el proveedor	3	6	2	36
	Las operaciones de sujetar y soltar no se completan	Piezas defectuosas	El sensor está defectuoso	Cambiar sensor	2	4	5	40
			El sensor no está asegurado	Montar correctamente el sensor	3	3	4	36
			La válvula hidráulica está defectuosa o bloqueada	Revisar el sistema hidráulico Contactar con el proveedor	3	6	4	72
			El cilindro que permite sujetar y soltar está defectuoso		3	3	4	36
			El circuito hidráulico tiene fuga de aceite		2	3	4	24
		Tomillos sueltos	3	4	5	60		
	Fuga de Aceite	Piezas defectuosas Parada de máquina	El sello del cilindro que permite sujetar y soltar está usado	Contactar con el proveedor	6	1	4	24
No llega el flujo de aire al ATC	Máquina parada	No está conectado la fuente externa de aire	Conectar la fuente externa de aire	4	4	1	16	
No para de llegar el flujo en el ATC	Averfás	La electroválvula está defectuosa	Contactar con el proveedor	4	5	5	100	

Tabla 11

AMEF post implementación

ANÁLISIS DE MODO Y EFECTO DE FALLA (AMEF) - POST IMPLEMENTACIÓN								
Nombre del equipo: Mecanizado CNC				Elaborado por: Víctor Guevara				
COMPONENTES	MODO DE FALLO POTENCIAL	EFECTOS POTENCIALES DE FALLO	CAUSAS POTENCIALES DE FALLO	ACCIONES A TOMAR	G	O	D	NPR
Repositorio ATC	El repositorio no rota La posición de parada del repositorio se bloquea desde la correcta posición Un ruido anormal se genera cuando el repositorio está girando	Averías mecánicas	Una herramienta que excede las especificaciones de tamaño de la herramienta se almacena en el repositorio	Guardar herramientas adecuadas	4	5	2	40
			Hay residuos de materiales en el rodillo	Remover/limpiar los elementos extraños	3	4	2	24
			La unidad de accionamiento del cargador está defectuosa	Contactar con el proveedor	3	4	4	48
			El motor de rotación del cargador está defectuoso	Contactar con el proveedor	5	2	5	50
	El ATC no opera	Máquina parada	El motor de accionamiento está averiado	Contactar con el proveedor	2	5	5	50
			La unidad ATC está defectuosa	Contactar con el proveedor	4	6	5	120
Sistema Neumático	La presión es menor a 0.5MPa (70psi)	Avería neumática	Capacidad insuficiente de la fuente de aire externo	Preparar y conectar la fuente externa según requerimiento de la máquina	4	4	2	32
			La válvula reductora en la unidad de aire está defectuosa	Cambiar la válvula reductora	3	4	3	36
			El separador de neblina en la unidad de aire está defectuoso	Cambiar el filtro	2	5	3	30
			Fuga en el circuito neumático	Contactar con el proveedor	5	4	2	40
			El interruptor de presión de aire, montado en la unidad del eje, está defectuoso.	Contactar con el proveedor	5	2	4	40
	El aire se escapa constantemente a través del puerto de drenaje de la unidad de aire.	Parada de máquina	El drenaje automático del separador de neblina está defectuoso	Cambiar el separador de neblina	3	3	5	45
Lubricación del husillo y eje lineal	No se consume aceite o grasa lubricante	Averías	La tubería está bloqueada	Contactar con el proveedor	4	3	3	36
			La bomba de la unidad de lubricación centralizada está defectuosa	Contactar con el proveedor	5	4	3	60
	El aceite lubricante o la grasa se consumen de forma anormalmente rápida	Averías Residuos en la máquina	La tubería está suelta	Contactar con el proveedor	4	4	3	48

Tabla 11

AMEF post implementación

ANÁLISIS DE MODO Y EFECTO DE FALLA (AMEF) - POST IMPLEMENTACIÓN								
Nombre del equipo: Mecanizado CNC				Elaborado por: Víctor Guevara				
COMPONENTES	MODO DE FALLO POTENCIAL	EFECTOS POTENCIALES DE FALLO	CAUSAS POTENCIALES DE FALLO	ACCIONES A TOMAR	G	O	D	NPR
Sistema de refrigerante	El refrigerante no está descargado Se reduce el volumen de descarga de refrigerante	Calentamiento de la máquina Parada de máquina	El filtro está obstruido	Limpiar el filtro	3	7	2	42
			La cantidad de refrigerante es insuficiente	Reponer el refrigerante especificado	1	4	4	16
			La boquilla de descarga está bloqueada	Limpiar la boquilla	2	4	3	24
	Refrigerante a través del husillo no se descarga. Refrigerante a través del husillo se reduce el volumen de descarga.	Avería	El filtro de línea está obstruido.	Limpiar el filtro de línea.	3	5	2	30
	No se descarga refrigerante	Calentamiento de la máquina Parada de máquina	Debido al enclavamiento: puerta del operador abierta, tecla de menú de parada de refrigerante ENCENDIDA, herramienta especial seleccionada	Elimine la causa del bloqueo.	3	5	3	45
			La bomba de refrigerante está defectuosa	Contactar con el proveedor	5	3	4	60
			La electroválvula está averiada	Contactar con el proveedor	3	5	3	45
	La descarga de refrigerante no se detiene	Avería	La electroválvula está averiada	Contactar con el proveedor	4	4	5	80
	Fugas de refrigerante	Avería	Las boquillas de refrigerante de la tapa no está en la dirección correcta	Corrija el ajuste de las boquillas	3	4	3	36
			La máquina y el tanque de refrigerante no están instalados en las posiciones correctas	Ajuste la holgura entre los máquina y el tanque de refrigerante.	4	4	3	48
Fugas de refrigerante a través de virutas en la cubeta			Remover residuos	2	5	3	30	

