

# FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería Industrial



“PROPUESTA DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO  
PREVENTIVO PARA MEJORAR LA DISPONIBILIDAD  
DE LAS MAQUINAS DE UNA EMPRESA  
METALMECANICA DEL SECTOR INDUSTRIAL”

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniero Industrial

Autor:

Jehime Vigo Roque

Asesor:

Ing. Rafael Alberto Ortiz Condori

Lima - Perú

2020

## **DEDICATORIA**

El presente trabajo está dedicado a Dios, por darme fuerzas día a día y guiarme en los momentos difíciles de mi vida; a mis padres y hermanos; tenerlos aquí y con contar con su apoyo incondicional para seguir adelante, es un privilegio.

## **AGRADECIMIENTO**

*A Dios por su inmensa gracia que nos brinda y permitirnos continuar creciendo; a mi tutor por haberme guiado en este trabajo, brindándome soporte a través de sus conocimientos; a todos los docentes de la facultad de Ingeniería por sus enseñanzas e inculcarnos valores*

# Índice

## Contenido

DEDICATORIA .....	2
AGRADECIMIENTO .....	3
ÍNDICE DE TABLAS.....	4
ÍNDICE DE FIGURAS.....	5
ÍNDICE DE ECUACIONES .....	8
RESUMEN.....	9
<b>CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>10</b>
1.1. Realidad problemática .....	11
1.1.1. <i>Antecedentes nacionales</i> .....	11
1.1.2. <i>Antecedentes internacionales</i> .....	15
1.2. Bases Teóricas.....	19
1.2.1. <i>Evolución del mantenimiento</i> .....	19
1.2.2. <i>Definición del mantenimiento</i> .....	20
1.2.3. <i>Tipos de mantenimiento</i> .....	22
1.2.4. <i>Indicadores de mantenimiento</i> .....	27
1.3. Formulación del problema .....	33
1.3.1 <i>Problema principal</i> .....	33
1.3.2 <i>Justificación</i> .....	34
1.3.3 <i>Limitaciones</i> .....	34
1.4. Objetivos .....	35
1.5. Hipótesis.....	35
<b>CAPÍTULO II. METODOLOGÍA.....</b>	<b>38</b>
2.1. Tipo de investigación.....	38
Según el autor .....	38
2.2. Población y muestra (Materiales, instrumentos y métodos).....	40
2.2.1 <i>Población</i> .....	40
2.2.2 <i>Muestra</i> .....	41
2.3. Método.....	42
2.3.1 <i>Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos</i> .....	42
2.3.2 <i>Operación de las variables</i> .....	47
2.3.3 <i>Formato de registro de fallas</i> . .....	48
2.3.4 <i>Formato para propuesta de plan</i> .....	49
2.3.5 <i>Confiabilidad, validez y objetividad</i> .....	52
2.3.6 <i>Aspectos éticos</i> .....	53
2.4. Procedimiento de tratamiento y análisis de datos.....	54
2.4.1 <i>Situación actual de la empresa</i> .....	54
2.5. Procedimiento de desarrollo .....	73
2.5.1 <i>Metodologías para la elaboración de un plan de mantenimiento</i> .....	73

2.5.3	<i>Fases para la elaboración del plan de mantenimiento.</i>	74
<b>CAPÍTULO III. RESULTADOS</b>		<b>88</b>
3.1	<i>Inversión requerida</i>	88
3.1.1	<i>Costos por capacitación.</i>	88
3.1.2	<i>Inversión en activos</i>	89
3.1.3	<i>Inversión en estudio</i>	91
	<i>3 costo de la implementación</i>	92
3.1.4	<i>Estimación de la propuesta</i>	94
3.1.5	<i>Análisis costo – beneficio</i>	98
<b>CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES</b>		<b>104</b>
4.1	Limitaciones	104
4.2	Interpretación comparativa	104
4.3	Conclusiones	105
4.4	Recomendaciones	106
<b>REFERENCIAS</b>		<b>108</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1 Sistemas críticos de los procesos</i>	29
<i>Tabla 2 Matriz de coherencia.</i>	36
<i>Tabla 3 Matriz de Operacionalización</i>	37
<i>Tabla 4: Formato de encuesta</i>	44
<i>Tabla 5: check list para las máquinas</i>	46
<i>Tabla 6: Operación de las variables</i>	48
<i>Tabla 7: Formato registro de fallas</i>	49
<i>Tabla 8: formato de programa de mantenimiento</i>	51
<i>Tabla 9: Resultados de la encuesta realizada en la empresa metalmecánica.</i>	56
<i>Tabla 10: Resultados de la encuesta realizada al personal técnico de la empresa metalmecánica.</i>	57
<i>Tabla 11: Registro de fallas de la cortadora por agua</i>	61
<i>Tabla 12: Registro de fallas de la cortadora Laser</i>	62
<i>Tabla 13 Registro de fallas compresor Atlas Copco</i>	63
<i>Tabla 14 Registro de fallas del Torno CNC</i>	64
<i>Tabla 15 Registro de fallas de Fresadora CNC</i>	65
<i>Tabla 16: Registro de fallas maquina CNC</i>	66
<i>Tabla 17: listado de sistemas y su respectiva máquina que pertenece.</i>	79
<i>Tabla 18: Codificación de los equipos</i>	81
<i>Tabla 19: Programa de MP para la cortadora Laser</i>	82
<i>Tabla 20: Programa de MP para la cortadora por agua</i>	83
<i>Tabla 21: Programa de MP para el compresor de aire</i>	84
<i>Tabla 22: Programa de MP para el torno CNC</i>	85
<i>Tabla 23: Programa de MP para la fresadora CNC</i>	86
<i>Tabla 24: Programa de MP para la maquina CNC</i>	87
<i>Tabla 25: costos por capacitación</i>	89
<i>Tabla 26: lista de repuestos</i>	90
<i>Tabla 27: Inversión en estudio realizado</i>	92
<i>Tabla 28: Costo de inversión</i>	92
<i>Tabla 29: Promedio de indicadores de disponibilidad</i>	99
<i>Tabla 30: gastos anuales por máquinas</i>	99
<i>Tabla 31: Financiamiento bancario</i>	100

## ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1: curva de la bañera</i>	26
<i>Figura 2: Relación de los indicadores de mantenimiento</i>	30
<i>Figura 3: Dependencia de la disponibilidad</i>	31
<i>Figura 4: Diagrama Ishikawa</i>	32
<i>Figura 5: Ejemplo del diagrama Pareto</i>	33
<i>Figura 6 Relación entre confiabilidad y validez.</i>	53
<i>Figura 7: Diagrama de Ishikawa</i>	59
<i>Figura 8: Análisis del diagrama Pareto.</i>	60
<i>Figura 9. Estado actual del TMEF y TMPR de las seis máquinas.</i>	67
<i>Figura 10. Disponibilidad de cortadora por agua.</i>	68
<i>Figura 11. Disponibilidad de cortadora laser</i>	69
<i>Figura 12. Disponibilidad de compresor de aire</i>	70
<i>Figura 13. Disponibilidad de torno</i>	71
<i>Figura 14. Disponibilidad de Fresadora CNC</i>	71
<i>Figura 15. Disponibilidad de la maquina CNC</i>	72
<i>Figura 16. Disponibilidad general en el periodo.</i>	72
<i>Figura 17: Fases para la elaboración de plan de mantenimiento</i>	75
<i>Figura 18: Proyección de tiempo medio entre fallas</i>	95
<i>Figura 19: Proyección de tiempo medio para reparar</i>	96
<i>Figura 20. Indicadores con la propuesta de mantenimiento preventivo</i>	97
<i>Figura 21: propuesta de disponibilidad de máquinas</i>	98

## ÍNDICE DE ECUACIONES

<i>Ecuación 1: indicador de disponibilidad</i> -----	29
<i>Ecuación 2: tiempo medio entre fallas</i> -----	30
<i>Ecuación 3: tiempo medio para reparar</i> -----	30
<i>Ecuación 4: índice de conformidad</i> -----	57
<i>Ecuación 5 porcentaje de índice de conformidad</i> -----	57
<i>Ecuación 6: estimaciones</i> -----	94
<i>Ecuación 7; Valor actual neto</i> -----	100



## RESUMEN

El objetivo del presente trabajo de investigación es elaborar una propuesta de un plan de mantenimiento preventivo en una empresa metalmeccánica, la cual he visto que es de suma importancia para que se pueda reducir el número de fallas presentadas de manera inesperadas, la cual esto conlleva a daños de los equipos reduciendo la vida útil de las mismas. Asimismo, estas paradas generan retrasos en la producción de piezas.

En el desarrollo se evaluó la situación actual de las seis máquinas principales que forman parte del proceso de elaboración de piezas, aplicando técnicas de recolección de datos, entre ellos se realizaron encuestas a los operadores de las máquinas, como también al supervisor encargado de producción. La toma de datos de obtuvo de un registro (libros de trabajos realizados).

Para resolver el problema, se realizó las consultas de tesis y libros que están relacionaos con el tema, de esta manera se puedo verificar que existen 3 metodologías para realizar un plan de mantenimiento, se eligió la más adecuada, para poder plantearla a dicha empresa, y así se empiece con un programa de mantenimiento accesible y entendible para todos.