CAPÍTULO IV. RESULTADOS

En este capítulo se dan a conocer los resultados después de la implementación de las herramientas de mantenimiento autónomo y mantenimiento planificado. Se muestran los indicadores de fallas por equipos, variación de costo total de mantenimiento versus lo presupuestado, porcentaje de cumplimiento de mantenimiento preventivo, total de costos de mantenimiento.

4.1 Fallas de Equipos

El número de fallas por equipo se redujo a 87 fallas en el periodo del 2019, después de la aplicación del mantenimiento autónomo y mantenimiento planificado. La Tabla 12 muestra que las fallas del centro mecanizado CNC representa el 31.03% del total, el centro torneado CNC un 26.44%, las electroerosionadoras corte por penetración y por hilo representan un 13.79% y 11.49% respectivamente, la fresadora representa un 4.60%, las rectificadoras cilíndrica y plana un 4.60% y 3.45% respectivamente, el torno paralelo representa un 2.30% y la compresora de aire presenta un 2.30% del total de fallas. En la Figura 51 se puede apreciar gráficamente como están distribuidas las fallas por cada máquina del proceso de producción.

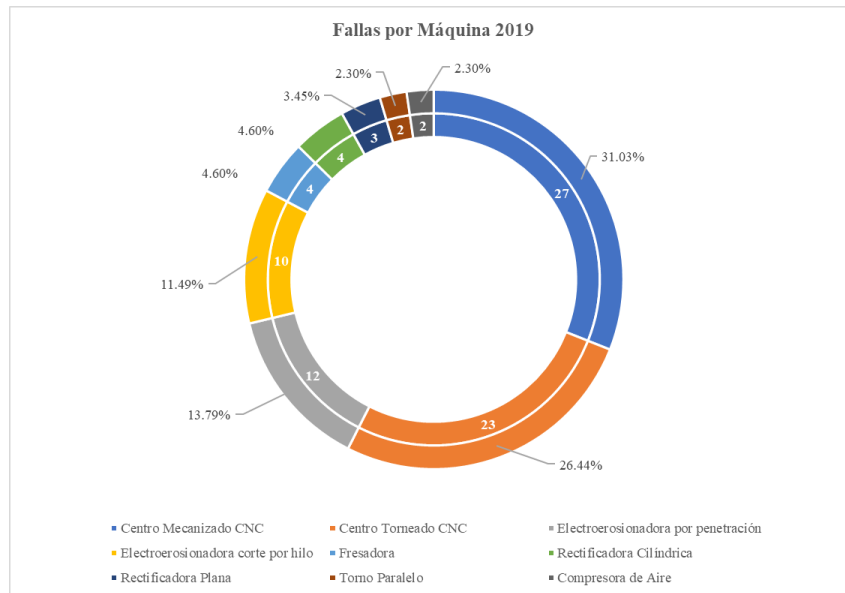
Tabla 12

Fallas por Máquina 2019

Equipos	N° Fallas	Porcentaje
Centro Mecanizado CNC	27	31.03%
Centro Torneado CNC	23	26.44%
Electroerosionadora por penetración	12	13.79%
Electroerosionadora corte por hilo	10	11.49%
Fresadora	4	4.60%
Rectificadora Cilíndrica	4	4.60%
Rectificadora Plana	3	3.45%
Torno Paralelo	2	2.30%
Compresora de Aire	2	2.30%
Total	87	100%

Figura 51

Fallas por Máquina 2019



En comparación al 2018, se redujo el número de fallas para el periodo 2019 en un 58.96%. Los datos se muestran en la Tabla 13.

Tabla 13

Fallas por Máquina 2018 Vs 2019

Equipos	Nº Fallas 2018	Nº Fallas 2019	Variación
Centro Mecanizado CNC	56	27	51.78%
Centro Torneado CNC	52	23	55.76%
Electroerosionadora corte por hilo	25	12	52.00%
Electroerosionadora por penetración	17	10	58.82%
Fresadora	16	4	75.00%
Torno Paralelo	14	4	71.42%
Rectificadora Cilíndrica	14	3	78.57%
Rectificadora Plana	10	2	80.00%
Compresora de Aire	8	2	75.00%
Total	212	87	58.96%

4.2 Variación de Costo Real vs Presupuesto 2019

El resultado de este indicador para el periodo 2019 se muestra en la Tabla 14. La primera mejora evidente es que se pudo reducir el presupuesto para el área de mantenimiento.

Luego, se muestra que a lo largo de todo el periodo 2019 lo gastado en el mantenimiento total está dentro de lo presupuestado.

Tabla 14

Variación de Costo Real vs Presupuesto 2019

Mes	Total	Presupuestado	Variación (S/)	Variación (%)
Enero	S/5,731.21	S/6,000.00	-S/268.79	-4.48%
Febrero	S/6,307.18	S/6,000.00	S/307.18	5.12%
Marzo	S/5,092.06	S/6,000.00	-S/907.94	-15.13%
Abril	S/5,793.66	S/6,000.00	-S/206.34	-3.44%
Mayo	S/5,880.63	S/6,000.00	-S/119.37	-1.99%
Junio	S/5,975.77	S/6,000.00	-S/24.23	-0.40%
Julio	S/5,793.86	S/6,000.00	-S/206.14	-3.44%
Agosto	S/5,859.85	S/6,000.00	-S/140.15	-2.34%
Setiembre	S/5,186.86	S/6,000.00	-S/813.14	-13.55%
Octubre	S/5,919.08	S/6,000.00	-S/80.92	-1.35%
Noviembre	S/5,509.10	S/6,000.00	-S/490.90	-8.18%
Diciembre	S/5,846.97	S/6,000.00	-S/153.03	-2.55%
Total	S/68,896.23	S/72,000.00	-S/3,103.77	-4.31%

Tabla 15

Variación de Costo Real vs Presupuesto 2018 y 2019

Mes	Variación 2018 (S/)	Variación 2019 (S/)	Diferencia (%)
Enero	S/970.59	-S/268.79	127.69%
Febrero	S/4,035.71	S/307.18	92.39%
Marzo	S/2,133.76	-S/907.94	142.55%
Abril	S/3,816.22	-S/206.34	105.41%
Mayo	S/2,490.92	-S/119.37	104.79%
Junio	S/794.15	-S/24.23	103.05%
Julio	S/1,285.44	-S/206.14	116.04%
Agosto	S/2,865.51	-S/140.15	104.89%
Setiembre	S/3,372.39	-S/813.14	124.11%
Octubre	S/1,030.14	-S/80.92	107.86%
Noviembre	S/1,761.81	-S/490.90	127.86%
Diciembre	S/1,227.21	-S/153.03	112.47%
Total	S/25,783.85	-S/3,103.77	112.04%

En la Tabla 15 se muestran las variaciones mensuales del costo total de mantenimiento frente a lo presupuestado para el área. En el periodo 2018 la variación salió positiva, lo que significaba que se sobregiró el presupuesto asignado al área de mantenimiento, mientras que en el 2019 esta variación fue negativa, indicando que se gastó dentro de lo presupuestado para el área de mantenimiento.

4.3 Cumplimiento de Mantenimiento Preventivo.

El resultado de este indicador para el periodo 2019 se muestra en la Tabla 16. La empresa esperaba lograr el 75% y luego de la aplicación se pudo lograr. En la Tabla se muestra que este indicador se cumplió en los todos meses del periodo y en promedio resultó 85.17%. En la Figura 52 se aprecia gráficamente la evolución del cumplimiento del plan de mantenimiento preventivo.