Una vez realizado el plan, el cual se realizaron pronósticos para los siguientes siete meses, dichos pronósticos se realizaron utilizando el método de regresión lineal.

Se obtuvieron resultados favorables, con un incremento de la disponibilidad en un 8%. Por lo tanto, recomiendo y espero que este plan sea tomado en la empresa metalmeccánica, así poder incrementar sus indicadores y sobre todo incrementar la producción de las piezas y cumpla con los objetivos.

Palabras clave: mantenimiento preventivo, disponibilidad, indicadores:

## CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

### 1.1. Realidad problemática

Al transcurrir el tiempo, el mantenimiento está considerado como una disciplina que se ha ido desarrollando en la industria y su principal objetivo es garantizar la disponibilidad de los equipos relacionados al proceso, para que esto ocurra se debe realizar un mantenimiento eficiente y, a un bajo costo, siguiendo los pasos y procedimientos de un programa o plan de mantenimiento, que puede ser predictivo, preventivo, autónomo, etc. El cual nos garantice la funcionalidad y disponibilidad de dichos equipos, de esta manera se verán reflejados la durabilidad, asimismo se evitarán las fallas y paradas innecesarias. Hoy en día toda organización que desee mantenerse en el mercado brindando bienes y servicios, indispensablemente tiene que ser competitiva, por lo tanto, tiene que ser innovadora (Hernandez Cruz & Navarrete Perez, 2001) .

La empresa metalmecánica del sector industrial, es una entidad privada con más de 20 años de fundación dedicándose a la fabricación, comercialización e instalación de piezas mecanizadas para diferentes tipos de industrias.

Todo este conjunto de máquinas que son importantes en el proceso de fabricación de piezas, no cuenta con un mantenimiento preventivo, cualquier intervención en la máquina es específicamente para realizar trabajos correctivos y esto se realiza cada vez por algún tipo de fallo, si por alguna razón no hay en stock el elemento que se ha malogrado, dicha máquina deja de trabajar hasta que compren este elemento o dispositivo y se pueda reparar. Esto genera retrasos para la fabricación de las piezas ocasionando contratiempos con la entrega del producto hacia el cliente.

Entre las maquinas más importantes para el proceso de fabricación de piezas tenemos: Cortadora laser, cortadora por agua, compresor de aire, torno cnc, fresadora cnc, y control numérico por computadora. Cada vez que se realiza una reparación de cualquiera de estas

máquinas o equipos por algún técnico de planta, no se lleva un control adecuado de las reparaciones que se han realizado, simplemente se anota para su respectivo reporte del día. El personal (mecánico, electricista) no tienen un buen control de los equipos de planta ya que siempre están destinados a proyectos que se ejecutan en otras industrias. De esta manera, se puede concluir que en esta entidad no se cuenta con ningún tipo de reportes de los equipos reparados. Por tal motivo, se propone una propuesta de un plan de mantenimiento preventivo a todos los equipos de la empresa metalmecánica, de esta manera evitar las paradas innecesarias y retrasos en la fabricación de piezas que al final de todo, esto genera pérdidas para la empresa y disconformidad para los clientes.

#### **1.1.1. Antecedentes nacionales**

Collantes, *“Propuesta de implementación del mantenimiento preventivo en las celdas de flotación KYF-300 para mejorar la productividad en la planta de cobre- Chinalco- Perú”*

Tesis presentada en la universidad privada del norte, sede – Trujillo. En dicho estudio, el autor tiene como objetivo “Diseñar e implementar un plan de mantenimiento preventivo para las celdas de flotación que permitirá mejorar la productividad en la planta procesadora de cobre de minera Chinalco – Perú”. La muestra que utilizó representó al 100% de la población, por lo cual fue una máquina y dos operarios, además de ello utilizó un muestreo no probabilístico. La metodología que utilizó fue tipo descriptiva con un diseño no experimental, realizando un formulario de encuestas hacia el personal operativo. En sus resultados se puede concluir que la máquina solamente se interviene en eventos de paradas no deseadas, realizando acciones correctivas; entonces llega a la conclusión que al implementar un programa de mantenimiento preventivo esto le ayudaría mucho a la empresa a no incurrir en gastos innecesarios. Por consiguiente, se llega a las siguientes conclusiones. La maquinaria no llega al 100% de su eficiencia, por motivos de las paradas imprevistas que ocurren de una manera frecuente. De

esta manera se propone un plan mantenimiento preventivo para que disminuya la ocurrencia de fallas (Collantes, 2017).

Vega, *“Implementación del mantenimiento preventivo para mejorar la disponibilidad de la maquinaria en la empresa grúas América SAC”* Tesis para obtener el título de ingeniero industrial. El objetivo fue el diseño e implementar un plan de mantenimiento preventivo con la finalidad de mejorar la disponibilidad de las máquinas de dicha empresa.

El desarrollo del trabajo lo realiza con una población de 5 máquinas (grúas) y como muestra utilizó toda la población designada, asimismo el método utilizado ha sido observatorio con un diseño cuasi experimental del tipo explicativo, dando como plazo un periodo de 60 días para ver y analizar la problemática. Entre ellos realizando la recolección de datos de las máquinas, además analizó la criticidad de estas, utilizó manuales para obtener información adicional, de esta manera inició con la elaboración de un plan de mantenimiento, determinando los tiempos de reparación de dichos equipos. Llegando a la conclusión que la implementación del mantenimiento preventivo llegó a mejorar la disponibilidad de las maquinas en un 7.56%. además de ello también se logran mejorar otros indicadores tales como: mantenibilidad que se propone en mejorar en este caso de 1.40 a 1.14 reduciendo en promedio a 0.26 horas/falla y fiabilidad que se incrementó de a 9.33 horas/fallas correspondientes al mantenimiento preventivo (Vega, 2017).

Álvarez, *“Propuesta de plan de implementación preventivo y mantenimiento centrado en confiabilidad como estrategia de optimización del desempeño en una empresa metalmecánica”*. Tesis presentada para que obtenga el título de Ingeniero Industrial, en la universidad Católica Santa María. El objetivo de este estudio realizado fue proponer un plan de mantenimiento preventivo y RCM como estrategia de optimización del desempeño en una empresa metalmecánica en la ciudad de Arequipa.

El desarrollo de esta investigación se realizó a través de análisis a los equipos para verificar sus datos de fábrica, además realizar un análisis de criticidad a dichos equipos. El tipo de investigación es descriptiva, con un enfoque cuantitativo con un diseño no experimental. El instrumento utilizado fue una ficha de análisis documental o también conocido como check list. En sus conclusiones consideran que en dicha empresa no llevan un procedimiento o no cuentan con algún plan de mantenimiento, solamente se limitan a realizar mantenimiento correctivo el cual solamente se cumple con las emergencias que se presentan, de esta manera también se puede afirmar que no cuentan con indicadores, por lo tanto, esa es una gran deficiencia ya que dicha entidad se encarga de realizar trabajos de mantenimiento a otras organizaciones (Alvarez, 2018).

Gonzales, Bazán, *“Diseño del sistema de gestión de mantenimiento preventivo, para incrementar la disponibilidad de los equipos de laboratorio clínico de la empresa Jampar Multiplast internacional S.R.L – 2017”* dicho trabajo fue desarrollado para que opten por el título de ingenieros Industriales, en la Universidad Privada del Norte – Cajamarca. El objetivo de la tesis es diseñar un plan de mantenimiento para incrementar la disponibilidad de equipos de los laboratorios clínicos, esto debido a la cantidad de reclamos de los clientes por la falla de equipos. Para ello realizó un diagrama Ishikawa de esta manera levantar la causa raíz de dichos problemas encontrados, la cual fueron: falta de capacitación en mantenimiento, etc. Realizó una metodología del tipo preexperimental – transversal, la población que eligió fue todos los reclamos presentados hacia la empresa; asimismo, la muestra que eligió fue del periodo marzo 2016 – febrero 2017. Utilizó la técnica de entrevista para hacer la recolección de datos. En el proceso de implementación, realizó análisis de criticidad a los equipos para que pueda jerarquizar la importancia de estos. Como resultado se puede verificar que la variable disponibilidad ha tenido un incremento promedio de 3.7 %, asimismo con 1 otra variable “diseño de sistema de gestión de mantenimiento preventivo”, pudieron mejorar la

estandarización de tiempos y los procedimientos de los mantenimientos (Gonzalez & Maicelo, 2017).

Ramos, Julio. En su tesis de investigación *“Aumento de la disponibilidad mediante la implementación de un plan de mantenimiento preventivo a las maquinarias de la empresa Atlanta metal drill S.A.C”*. Su tesis la realizó para optar por el título de Ingeniero Mecánico en la Universidad Nacional de Trujillo. Su estudio fue un diseño no experimental con un tipo de investigación descriptiva, aplicando las técnicas de observación directa, entrevista y material bibliográfico. El objetivo fue implementar un plan de mantenimiento, para incrementar la disponibilidad de las maquinas en esa empresa. Esto se debió a la baja disponibilidad que presentaban estas mismas por motivos de las paradas constantes a causa de fallas inesperadas, para implementar dicho plan, llevo a cabo un procedimiento identificando las fallas y realizando una matriz de criticidad de las máquinas. Tomó como población 23 máquinas (todas de la empresa). Realizo un análisis basada en la técnica de Pareto por un periodo de seis meses (Enero – Junio del 2016), destacando así que, a causa del desgaste en la bobina de avance del torno, genera el mayor porcentaje del problema.