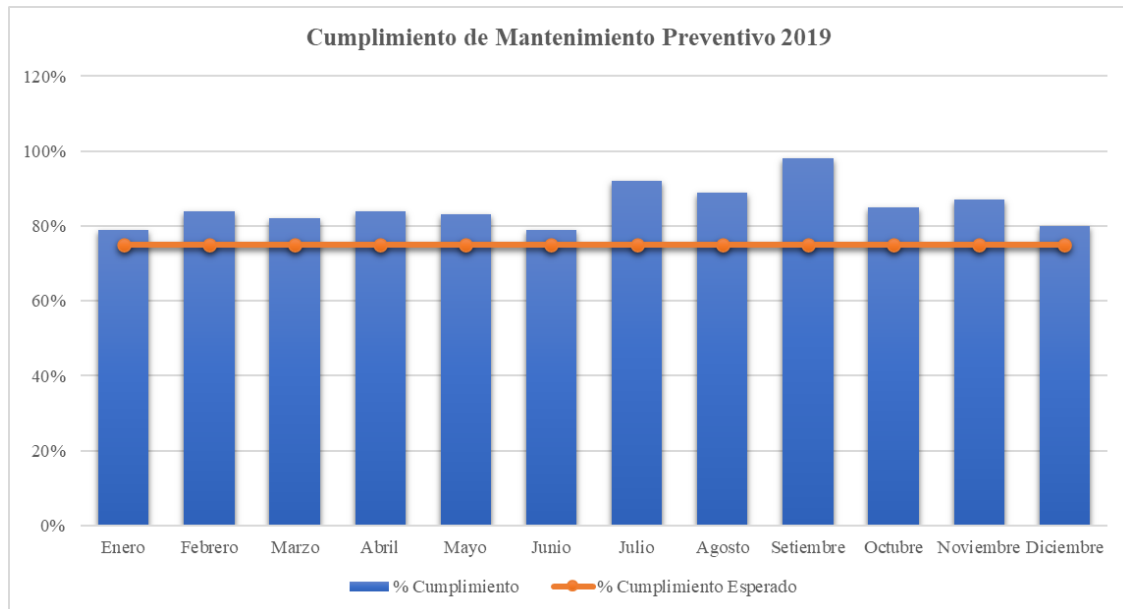
Tabla 16

Cumplimiento de Mantenimiento Preventivo 2019

Mes	% Cumplimiento
Enero	79%
Febrero	84%
Marzo	82%
Abril	84%
Mayo	83%
Junio	79%
Julio	92%
Agosto	89%
Setiembre	98%
Octubre	85%
Noviembre	87%
Diciembre	80%
Promedio	85.17%

Figura 52

Cumplimiento de Mantenimiento Preventivo 2019



En la Tabla 17 se muestran los resultados de los periodos en estudio. En el 2018 solo se cumplía el mantenimiento preventivo a un 66.83%, mientras que en el 2019 después de la implementación se logró tener un cumplimiento del 85.17%.

Tabla 17

Cumplimiento de Mantenimiento Preventivo 2018 vs 2019

Mes	% Cumplimiento 2018	% Cumplimiento 2019
Enero	77%	79%
Febrero	72%	84%
Marzo	70%	82%
Abril	73%	84%
Mayo	44%	83%
Junio	64%	79%
Julio	78%	92%
Agosto	46%	89%
Setiembre	72%	98%
Octubre	68%	85%
Noviembre	71%	87%
Diciembre	67%	80%
Promedio	66.83%	85.17%

4.4 Costos Mensuales de Mantenimiento Preventivo y Correctivo 2019

Los costos de mantenimiento correctivo disminuyeron considerablemente y ahora es menor al costo de mantenimiento preventivo, Se disminuyó el presupuesto asignado mensualmente al área de mantenimiento, ahora el presupuesto anual es de S/ 72,000.00 y el costo implicado ha sido menor a ese monto.

Tabla 18

Costos Mensuales de Mantenimiento Preventivo y Correctivo 2019

Mes	Preventivo	Correctivo	Total	Presupuestado
Enero	S/3,987.78	S/1,743.43	S/5,731.21	S/6,000.00
Febrero	S/4,183.64	S/2,123.54	S/6,307.18	S/6,000.00
Marzo	S/3,857.43	S/1,234.63	S/5,092.06	S/6,000.00
Abril	S/3,248.54	S/2,545.12	S/5,793.66	S/6,000.00
Mayo	S/3,425.98	S/2,454.65	S/5,880.63	S/6,000.00
Junio	S/4,123.43	S/1,852.34	S/5,975.77	S/6,000.00
Julio	S/3,659.54	S/2,134.32	S/5,793.86	S/6,000.00
Agosto	S/3,725.32	S/2,134.53	S/5,859.85	S/6,000.00
Setiembre	S/3,852.32	S/1,334.54	S/5,186.86	S/6,000.00
Octubre	S/4,045.54	S/1,873.54	S/5,919.08	S/6,000.00
Noviembre	S/3,385.67	S/2,123.43	S/5,509.10	S/6,000.00
Diciembre	S/3,423.54	S/2,423.43	S/5,846.97	S/6,000.00
Total	S/44,918.73	S/23,977.50	S/68,896.23	S/72,000.00

En la Figura 53 se muestra como el costo total de mantenimiento está dentro del costo presupuestado para el área. En la Figura 54 se muestra el comparativo del costo de mantenimiento preventivo y correctivo, ahora el cumplimiento del mantenimiento preventivo hace que este costo sea más constante, la disponibilidad de la máquina sea mejor y que las veces que se necesitan aplicar mantenimiento correctivo sean menor implicando también un menor costo.