Después que realizó el análisis de criticidad, solamente cuatro maquinas eran críticas en el proceso; de acuerdo a los datos obtenidos obtiene el MTBF del torno está en 160 horas y la disponibilidad actual estaba en promedio de 83.33 %. Procede a realizar un plan de mantenimiento preventivo para las mismas, realizando un cronograma de actividades a realizar de manera periódica, sus proyecciones en los próximos seis meses el MTBF del torno es cada 360 horas y la disponibilidad pasó a 93.83 %.

En promedio general incluyendo las tres máquinas adicionales, la disponibilidad se incrementará en un 10.0 %. (Ramos, 2017)

### **1.1.2. Antecedentes internacionales**

Antuán, “*Programa de mantenimiento preventivo par la empresa metalmecánica industrias AVM S.A*” trabajo presentado para que opte al título de ingeniero mecánico en la Universidad Industrial de Santander; el objetivo principal de esta tesis es “garantizar la disponibilidad y confiabilidad de los equipos de la línea de producción”

La tesis se desarrolló realizando un diagnóstico de la función del mantenimiento de tal manera que describieron fortalezas y debilidades encontradas, utilizó metodología con un alcance descriptiva con diseño no experimental. En la observación que realizó pudo notar que las actividades de reparación de realizaba únicamente de manera correctiva, dichas actividades no se manejaban con ningún tipo de registro, tampoco no se generaba ninguna orden de trabajo (OT).

Para que, de inicio a dicha propuesta de mantenimiento preventivo, procedió a elaborar un modelo con la finalidad de llevar un mantenimiento controlado, para ello hizo el inventario y rotulación de equipos de planta, asimismo realizó un análisis de criticidad de cada equipo comprometido en el proceso, una vez que obtuvo todos los datos necesarios, procedió con el diseño de mantenimiento preventivo. Llegando a la conclusión que dicho plan de mantenimiento se diseñó de acuerdo con las necesidades de la entidad, elaborándose un manual de procedimiento de mantenimiento de cada equipo. Los indicadores de mantenimiento establecidos permitieron medir el desarrollo de dicho programa preventivo. Por consiguiente, hubo una auditoria para una certificación de ISO 9001-2000 donde señalan que no había disconformidad con respecto al proceso de mantenimiento (Anturán, 2004).

Valdiviezo, en su tesis titulado como: “*Diseño de un plan de mantenimiento preventivo para la empresa extruplas S.A*”. Lo plantea con el propósito para que las máquinas de dicha empresa puedan funcionar con un alto grado de eficiencia, esto lo realiza a través de un procedimiento establecido. Primero analiza la realidad problemática de la empresa y de acuerdo con esa problemática procede a realizar un estudio de cada tipo de mantenimiento que existe para

determinar cuál es el más idóneo para la organización, en este análisis se llega a la conclusión que el mantenimiento preventivo es el más adecuado.

En su desarrollo de diseñar el plan, como primer paso procede a realizar con la codificación de los equipos, designándoles un código único, tomando una estructura adecuada, además realiza un análisis de criticidad de cada equipo; luego procede a realizar fichas para cada máquina, en dichas fichas especifica datos técnicos de la misma y el nivel de criticidad. También crea fichas de fallos estas fichas se suelen usar específicamente después de cada intervención de los equipos. (Valdivieso, 2010).

En dicha tesis, Valdivieso también propone una gestión de repuestos para que tengan en stock, dichos repuestos han sido evaluados seleccionándose los más importantes de cada máquina, como último paso realiza un análisis de costos de dicho plan. Valdivieso tuvo como limitación el no contar con datos específicos de algunos repuestos entre ellos rodamientos, de esta manera no pudo realizar estimaciones de cuánto sería la vida útil de algunos repuestos.

Sánchez, en su tesis: *“Diseño de un plan de mantenimiento mediante metodología RCM para una línea de valorización de polietileno de baja PEBD”*. En la empresa la cual no menciona el nombre, el proceso de producción es continuo produciendo las 24 horas del día, no dispone de algún plan de mantenimiento. De manera que, su filosofía es producir hasta que se produzca una falla de alguna máquina y así proceder a la reparación de esta. Por tal motivo, llegó a la decisión de implementar un plan de mantenimiento para optimizar los recursos; asimismo mejorar la disponibilidad de las máquinas. De esta manera plantea como objetivo incrementar la fiabilidad de las máquinas, para eso debe reducir el tiempo de paradas por averías inesperadas. Por consiguiente, para cumplir con el objetivo, ha optado con la aplicación de la metodología “mantenimiento centrado en la confiabilidad” (RCM).



En su desarrollo del plan, empieza describiendo las funciones de cada máquina, posteriormente realiza un análisis u modo de fallo de las mismas; asimismo un análisis de criticidad de cada una de ellas, para luego proceder a realizar un cuadro de actividades (programa de mantenimiento preventivo de las maquinas) indicando la frecuencia de las labores a realizar en cada una de ellas, esto lo realizar con ayuda de los manuales de máquinas y de la experiencia de los colaboradores, designando las labores rutinarias a estos mismos.

Con el plan diseñado, llegó a la conclusión de realizar una parada programada por un lapso de 8 hrs, con mutuo acuerdo con el área de producción. Esto logró incrementar el tiempo medio entre fallas de 43.7 horas (promedio mensual) a 64.9 horas al mes. Además, incrementa la disponibilidad de las máquinas. Por lo tanto, también llegó a incrementar la productividad de 1917 tn a 2148 tn, esto en un periodo de 4 meses. (Sánchez, 2016)

Martínez, A & Buelvas, C. En sus tesis de investigación: *“Elaboración de un plan de mantenimiento preventivo para la maquinaria pesada de la empresa L&L”*. El trabajo es desarrollado y presentado para que opten por el de ingeniero mecánico en la Universidad Autónoma del Caribe – Colombia. El objetivo principal de la tesis fue elaborar un plan de mantenimiento preventivo para una flota de vehículos pesados con la finalidad de poder mejorar la disponibilidad y reducir costos de estas, esto debido que solamente se realizaban trabajos correctivos generando perdidas debido a las demoras de reparación por falta de repuestos ya que generalmente lo compran en el momento que ocurre la falla. El estudio la realizan a cuatro vehículos pesados; asimismo la tesis es descriptiva del tipo aplicada, en ello muestran que cada día no productivo dejan de percibir un promedio de \$800.00 por máquina. Cuentan con registros de los insumos comprados para el mantenimiento ejecutado anteriormente, donde pueden obtener que material o repuesto es cambiado con mayor frecuencia para así puedan gestionar un stock de repuestos en almacén; además con ayuda de manuales de máquinas logran realizar dicho plan. De esta manera generan cuadros de

actividades y cada que tiempo las deben de realizar, además de ello manejaran indicadores para que puedan medir los tiempos de parada, reparación, etc.

El plan se ha ejecutado según recomendaciones del fabricante, para que aseguren la operatividad del plan han generado cuatro formatos entre ellos: ordenes de servicio, listas de chequeo de los equipos, entre otros. Por lo tanto, en un periodo de prueba de 3 meses después de haberlo puesto en marcha la disponibilidad ha mejorado en un promedio de 9%. (Buelvas & Martinez, 2014).

Bravo, en su tesis de grado "*Elaboración de un plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad*" para optar al título de ingeniero de procesos industriales, en la Universidad Central de Venezuela.

El objetivo de su tesis es la implementación de un plan de mantenimiento basado en la metodología RCM, para incrementar la confiabilidad y disponibilidad y reducir los costos de mantenimiento de los extrusores de la línea seis de extruidos blandos en la empresa Pepsico alimentos S.C.A. En su problemática que menciona, la línea no cuenta con un plan de mantenimiento preventivo, lo cual solamente realizan reparaciones correctivas, teniendo un promedio mensual de 80 horas de paradas no programadas en un periodo de seis meses. Además, afirma que un 38% de horas totales de mantenimiento están destinadas a mantenimiento correctivo. Esta problemática genera que las maquinas cuenten con una baja disponibilidad y no puedan cumplir con las órdenes de producción. En el proceso de desarrollo del plan de mantenimiento, determinó que el husillo y el motor son los componentes más críticos, la cual se debe de trabajar mucho en ello; después que realizó el análisis de criticidad, escogió las actividades de mantenimiento para cada componente del sistema.

El autor considera que con ello incrementará la confiabilidad, disponibilidad y generará una reducción de costos operativos y de mantenimiento. De esta manera garantiza el correcto funcionamiento de los extrusores de la línea seis. (Bravo, 2016).

## **1.2. Bases Teóricas**

### **1.2.1. Evolución del mantenimiento**

El mantenimiento ha ido evolucionando a finales del siglo XIX donde empezó a pasar por diferentes etapas, de esta manera a inicios de la revolución industrial, la reparación de los equipos se realizaban por los mismos maquinistas esto se debía porque las maquinas no eran muy complejas con respecto a su funcionamiento y las reparaciones solían ser sencillas; pero al transcurrir el tiempo la tecnología se iba desarrollando de tal forma que aparecían maquinas con sistemas automatizados, de esta manera empezaron a crear áreas de mantenimiento con personal más especializado en dicha rama, pero básicamente desarrollaban actividades correctivas.

A partir de la segunda guerra mundial aparecen nuevos conceptos tales como: fiabilidad, donde se busca que las tareas de mantenimiento sean algo más que correctivo, es ahí donde se implementa el mantenimiento preventivo, con la finalidad de realizar tareas de prevención para así evitar paradas innecesarias de los equipos; sucesivamente aparecen otros tipos de mantenimiento, entre ellos tenemos: mantenimiento predictivo, proactivo, hasta llegar al mantenimiento centrado en la fiabilidad (RCM) básicamente este tipo de mantenimiento toma una estrategia relacionada a gestionar y realizar análisis de equipos.

A inicios de los años 80, se empezó a desarrollar un nuevo tipo de mantenimiento llamado: mantenimiento productivo total (TPM), la metodología de este tipo de mantenimiento tuvo como objetivo fundamental conseguir *cero averías* de tal manera que los operarios se sientan más comprometidos con los equipos de esta manera pudiendo desarrollar algunas tareas básicas

tales como: limpieza general de la máquinas, realizar ajustes y reparaciones mínimas que estén dentro de su alcance (García, 2003).

### **1.2.2. Definición del mantenimiento**

Según el autor (García, 2003), define el mantenimiento como un conjunto de técnicas que se enfoca en la conservación de los equipos e instalaciones durante el mayor tiempo posible, asimismo busca una alta disponibilidad y un alto rendimiento.

Para el autor (Mora, 2009, pág. 35) básicamente el mantenimiento está enfocado en incrementar la confiabilidad de los sistemas de producción en el momento que estas están realizando actividades; el funcionamiento de las máquinas está relacionado estrictamente con el mantenimiento, teniendo como objetivo principal prevenir los eventos no deseados tales como paradas innecesarias.

Asimismo, (García, 2012, pág. 23) ; define al Mantenimiento como un conjunto de actividades que se deben realizar de manera ordenada y lógica, con la finalidad de conservar un buen servicio y que, las sean operaciones se los equipos de producción sean seguras; de tal manera, que, el equipo recibe algún tipo de mantenimiento para garantizar que su función que está desempeñando se cumpla con totalidad. Si lo trasladamos a la parte económica de la organización, un mantenimiento de manera eficiente significa:

- La seguridad de un servicio
- La protección y conservación de las Inversiones
- La garantía de productividad.

### **El mantenimiento como Plan**

Es un conjunto de actividades que ya son programadas con anticipación, la cual se debe realizar a una serie de sistemas y equipos, que, generalmente no son a todo los de planta. Ya que existen equipos que no se consideran en el plan de mantenimiento preventivo por la misma función

que estas desempeñan (no influye en el proceso ante una falla), por tal motivo resulta más económico aplicar una política solamente de manera correctiva.

El autor (García S. , 2009-2015), considera que un plan de mantenimiento engloba tres actividades importantes, que son las siguientes:

- Las actividades rutinarias, que son realizadas con una frecuencia diaria, generalmente las realiza el equipo de operación.
- Las actividades que son realizadas durante las paradas programadas
- Las actividades programadas que se realizan a lo largo del año.

### **Objetivo del mantenimiento**

El principal objetivo del mantenimiento es evitar reparar las averías en el momento que estas se presenten ocasionando las paradas de alguna máquina, desde ahí parte todo, por lo cual las empresas deben de crear un programa de mantenimiento con la finalidad de disminuir estas intervenciones ya que en el mayor de los casos esas fallas inesperadas son muy frecuentes en los equipos y/o máquina. Para ello se trazan los siguientes objetivos:

- Asegurar un valor determinado de fiabilidad.
- Asegurar un valor determinado de disponibilidad.
- Asegurar en alargar la vida útil de los equipos e instalación en general.
- El plan debe ajustarse a un presupuesto dado.

### **Estrategia de Mantenimiento**

Hoy en día, la mayor parte de industrias se encuentran en la necesidad de realizar diversas tareas de mantenimiento, de cierta manera puedan compensar el desgaste por las mismas que con el tiempo y el trabajo de estas provocan. Existen instalaciones donde las tareas más relevantes son las correctivas; asimismo, existen plantas donde las tareas que más resaltan son las del tipo preventivo. Como también hay instalaciones donde exige una alta disponibilidad

de los equipos para poder producir de manera constante. De esta manera las estrategias para tener en cuenta y así se pueda aplicar en las instalaciones.

**Estrategia correctiva**, básicamente se enfoca de reparar las averías cuando estas aparecen.

**Estrategia condicional**, básicamente se encarga de realizar inspecciones y pruebas en las actividades establecidas.

**Estrategia sistemática**, esta se basa en realizar intervenciones de mantenimiento en las instalaciones y equipos que ya están programados a lo largo de un periodo (anual).

**Estrategia de alta disponibilidad**, esta estrategia busca tener la instalación operativa el mayor tiempo posible; por lo tanto, las tareas a realizar deben de agruparse y que sean desarrolladas en el menor tiempo posible.

**Estrategia de alta disponibilidad y confiabilidad**, esta requiere de otras técnicas entre ellas analizar las averías, el por qué fueron causadas, hacer un análisis más profundo para que se pueda evitar. (Garcia S. , 2009-2015)

### **1.2.3. Tipos de mantenimiento**

Normalmente para todo tipo de industrias hoy en día no se recomienda trabajar con un solo tipo de mantenimiento. Básicamente todos apuntan al mismo objetivo, por lo general uno se complementa del otro, hasta lograr los objetivos propuestos, excepto el mantenimiento correctivo.

#### **1) Mantenimiento predictivo**

El autor (Garcia, 2012), define al mantenimiento predictivo como un conjunto de actividades para detectar fallas de equipos e instalaciones, antes que estas lleguen a suceder, dichas actividades se realizan con el sistema en funcionamiento de tal manera que no perjudique a la producción, para ello se deben utilizar equipos de diagnóstico y en buen estado. Básicamente, este tipo de mantenimiento de encarga de realizar monitoreos con instrumentos que permita

controlar de manera periódica su estado de funcionamiento; de esta manera se pueda intervenir para su reparación cuando sea necesario, ante que se presente la falla.

Este tipo de mantenimiento se utiliza para realizar diagnósticos de manera permanente con el propósito de detectar anticipadamente una posible pérdida o calidad de servicio que esté entregando un equipo. De acuerdo con los resultados del diagnóstico realizado se tiene que programar un manteniendo preventivo, para que, de esta manera no se pierda la calidad de servicio esperado.

Para realizar el diagnostico de una máquina, hoy día existen diferentes tipos de dispositivos que nos permiten realizar dichas tareas de manera simultánea sin tener que parar la máquina, entre ellos tenemos los transductores (captadores y sensores) que captan cual tipos de energía (ultrasónica, vibratoria, lumínica, sonora, etc.) para luego traducirlo en una señal eléctrica, las cual es analizada por el dispositivo y se verifica el estado que en la cual se encuentra la máquina y de esta manera determinar alguna intervención.

Los objetivos del mantenimiento predictivo son:

- Maximizar la efectividad de las máquinas.
- Protección preventiva de las personas y recursos físicos.
- Reducción del costo combinado (conservación más paros)

Las ventajas de este tipo de mantenimiento es que nos permite realizar lo siguiente:

- Obtener información sobre el proceso de planta
- Diagnostico predictivo de funcionamiento
- Cambio automático de elementos redundantes y así poder salvaguardar la calidad del servicio (Dounce, 2007).

## **2) Mantenimiento correctivo**

El mantenimiento correctivo tiene desventajas, sobre todo en una empresa que produce las 24 horas al día, esto se debe porque solamente se desarrolla en el momento que el equipo falla o

sufre un avería, de tal manera que el operador encargado de dicho equipo pasa a avisar al encargado del área de mantenimiento; de esta manera designan a un personal capacitado para que se encargue de darle solución a dicho equipo o maquina en el menor tiempo posible, de tal forma que realizar un análisis de las posibles causas pasa a segundo plano. En este tipo de mantenimiento, como en muchos otros, una avería se puede presentar en cualquier momento y el área de mantenimiento en este momento cuente con personal deficiente, entonces no podrían reparar dichos equipos, en consecuencia, estos eventos generan la no disponibilidad del equipo. Además, otra de las desventajas es que suele haber mucha incertidumbre debido que no se puede predecir la frecuencia entre fallas y la importancia de estas. Asimismo, el personal que realiza las reparaciones solamente tiene contacto con el equipo en el momento que interviene para realizar la reparación después de esto ya dejan de lado en equipo hasta que ocurra un evento no deseado (Navarro, Pastor, & Mugaburu, 1997).

Este tipo de mantenimiento es un conjunto de tareas a realizar para corregir fallas del sistema o equipos que se presentan de manera inesperada, de manera que son comunicadas al departamento correspondiente (mantenimiento) por los operarios de estas mismas.