Figura 53

Costo Total vs Costo Presupuestado de Mantenimiento 2019

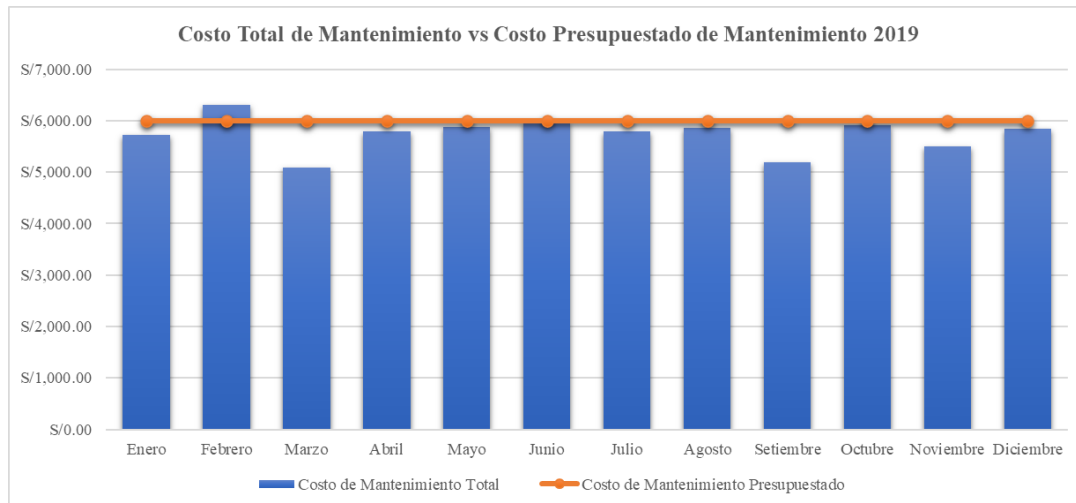
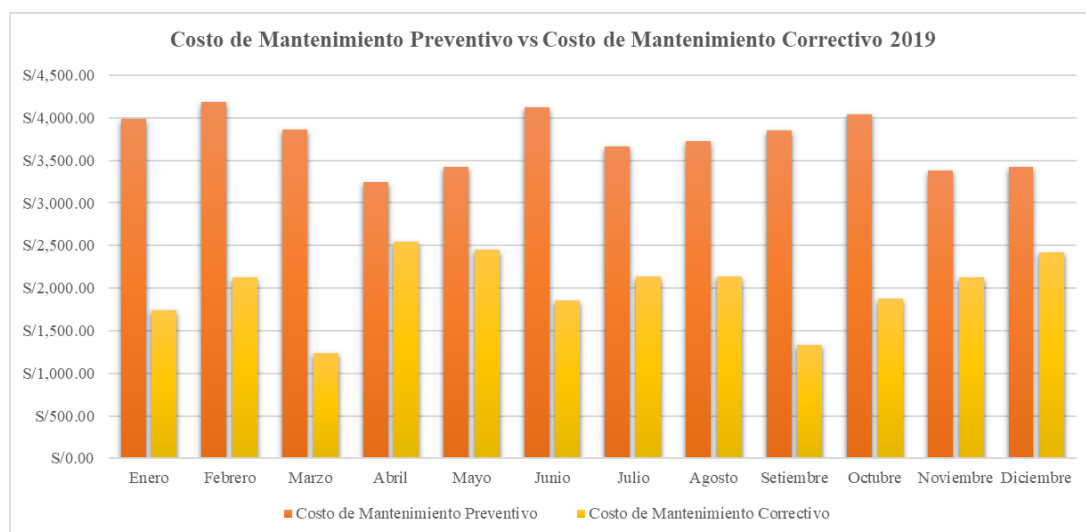


Figura 54

Costo de Mant. Preventivo vs Costo de Mant. Correctivo 2019



En la Tabla 16 se ve la comparación de los costos de mantenimiento totales del periodo 2018 y 2019. Como se vio en resultados anteriores, en el periodo 2018 predominó el costo de mantenimiento correctivo, mientras que en el periodo 2019 predominó el costo de mantenimiento preventivo. Además, en el 2019 no hubo tantas tallas y con ello se redujo el tiempo de mantenimiento correctivo y paradas de máquina. Por ello, en el 2018 se tuvo un costo total de S/ 115,783.85 y en el 2019, S/ 46,887.62; este costo disminuyó en un 40.50%.