### **3) Mantenimiento Preventivo**

“Es el mantenimiento que tiene por misión mantener un nivel de servicio determinado en los equipos, programando las correcciones de sus puntos vulnerables en el momento más oportuno” (García, 2003).

Según el autor Palencia, existen varias definiciones que podemos encontrar para el Mantenimiento preventivo, pero que, todos esos conceptos encontrados se refieren a la intervención del equipo o sistema, antes de presentarse la falla. Asimismo, menciona que un programa de mantenimiento preventivo requiere de dos actividades básicas:

- Inspección periódica de los equipos, de esta manera poder detectar las condiciones que conducen a paros imprevistos.



- Mantener conservada la planta para anular dichos aspectos, realizar la reparación cuando estés se encuentren en una etapa inicial (García, 2012, págs. 55-56)

Este tipo de mantenimiento tiene como misión conocer el estado actual de todos los equipos, de esta manera se pueda programar un mantenimiento correctivo en un momento más oportuno. Asimismo, he de mencionar que es totalmente adverso al mantenimiento correctivo, cuenta con ventajas muy significativas las cuales son las siguientes:

- Disminuye la frecuencia de paradas.
- La distribución de trabajos se realiza de una manera uniforme
- Aprovecha los momentos oportunos para que se realice reparaciones, en este caso se suele dar cuando hay parada de planta.
- Cuenta con stock de repuestos para los recambios necesarios

Para implementar este tipo de mantenimiento es necesario que se haga un plan por cada uno de los equipos, donde se especificarán las técnicas que se deben aplicar y poder detectar posibles anomalías que interrumpan el funcionamiento, además de ellos se estudia su causa ante cualquier suceso que se presente de esta manera se pueda programar para que realicen sus respectivas reparaciones (Navarro, Pastor, & Mugaburu, 1997).

Para el autor (Rey, 2001, pág. 192), define al mantenimiento preventivo como un “conjunto de operaciones que se realizan a las máquinas y equipos de producción” para evitar que se produzca un fallo en plena operación y afecte a la producción del proceso. Este tipo de mantenimiento consta de una serie de tareas de inspección programadas, la cual se tienen que ir desarrollando de manera sistemática.

El autor (García S. , 2009-2015), menciona en su libreo que el mantenimiento preventivo se divide en cuatro subtipos, entre ellos tenemos:

- ✓ **Mantenimiento conductivo.** Básicamente son orientadas a los operadores de máquinas que pueden ayudar en ciertas funciones como toma de datos, ajuste de algunos parámetros.
- ✓ **Mantenimiento sistemático.** Este subtipo “se realiza cada cierto periodo de tiempo o cada cierto número de horas”.
- ✓ **Mantenimiento hard time.** Otros lo conocen como **overhaul**, que significa “mayor revisión o cero horas; se encarga de realizar conjunto de actividades cada cierto tiempo que funcione un equipo o un sistema en un menor tiempo posible.
- ✓ **Mantenimiento modificativo.** Son tareas que se desarrollan en un determinado sistema o equipo, donde ha ocurrido una falla, en cierta parte realizando algunas modificaciones de mejora de estas mismas con el objetivo que no se vuelva a producir.

### Curva de la bañera

Sirve para graficar de manera general el comportamiento de un equipo apoyándose en estudios ya establecidos sobre la fiabilidad, en la cual han determinado que la cantidad de fallas que pueda presentar un sistema o equipo en particular no llega ser uniforme en lo que compete a su vida útil, estableciéndose ciertas variaciones en los periodos iniciales y finales; por lo tanto, esta se divide en tres etapas.

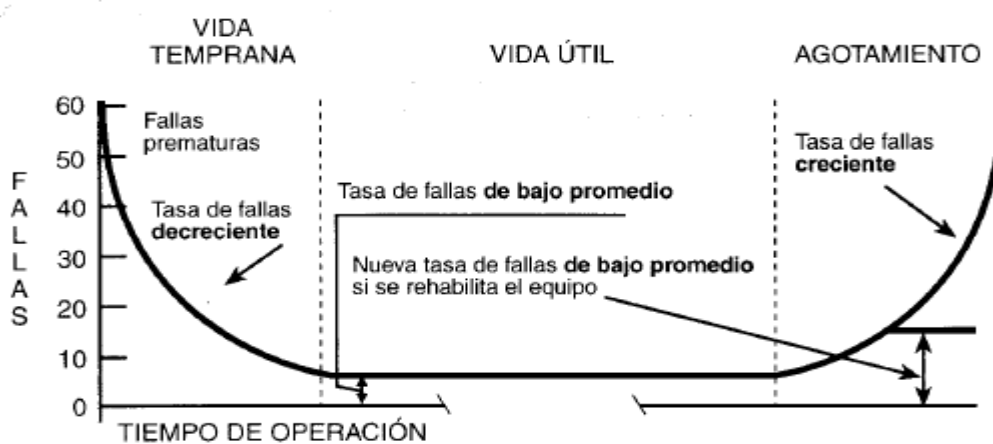


Figura 1: curva de la bañera

Fuente: (Dounce, E)

- ✓ **Vida temprana**, también conocida como fallas infantiles, es ahí donde se presentan las fallas prematuras de los equipos, generalmente empiezan a ocurrir después de haber sido instalado el equipo, que generalmente son ocasionadas por las siguientes causas: mala instalación, mano de obra descalificada, malas operaciones, deficiencias técnicas de fabricación, materiales inadecuados, etc. Por tal motivo, las empresas se ven en la obligación de desarrollar trabajos de conservación.
  
- ✓ **Vida útil, fallas aleatorias**, en esta etapa la conservación que se le brinda al equipo es grande hasta poder llegar a un nivel óptimo de conservación, la cual debe permanecer durante algunos años manteniendo un promedio bajo el nivel de tasa de fallas, hasta que el fabricante del equipo garantice el funcionamiento de este. Las fallas aleatorias más comunes se deben por: causas naturales, sobreesfuerzo al equipo, causas inexplicables.
  
- **Agotamiento o fallas por desgaste**, en esta última etapa, las fallas se empiezan a ocurrir con mayor frecuencia, esto se debe que los componentes del equipo presentan un desgaste considerable, a pesar de que se esté realizando las mismas las mismas tareas para la conservación de estas. En esta última etapa el costo de mantener o conservar el equipo se incrementa, esto se debe a las siguientes causas: corrosión de piezas, desgaste, edad.

#### **1.2.4. Indicadores de mantenimiento**

Los indicadores son parámetros numéricos, de manera que, nos brindan información sobre los equipos estudiados que intervienen en cualquier tipo de proceso. Estos se dan de manera gráfica donde se muestran los resultados y de acuerdo con ellos se debe decidir de realizar algún tipo de mejora. La finalidad de estas es poder compararlas con resultados históricos, también con resultados futuros, de acuerdo con ello se deben tomar acciones correctivas.

Cuenta con características fundamentales.

- Tienen que ser claros de entender y calcular
- Útiles para conocer de manera rápida como se encuentran su estado actualmente.

Existen varios tipos de indicadores (disponibilidad, gestión de O.T, costo, gestión de almacenes, de seguridad). Para la presente propuesta del plan de mantenimiento preventivo, se tendrán en cuenta algunos de estos indicadores mencionados, la cual nos servirán de apoyo para saber cómo se encuentra el estado actual de los equipos de planta que posteriormente serán medidos y de acuerdo con los resultados se debe tomar las decisiones que más creamos convenientes para la organización.

Los indicadores para este estudio serán los siguientes:

✓ **Disponibilidad.** - es uno de los objetivos principales del mantenimiento, de tal manera que la definen como la confianza de un elemento o equipo que tuvo mantenimiento, proceda a funcionar de manera satisfactoria para un determinado tiempo; dicho tiempo depende del TMEF y TMPR. Asimismo, este indicador se llega a medir en porcentaje.

El autor (Mora, 2009), define a la disponibilidad como: “la probabilidad de que el equipo funcione satisfactoriamente en el momento en que sea requerido después del comienzo de su operación, cuando se usa bajo condiciones estables”.

Tabla 1 *Sistemas críticos de los procesos*

	REQUISITOS	EJEMPLOS
1	Alta confiabilidad Poca disponibilidad	Generación de electricidad Tratamiento de agua
2	Alta disponibilidad	Refinerías de petróleo Acerías
3	Alta confiabilidad Alta mantenibilidad	Incineradores hospitalarios
4	Disponibilidad basada en buena práctica	Procesamiento por etapas
5	Alta disponibilidad Alta confiabilidad	Sistemas de emergencia Plataformas petroleras

Fuente: (García, 2003)

Básicamente, la disponibilidad  $D(t)$ , se puede definir como la relación entre el tiempo en que la máquina o sistema de instalación esté disponible para trabajar TMEF y el tiempo que toma en la reparación de esta, TMPR. (Meza, Ortiz, & Pinzon, 2006).

$$D(t) = \frac{TMEF}{TMEF + TMPR} \times 100$$

*Ecuación 1: indicador de disponibilidad*

✓ **Confiabilidad.** – se define como la confianza que se tiene de que el equipo, elemento, o sistema realice su función de manera normal durante un periodo de tiempo determinado; asimismo, también se puede decir que la confiabilidad se mide a partir del número y la duración de las fallas (reparaciones, tiempos útiles, etc.). Por lo tanto, la confiabilidad es la probabilidad de que no ocurra una falla de ningún tipo, cumpliendo un nivel de confianza dado.

✓ **Mantenibilidad.** – es la expectativa que se espera del equipo o sistema se pueda reestablecer para su respectivo funcionamiento dentro de un lapso establecido, de manera que el mantenimiento sea realizado con pasos preestablecido.

El autor (Mora, 2009), menciona que “la mantenibilidad se cuantifica a partir de la cantidad y duración de las reparaciones o mantenimientos planeados”.

✓ **Tiempo medio entre fallas (TMEF).** – se determina como el tiempo entre el arranque de un equipo y la aparición de una falla, mientras mayor sea el resultado, la confiabilidad del sistema es más elevada.

$$TMEF = \frac{\text{Tiempo Total de Funcion}}{\text{Número de fallas}}$$

*Ecuación 2: tiempo medio entre fallas*

✓ **Tiempo medio para reparar (TMPR).** -Es el tiempo que toma en la reparación de un equipo ante una falla que se haya presentado, de esta manera mide la efectividad de restablecer la unidad a condiciones normales para su operación

$$TMPR = \frac{\text{Tiempo Total Inactivo}}{\text{Número de fallas}}$$

*Ecuación 3: tiempo medio para reparar*



*Figura 2:* Relación de los indicadores de mantenimiento

**FUENTE:** (Dounce, 2007)

**Nota:** De la presente figura podemos resumir que la mantenibilidad está relacionada a TTR y se asocia a las reparaciones; la confiabilidad está relacionada al TMEF y se asocia a las fallas. Por lo tanto, la disponibilidad está asociada a la posibilidad de generar productos.

Donde:

**TTF= Time to Failure** = tiempo hasta fallar.

**TMEF=** tiempo medio entre falla.

**UT= UP Time** = tiempo de funcionamiento.

**PD= Production delays** = demora en informar al área de mantenimiento.

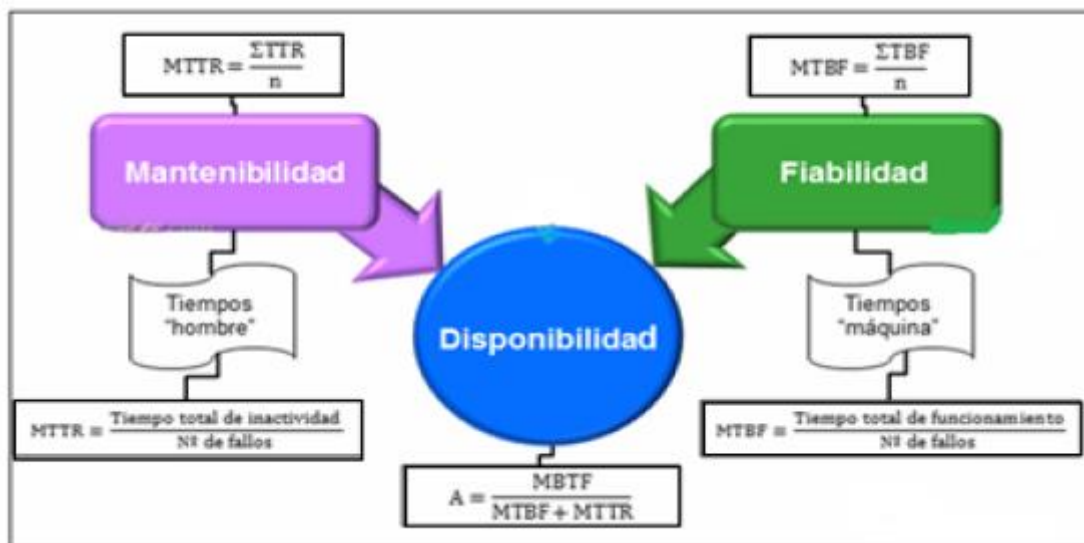
**TTR= Time to Repair** = tiempo para reparar.

**DT= Down Time** = tiempo no operativo.

**PM= Planned maintenance** = Mantenimiento planificado.

**LT= Logistical times** = tiempos logísticos o administrativos.

**ST= Supliese times** = tiempo de suministro de repuestos e insumos



**Figura 3:** Dependencia de la disponibilidad  
**Fuente:** (Garcia Mallqui, 2016)

### Ishikawa

Conocido como diagrama de pescado, también como causa-efecto. Es una herramienta que consiste en encontrar la ocurrencia de un problema; de esta manera el problema principal, también se denomina efecto, se escribe en la cabeza del pescado y las causas se escriben en la

columna vertebral del mismo. Por consiguiente, las principales causas se dividen en 6 categorías principales, éstas son: mano de obra, maquina, métodos, materiales, medio ambiente, Administrativos, la cual estas se subdividen en sub causas. Esto nos ayuda a encontrar todas las causas posibles de dicho problema (Niebel & Freivalds, 2014, pág. 19).



**Figura 4:** Diagrama Ishikawa  
Fuente: Behar, D

## Pareto

Es una técnica la cual fue desarrollada por el economista Vilfredo Pareto para explicar la concentración de la riqueza, Los ítems de interés son medidos con una misma escala y luego son ordenados de manera descendente, la finalidad de esta técnica es dar a conocer que el 20% de artículos estudiados representan el 80% de la actividad total, es allí donde se conoce como la regla del 80-20. Por ejemplo:

- El 80% del problema, son generados por el 20% de las causas
- El 80% del inventario total, se encuentra en el 20% de los productos
- El 80% de los ingresos, se generan con el 20% de los clientes.



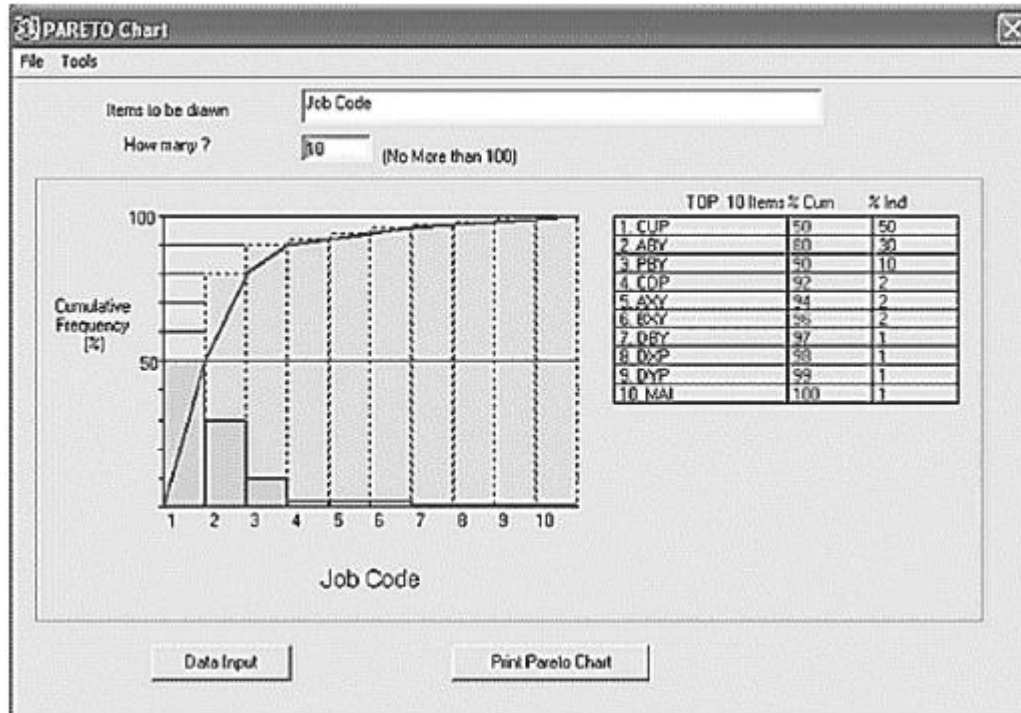


Figura 5: Ejemplo del diagrama Pareto  
Fuente: Bejar, D

### 1.3 Formulación del problema

#### 1.3.1 Problema principal

Según el autor (Hernandez, Fernandez, & Baptista, 2014), para plantear el problema de investigación, el investigador debe haber profundizado en el tema elegido. Asimismo, dicho problema debe ser redactado de manera clara, precisa y accesible, para ello considera tres criterios fundamentales:

- Debe expresar relación entre las dos variables de estudio (personas, fenómenos), etc.
- Debe estar formulada como pregunta y sin ambigüedades.
- Debe implicar la posibilidad de poder realizar una prueba empírica, es decir, que sea observable y medible.

De esta manera, el problema principal de esta investigación es el siguiente:

¿Cómo influye de manera negativa la disponibilidad de las máquinas por falta de un plan de mantenimiento preventivo en una empresa metalmecánica del sector industrial?

### **Problemas Específicos**

1. ¿Cómo influye de manera deficiente la disponibilidad de las máquinas, cuando son cortos los tiempos medio entre fallas (TMEF) de las máquinas en la empresa metalmecánica del sector industrial?
2. ¿Cómo influye de manera deficiente la disponibilidad de las máquinas, cuando son altos los tiempos promedios de reparación (TMPR) en las máquinas de la empresa metalmecánica del sector industrial?