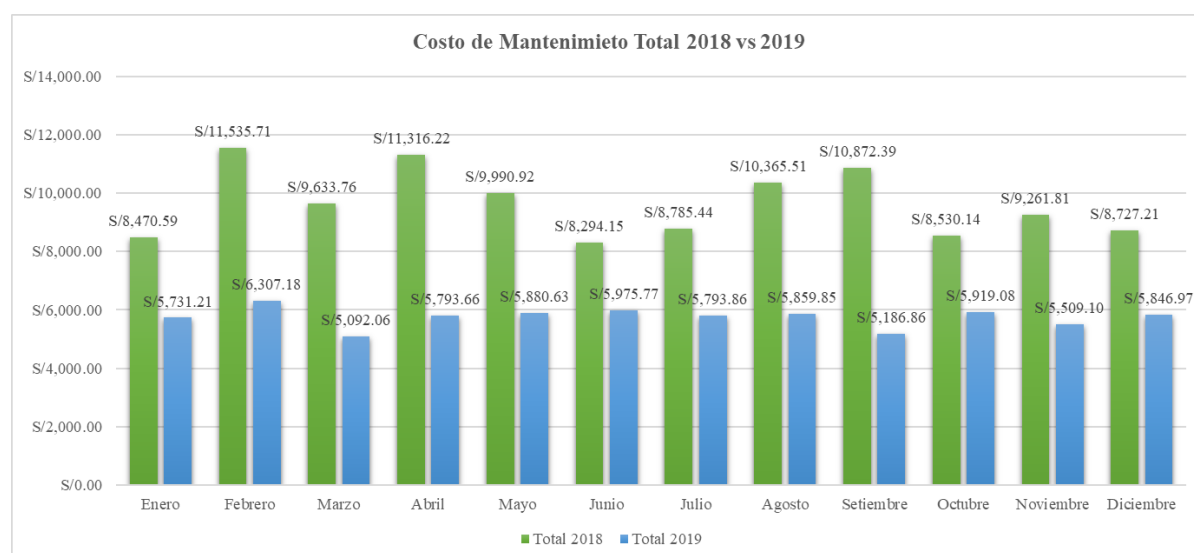
Tabla 19

Costos Mensuales de Mantenimiento Total 2018 y 2019

Mes	Total 2018	Total 2019	Variación (Ahorro)
Enero	S/8,470.59	S/5,731.21	S/2,739.38
Febrero	S/11,535.71	S/6,307.18	S/5,228.53
Marzo	S/9,633.76	S/5,092.06	S/4,541.70
Abril	S/11,316.22	S/5,793.66	S/5,522.56
Mayo	S/9,990.92	S/5,880.63	S/4,110.29
Junio	S/8,294.15	S/5,975.77	S/2,318.38
Julio	S/8,785.44	S/5,793.86	S/2,991.58
Agosto	S/10,365.51	S/5,859.85	S/4,505.66
Setiembre	S/10,872.39	S/5,186.86	S/5,685.53
Octubre	S/8,530.14	S/5,919.08	S/2,611.06
Noviembre	S/9,261.81	S/5,509.10	S/3,752.71
Diciembre	S/8,727.21	S/5,846.97	S/2,880.24
Total	S/115,783.85	S/68,896.23	S/46,887.62

Figura 55

Costo de Mantenimiento Total 2018 vs 2019



La Tabla 20 muestra en resumen los resultados de los indicadores evaluados post implementación.

Tabla 20

Resumen de los indicadores 2018 y 2019

Indicador	Objetivo	Resultado
Variación de costo y presupuesto de mantenimiento	Medir la variación del exceso o sobregiro del presupuesto asignado al área.	-4.31%
Cumplimiento de mantenimiento preventivo	Medir la cantidad de actividades realizadas vs la cantidad de actividades programadas para ese periodo.	85.17%
Número de Fallas	Cantidad de fallas encontradas en determinado periodo.	87

En comparación con el periodo 2018, previo a la implementación, en el 2019, después de la implementación, los indicadores mejoraron considerablemente. En el caso de la variación de costo total y presupuesto asignado, todos los costos estuvieron dentro de lo presupuestado. El cumplimiento del plan de mantenimiento preventivo aumentó de 66.83% a 85.17%, y el número de fallas disminuyó de 212 a 87, lo que significa una disminución de 58.96%. Se considera que la aplicación de las herramientas usadas ha sido efectiva.

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMEDACIONES

5.1 Conclusiones

La empresa metalmecánica tenía costos de mantenimiento elevados, y esto era a causa de falta de capacitación en uso de la máquina, en inspección diaria, falta de mantenimiento, equipos en mal estado, máquinas sucias internamente, falta de repuestos para el mantenimiento preventivo, no se cumplía con el mantenimiento preventivo, trabajos sin métodos, y no se usaban indicadores. Para la solución de este problema y erradicación de causas, se propuso aplicar pilares del TPM, tales como el Mantenimiento Planificado y el Mantenimiento Autónomo.

En el periodo 2018, la empresa presentaba un exceso del 28.64% en el costo de mantenimiento respecto a lo presupuestado. Después de la implementación, se redujo el presupuesto en un 20%, significando una asignación de S/ 6,000.00 al área de mantenimiento y el costo del periodo 2019 estuvo dentro de lo planificado, el costo total disminuyó en un 40.50% respecto al año previo. Este resultado logra el objetivo propuesto que era reducir los costos de mantenimiento en la empresa metalmecánica para el periodo 2019, y esto gracias a la aplicación de las herramientas del TPM: Mantenimiento Autónomo y Mantenimiento Planificado. Además, el éxito de la aplicación radica en el compromiso del equipo de mantenimiento y su capacidad de con ética y responsabilidad.

El presente trabajo también evaluó otros dos indicadores. El primero de número de fallas, que para el periodo 2018 se contaron un total de 212 fallas, que ocasionaban distintos efectos: paradas de máquina, retrasos, productos defectuosos, etc. Para el término del periodo 2019, el número de falla se redujo a 87, significando una reducción del 58.96%, y haciendo efecto en menos pérdida de tiempo por parada de máquina o por mantenimiento correctivo no planificado. El segundo indicador evaluado fue el del porcentaje de cumplimiento del mantenimiento preventivo, este resultado marcó un 63.83% antes de la implementación y un

85.17% después de la implementación. El llevar control y seguimiento de los indicadores es crucial para poder evaluar el desarrollo de un área.