#### **1.3.2 Justificación**

La presente investigación es para contribuir una mejora en la empresa metalmecánica que se dedica a la fabricación de piezas y ensamble de máquinas para el sector industrial. Esto se debe a las constantes paradas de los equipos de manera innecesaria e imprevista; por tal motivo es de suma importancia realizar una propuesta de un plan de mantenimiento preventivo, con la finalidad de mejorar la disponibilidad de las máquinas; asimismo, poder reducir las fallas de estas que suelen ocurrir de manera muy frecuente en momentos menos esperado.

Para el desarrollo de la presente propuesta consta de una serie de pasos, entre ellos poder identificar a detalle cada uno de estos equipos, además recopilar la información necesaria (informes de falla, toma de datos, manuales, evaluar resultados de las entrevistas realizadas), etc. De esta manera se podrá realizar dicha propuesta del plan aplicando las herramientas y técnicas necesarias de mantenimiento.

#### **1.3.3 Limitaciones**

- El acceso a la información es limitado, porque no se cuenta con una base de datos mayor a diez meses. Por tal motivo, se va a trabajar con una data dentro de este periodo (diez

meses). Asimismo, no se va a mencionar el nombre de la empresa donde se va a proponer el plan de mantenimiento preventivo.

## **1.4 Objetivos**

### **1.4.1 Objetivo general**

Determinar cómo mejorar la disponibilidad de las máquinas con la propuesta de un plan de mantenimiento preventivo en la empresa metalmecánica del sector industrial.

### **1.4.2 Objetivos específicos**

- Diagnosticar en cuanto se encuentra la disponibilidad inicial de las máquinas, para realizar la propuesta del plan de mantenimiento preventivo.
- Diagnosticar como y en cuanto se puede mejorar la disponibilidad, incrementando el tiempo medio entre falla (TMEF) de las maquinas en la empresa metalmecánica del sector industrial.
- Diagnosticar como y en cuanto se puede mejorar la disponibilidad, reduciendo los tiempos promedios de reparación (TMPR) de las máquinas en la empresa metalmecánica del sector industrial.

## **1.5 Hipótesis**

Una hipótesis indica lo que el investigador quiere probar, se debe formular como proposición. De cierta forma son respuestas provisionales a las preguntas de investigación, para luego proceder a investigar y descubrir si se acepta o se rechaza la misma. De esta manera, NO en todos los alcances de estudio se plantean hipótesis. Asimismo, las hipótesis no necesariamente son verdaderas. Al formularlas, el investigador no está totalmente seguro de que vaya a comprobarse (Hernandez, Fernandez, & Baptista, 2014).

### 1.5.1 Hipótesis general.

Se puede mejorar la disponibilidad de las maquinas con la propuesta de un plan de mantenimiento preventivo en la empresa metalmecánica del sector industrial.

### 1.5.2 Hipótesis específicas.

- La mejora de la disponibilidad de las máquinas se consigue incrementando el tiempo medio entre falla (TMEF) en la empresa metalmecánica
- La mejora de disponibilidad de las máquinas se consigue reduciendo los tiempos promedios de reparación (TMPR) en la empresa metalmecánica.

Tabla 2 *Matriz de coherencia.*

PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPOTESI GENERAL
¿Cómo influye de manera negativa la disponibilidad de las maquinas por falta de un plan de mantenimiento preventivo en la empresa metalmecánica del sector industrial?	Determinar cómo mejorar la disponibilidad de las máquinas con la propuesta de un plan de mantenimiento preventivo en la empresa metalmecánica del sector industrial.	Se puede mejorar la disponibilidad de las máquinas con la propuesta de un plan de mantenimiento preventivo en la empresa metalmecánica del sector industrial. .
Problemas específicos	Objetivos específicos	Hipótesis específicas
1. ¿Cómo influye de manera deficiente la disponibilidad cuando son cortos los tiempos medio entre fallas (TMEF) de las máquinas en la empresa metalmecánica del sector industrial?	Diagnosticar como y en cuanto se puede mejorar la disponibilidad, incrementando el tiempo medio entre falla (TMEF) de las maquinas en la empresa metalmecánica del sector industrial.	La mejora de la disponibilidad de las maquinas se consigue incrementando el tiempo medio entre falla (TMEF) en la empresa metalmecánica del sector industrial.
2. ¿Cómo influye de manera deficiente la disponibilidad, cuando son altos los tiempos promedios de reparación (TMPR) en las máquinas de la empresa metalmecánica del sector industrial?	Diagnosticar como y en cuanto se puede mejorar la disponibilidad, reduciendo los tiempos promedios de reparación (TMPR) de las máquinas en la empresa metalmecánica del sector industrial.	La mejora de disponibilidad de las máquinas se consigue reduciendo los tiempos promedios de reparación (TMPR) en la empresa metalmecánica del sector industrial.

**Nota:** en la presente tabla, se puede ver la coherencia que existe entre los problemas dados, objetivos planteados a desarrollar e hipótesis.

Tabla 3 *Matriz de Operacionalización*

VARIABLES		DEFINICION CONCEPTUAL	DEFINICION OPERACIONAL	DIMENSION	INDICADOR	ESCALA
Independiente	Mantenimiento preventivo	El autor Garrido define al mantenimiento preventivo como "conjunto de actividades programadas a equipos en funcionamiento que permiten en la forma más económica, continuar su operación eficiente y segura, con tendencia a prevenir las fallas y paros imprevistos".	conjunto de pasos de manera secuencial y efectiva.	Plan de mantenimiento	Resultados de las entrevistas	
			Se define como la sumatoria de todos los tiempos entre fallas (TEF), entre el número total de fallas.	Tiempo medio entre falla (TMEF o MTBF)	$TMEF = \frac{\text{Tiempo Total de Funcion}}{\text{Número de fallas}}$	
			Se define como la sumatoria de todos los tiempos para reparar (TPR) cada falla, entre el número de fallas	Tiempo promedio para reparar (TMPRO MTTR)	$TMPR = \frac{\text{Tiempo Total Inactivo}}{\text{Número de fallas}}$	
Dependiente	Disponibilidad de la maquina	La disponibilidad es la probabilidad de que el equipo funcione de manera satisfactoria, en el momento que se requiera después de haber sido intervenido.	Es uno de los indicadores más exigentes, debido a que se verá reflejado en la producción que exista la posibilidad de presentar una avería	Disponibilidad	$D(t) = \frac{TMEF}{TMEF + TMPR} \times 100$	

## CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

### 2.1. Tipo de investigación

Según el autor (Hernandez, Fernandez, & Baptista, 2014), en su libro “metodología de la investigación” definen cuatro alcances de investigación: **exploratorio, descriptivo, correlacional, explicativo.**

El alcance de investigación **descriptivo** consiste en describir situaciones, fenómenos y sucesos, básicamente entrar en detalle cómo se manifiesta, de esta manera se busca especificar propiedades y características importantes de cualquier fenómeno que se analice. Pretende recoger o medir información de manera independiente o conjunta acerca de los conceptos de las variables. Por consiguiente, en el alcance de la investigación **correlacional** se asocian las variables para responder a las preguntas de investigación, la finalidad de esta es conocer la relación o asociación que existe entre dos o más conceptos o variables, de esta manera se procederá a medir cada una de estas para luego ser cuantificadas.

Seguidamente para el autor (Tamayo, 2003, pág. 46) “la investigación descriptiva trabaja sobre realidades de hechos, y su característica fundamental es presentar una interpretación correcta”. En este tipo de estudios el investigador se debe definir con exactitud qué es lo que se va a medir, y de qué forma se realizará la recolección de datos, dichos datos se podrán recolectar de objetos, comunidades, personas, etc.

Asimismo, el autor (Behar, 2008), menciona que “el objetivo de este alcance de investigación es describir la estructura de los fenómenos y su dinámica, identifica aspectos relevantes de la realidad”. Para ello se puede usar técnicas cuantitativas (test, encuestas).

Por lo tanto, el alcance de investigación a desarrollar es **descriptiva**, del tipo **aplicada**.

La investigación que se va a realizar corresponde a seis máquinas que sirven para la fabricación de piezas, para luego realizar el ensamble de equipos o parte de ella con el apoyo de personal mecánico. Entre estas máquinas a realizar el estudio tenemos las siguientes:

- **Cortadora por agua.** – esta máquina se encarga de cortar las piezas de metales y caucho, desde los 2 hasta 50 mm de espesor a una presión constante de 35 PSI.
- **Cortadora laser.** – se encarga de cortar piezas metálicas de FE desde 1 hasta 15 mm de espesor y de acero inoxidable desde 1 hasta 6mm.
- **Torno cnc.** – realiza el mecanizado de las piezas (reducción, perforaciones, acabados).
- **Compresor de aire.** – suministra aire comprimido para las máquinas de planta.
- **Fresadora cnc.** – fabricación de piezas, perforaciones, cuenta con 3 ejes X, Y, Z, por lo tanto, esto le permite hacer más funciones que el torno cnc.
- **Maquina cnc.** – esta máquina tiene más funciones que las anteriores mencionadas, también es para fabricar piezas la cual requieren de mayor precisión.