5.2 Recomendaciones

Se recomienda seguir con el monitoreo y control de los indicadores propuestos y con el análisis de modo y efecto de falla cada cierto tiempo para ver si se pueden tomar nuevas acciones que eviten la ocurrencia de fallas. Asimismo, se recomienda actualizar los formatos de acuerdo con ingreso o salida de máquinas. Adecuar los formatos de inspección y mantenimiento a las nuevas máquinas.

Se recomienda también continuar con las capacitaciones en temas de mantenimiento. Terminar la implementación de los pilares del TPM y así involucrar a toda la empresa en el desarrollo de estas actividades. Además, se pueden aplicar otras herramientas o metodologías tal como el RCM para tener mayor disponibilidad en los equipos.

REFERENCIAS

- Arango Cardona, L. J. (2009). Importancia de los costos de la calidad y no calidad en las empresas de salud como herramienta de gestión para la competitividad. *Revista Ean*, (67), 75-94.
- Bazán Arroyo, E. A. (2018). Proyecto de mejora del mantenimiento productivo total (TPM) para reducir los costos de mantenimiento en la empresa Setrami SAC.-Trujillo.
- Cabrera-Llanos, A. I., Ortiz-Arango, F., & Cruz-Aranda, F. (2019). Un modelo de minimización de costos de mantenimiento de equipo médico mediante lógica difusa. *Revista mexicana de economía y finanzas*, 14(3), 379-396.
- Calidad y Gestión Consultoría para Empresas. (2012). La mejora continua – Diagrama de Pareto. Recuperado de <https://calidadgestion.wordpress.com/tag/diagrama-de-pareto-ejemplo/>
- Cardona Flórez, J. A., & Castaño López, C. A. (2019). Aplicación de los pasos I y II del plan de mantenimiento autónomo basado en el mantenimiento productivo total para el Grupo Santa María por la Empresa EAT SERTA.
- Carreras, M. R., & García, J. L. S. (2010). *Lean Manufacturing. La evidencia de una necesidad*. Ediciones Díaz de Santos.
- Cóndor Huiza, J. J. (2020). Análisis de fallas en componentes mecánicos del ascensor de marca Asteca instalado en la academia pre universitaria Ingeniería SAC.
- Condori, M. S., & Hurtado, A. B. (2020). Aplicación de la metodología AMEF para disminuir los costos de mantenimiento en una planta de bloques de concreto en el año 2019 (Trabajo de suficiencia profesional). Repositorio de la Universidad Privada del Norte. Recuperado de <https://hdl.handle.net/11537/25521>

- Cuatrecasas, L., & Torrell, F. (2010). TPM en un entorno Lean Management. *Barcelona: Profit Editorial*.
- 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. *Bistua Revista De La Facultad De Ciencias Básicas, 17(2)*, 21-30.
- Figuroa Figuroa, O. N. (2015). Definición de plan de mantenimiento óptimo para equipos críticos de una planta de laminación.
- Flores Flores, M. (2018). Implementar un plan de mantenimiento autónomo de las máquinas convertidoras a fin de incrementar la productividad y calidad de los productos terminados.
- Fuentes Zavala, S. M. (2015). Propuesta de un sistema de gestión de mantenimiento preventivo basado en los indicadores de Overall Equipment Efficiency para la reducción de los costos de mantenimiento en la Empresa Hilados Richard's SAC.
- González, F. D. J. G. (2014). Herramientas de calidad y el trabajo en equipo para disminuir la reprobación escolar. *Conciencia tecnológica, (48)*, 17-24.
- Hernández, J., & Vizán, A. (2013). Lean manufacturing Conceptos, técnicas e implantación. *Madrid: Fundación EOI*, 178, 978-8415061403.
- Integra Markets. (2017). Gestión y planificación del mantenimiento industrial. *Integra Markets, Grupo América Factorial SAC*.
- Ipinza, F. D. A. (2012). *Administración de las operaciones productivas: Un enfoque en procesos para la gerencia*. Pearson.
- Jimeno, J. (2013). AMFE: Análisis Modal de Fallos y Efectos – Guía y ejemplos de uso. *PDCA Home*. Recuperado de <https://www.pdcahome.com/3891/amfe-guia-de-uso-del-analisis-modal-de-fallos-y-efectos/>
- Lemos, P. L. (2016). *Herramientas para la mejora de la calidad*. FEMETAL.

- López Montoya, D. (2015). Plan de mantenimiento DIBTEC SAS.
- Manjón Castillo, G. (2018). *Mantenimiento planificado y su aplicación a la mejora de resultados de la empresa Ice Cream Factory Comaker* (Doctoral dissertation, Universitat Politècnica de València).
- Morillo León, C. A. (2018). Aplicación del mantenimiento autónomo para incrementar la productividad en el área de mantenimiento de máquinas herramienta de la empresa AIRTEC SA Callao 2018.
- Moyano, C. E., Piza, R. E., & Zaruma, J. I. (2013). Implementación de un plan de mantenimiento autónomo en un taller mecánico industrial.
- Muentes Macías, K. L. (2019). *Propuesta de mejora mediante la metodología de Mantenimiento Productivo Total (TPM) para disminuir costos en una ensambladora de motos* (Doctoral dissertation, Universidad de Guayaquil. Facultad de Ingeniería Industrial. Carrera de Ingeniería Industrial.).
- Plan de Mejora. (2021). Ejemplos de Diagrama de Ishikawa. *Plan de Mejora*. Recuperado de <https://www.plandemejora.com/ejemplos-de-diagrama-de-ishikawa/>
- Posada, C. (2020). Urge cambio de estrategia para el sector metalmeccánico. *La Cámara*. <https://lacamara.pe/urge-un-cambio-de-estrategia-para-el-sector-metalmecanico/>
- Ríos Santana, V. K. (2020). *Evaluación de resultados de capacitación del personal en indicadores de gestión de calidad del servicio al cliente de la empresa sistema de emisoras Atalaya SA* (Doctoral dissertation).
- Ruiz Pinzón, J. D. (2013). Implementación de un programa de mantenimiento preventivo para la maquinaria pesada de la Empresa Inverglobal INC LTDA.
- Sacristán, F. R. (2002). *Mantenimiento total de la producción (TPM): proceso de implantación y desarrollo*. Fc Editorial.

- Sánchez, M. A. (2018). Propuesta de implementación de un sistema de gestión de mantenimiento para disminuir los costos del área de mantenimiento de la empresa DH Empresas Perú S.A., Lima 2018 (Trabajo de suficiencia profesional). Repositorio de la Universidad Privada del Norte. Recuperado de <http://hdl.handle.net/11537/14441>
- Sociedad Nacional de Industrias. (2019). *SNI: Industria metalmecánica creció 10,2%*.
Sociedad Nacional de Industrias. <https://sni.org.pe/sni-industria-metalmecanica-crecio-102/>
- Tacca Zela, R. (2018). Mejora del mantenimiento preventivo en equipos de refrigeración para reducir los costos operativos de la empresa candy market campoy, 2018.
- Velez Velez, L. M. (2015). Implementación de los pilares de mejoras enfocadas y mantenimiento autónomo de TPM (Total Productive Maintenance).
- Zegarra Andia, R. (2017). Aplicación del mantenimiento productivo total para mejorar la productividad en el proceso de perfilado de metales en el área de perfiles drywall. Empresa Metal Mecánica SA Lima 2016.

Anexo 3: Capacitación Mantenimiento Autónomo

CONTROL DE ASISTENCIA

TIPO DE REUNIÓN: CAPACITACIÓN OPERARIOS - SUPERVISORES
 TEMA: MANTENIMIENTO AUTÓNOMO
 FECHA: 13-12-18
 CAPACITADOR: VICTOR GUEVARA JIMÉNEZ CARGO: CONSULTE MANT.

DATOS	ÁREA	CARGO	FIRMA
EDUARDO LUDENA GARCIA	PRODUCCIÓN	OPERARIO	ELE.
Alex Huastroza	Producción	Operario	<i>[Signature]</i>
Carlos Tejada	Producción	Operario	<i>[Signature]</i>
Jula Cabral	Mantenimiento	Responsable	<i>[Signature]</i>
Óscar Sandoval	Manufactura	Mecánico	<i>[Signature]</i>
Juan Pablo Quiñones	Producción	Operario	<i>[Signature]</i>
FERNÁNDEZ ZÚÑIGA, FABIAN	MANTENIMIENTO	ELECTRICO	<i>[Signature]</i>
Orlando Talledo	Producción	Operario	<i>[Signature]</i>

OBSERVACIONES

Victor Guevara 13/12/18

FIRMA DE CAPACITADOR

Anexo 6: Ficha Técnica

FICHA TÉCNICA

CÓDIGO:

DATOS DEL MÁQUINA

MÁQUINA: _____ MODELO: _____ SERIE: _____
 FABRICANTE: _____ AÑO DE FABRICACIÓN: _____
 PESO TOTAL: _____ LARGO: _____ ANCHO: _____ ALTO: _____
 TRABAJO CRÍTICO TURNO ESPORÁDICO INTERMITENTE

SISTEMAS

ELÉCTRICO	<input type="checkbox"/>	VOLTAJE (V):	CORRIENTE (A):	FRECUENCIA (Hz):								
HIDRÁULICO	<input type="checkbox"/>	<table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 100px;">TIPO:</td> <td>_____</td> </tr> <tr> <td>_____</td> <td>_____</td> </tr> <tr> <td>_____</td> <td>_____</td> </tr> <tr> <td>_____</td> <td>_____</td> </tr> </table>			TIPO:	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____
TIPO:	_____											
_____	_____											
_____	_____											
_____	_____											
REFRIGERACIÓN	<input type="checkbox"/>											
LUBRICACIÓN	<input type="checkbox"/>											
NEUMÁTICO	<input type="checkbox"/>											

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

FOTOGRAFÍA DE LA MÁQUINA