### **Enfoque cuantitativo**

Según (Hernandez, Fernandez, & Baptista, 2014, pág. 4) este enfoque representa un conjunto de procesos, es secuencial y probatorio, debido que cada etapa precede a la siguiente, por ende, no se puede descartar pasos, Se realiza la recolección de datos con la finalidad de poder probar hipótesis a través de métodos estadísticos para corroborar las teorías. Para ello “se plantean objetivos y pregunta de investigación, se revisa la literatura y se construye un marco teórico. De las preguntas se establecen hipótesis y determinan variables; se traza un plan para probarlas; se miden variables en un determinado contexto; se analizan las mediciones obtenidas utilizando métodos estadísticos, y se extrae una serie de conclusiones”.

## **Diseño no experimental**

La presente investigación cuenta con un diseño no experimental. Para (Behar, 2008, pág. 17) un diseño no experimental es donde “el investigador observa los fenómenos tal y como suceden de manera natural, sin intervenir en su desarrollo.

Para (Hernandez, Fernandez, & Baptista, 2014), este tipo de diseño se realiza sin manipular las variables, para que de esta manera se pueda notar el efecto sobre la variable dependiente.

## **Transversal o transeccional**

Para el autor (Hernandez, Fernandez, & Baptista, 2014), los diseños **no experimentales** se clasifican en : (diseños transversal y longitudinales), por la forma a desarrollar será **transversal**, ya que, en este diseño se recolectan y analizan datos en un momento determinado; por lo tanto, evalúa situaciones de fenómenos, eventos o contextos en un punto del tiempo con el propósito de describir variables y analizar su incidencia e intercambio en un momento dado.

## **2.2. Población y muestra (Materiales, instrumentos y métodos)**

### **2.2.1 Población.**

(Hernandez, Fernandez, & Baptista, 2014), la población también conocida como universo; definen a la población “como un conjunto de todos los casos que concuerdan con una serie de especificaciones”. tener una población más grande, no significa que se va a realizar un mejor estudio; la calidad se ve reflejada en saber delimitar con base.

El autor (Namakforoosh, 2005) menciona que, si la población a estudiar es pequeña, entonces se debería estudiar todos sus miembros; por lo contrario, si la población es grande, entonces se debe elegir una parte de esta. Por consiguiente, se determina que, para el presente estudio la población a estudiar esta dada por 06 máquinas de la empresa metalmecánica. De esta manera se determina que la población es finita.



Se ha seleccionado las seis máquinas, debido que éstas son indispensables para la fabricación de piezas. Por lo tanto, siempre tienen que estar disponibles.

$N = 06$  máquinas

### 2.2.2 Muestra

La muestra es un pequeño grupo de la población, también se puede decir que es un subconjunto de elementos que pertenece a la población; por tal motivo la muestra debe ser representativa, asimismo se debe justificar el tamaño de la muestra, el método y el proceso de selección (Behar, 2008), pag.51.

La muestra es un subgrupo de elementos que pertenece a la población; debemos seleccionar una muestra cuando no es posible medir a toda la población. Asimismo, debe ser representativa, la cual se pretende que sea un fiel reflejo del universo.

La muestra se categoriza en dos ramas, las cuales son: probabilísticas y no probabilísticas. En la muestra **probabilística** todos los elementos de la población tienen la misma probabilidad de ser elegidos para dicha muestra. Por lo contrario, una muestra **no probabilística** o también conocida como dirigida, de igual forma es un pequeño grupo de la población en este caso para poder seleccionarlas o elegirla no depende de la probabilidad, básicamente se toman en cuenta las características de la población (Hernandez, Fernandez, & Baptista, 2014).

Se sabe que la población es finita por lo tanto se llega a la conclusión que la muestra será igual a toda la población.

Donde

$N =$  Total de la población = 06 maquinas

$n =$  Total de la muestra. = 06 maquinas

Por consiguiente, se realizará una muestra del tipo **no probabilístico** o dirigida por conveniencia.

## **2.3. Método**

### **2.3.1 Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos**

**Técnicas.** – es un conjunto de reglas que guían las actividades que suelen realizar los investigadores en cada etapa del desarrollo de la investigación. Hay que recalcar que, dichas técnicas tratan propiamente del trabajo dicho, a la investigación en toda su amplitud. Asimismo, se consideran como herramientas para resolver un problema de manera concreta y metodológica (Carrasco, 2007, pág. 274).

En la presente investigación las técnicas a utilizar son: entrevista y observación.

**Entrevista.** – Las entrevistas también son realizadas a través de cuestionarios, lo cual presentan dos contextos y estos son: auto administrativo y entrevista; esta última puede ser de manera personal, telefónica y vía internet (correos, páginas de navegación). A través de esta técnica vamos a recolectar datos, la cual será preparada en una matriz de datos, de esta manera nos permite saber la situación real acerca del mantenimiento en la empresa. Asimismo, saber las causas raíces de este.

Es uno de los instrumentos más utilizados para recolección de datos, este consiste en un formulario de preguntas con respecto a una o mas variables a medir.

Basicamente existen 2 tipos de encuesta, el de preguntas abiertas y preguntas cerradas; las preguntas cerradas deben ir precodificadas. (Hernandez, Fernandez, & Baptista, 2014)

### **Objetivo**

Llegar a obtener la información necesaria a través del personal (supervisor y operarios), del cómo se encuentran las maquinas actualmente, saber por qué estos equipos fallan de manera frecuente.

La entrevista será personal y se realizará a las siguientes personas: estas personas se encuentran en el organigrama.

- Supervisor encargado de planta, se encarga de designar y hacer seguimiento de las tareas al personal (operadores de máquinas, soldadores, mecánicos)
- Personal operario, son los que operan las máquinas y realizan las fabricaciones de piezas de acuerdo a los planos entregados por parte del supervisor.

Para ello se tendrá en cuenta lo siguiente:

- Tiempo de la entrevista = 30 min

**Instrumento:**

Cuestionario de preguntas. Se ha utilizado el siguiente cuestionario con la finalidad de saber a detalle cuales son las causas que ocasionan las paradas de máquina de manera innecesaria. Asimismo, esta encuesta ha sido realizada en el mes de agosto del año 2020. Dicho cuestionario cuenta con 25 preguntas que tratan de extraer la máxima información posible, de esta manera poder plantear propuestas de mejora. Asimismo, estas preguntas se han tomado según el análisis de ISHIKAWA que se ha realizado.

Por consiguiente, mencionar que la puntuación de este cuestionario va desde la palabra: poco, regular, aceptablemente, totalmente; y la puntuación de estas va desde 2 hasta 5 puntos. Por ejemplo, se considera 2 puntos a la palabra “poco” (poco relevante o que si está cumpliendo), hasta 5 puntos (lo más crítico o deficiente).

Tabla 4: *Formato de encuesta*

<b><u>Formato de encuesta</u></b>		<b>Totalmente</b>	<b>Acceptablemente</b>	<b>Regular</b>	<b>Poco</b>
Nombre y Apellido: ..... Cargo: ..... Fecha:     /     / Encuesta sobre las causas que ocasionan la baja disponibilidad de los equipos					
Q1	Falta realizar inspecciones rutinarias				
Q2	Falta formatos de inspección				
Q3	Las labores de reparación son mal ejecutadas				
Q4	Falta motivación al personal por parte de la empresa				
Q5	Falta un técnico perenne en planta				
Q6	Falta capacitación al personal				
Q7	Existe rotación de personal				
Q8	Falta compromiso de los colaboradores				
Q9	Falta algún tipo de mantenimiento				
Q10	El proceso de funcionamiento no es estable				
Q11	Falta realizar mantenimiento a los equipos				
Q12	Falta estrategias para evitar paradas de máquinas				
Q13	Los equipos NO están protegidos contra el polvo				
Q14	Falta realizar las condiciones seguras de los equipos				
Q15	Los equipos NO están protegidos contra la humedad				
Q16	Presencia de partículas generados por otros equipos				
Q17	Las órdenes de compra demoran en ser aprobadas				
Q18	Falta stock de repuestos				
Q19	Falta de coordinación para la compra de repuestos				
Q20	Los repuestos NO llegan a tiempo				
Q21	Falta eficiencia en el mantenimiento				
Q22	Las máquinas son críticas para el proceso				
Q23	Las máquinas son antiguas				
Q24	Falta plan de mantenimiento				
Q25	Falta manuales de operación				

Según los resultados obtenidos se muestra la disconformidad del supervisor de planta, indica que las maquinas no cuenta con formato de inspecciones rutinarias, limpieza general de los equipos; de esta manera se indica que las máquinas para la fabricación de piezas requieren un plan de mantenimiento.

Por otro lado, los operarios mencionan los mismos problemas, adicional a ello indican que los técnicos de planta, no conocen a detalle los equipos y en algunas ocasiones hay demoras en reparación porque el personal no conoce bien funcionamiento el equipo. Este problema es básicamente porque no hay interés de la empresa en capacitar al personal en el mantenimiento de estos equipos, tal es así que hasta para los trabajos correctivos tienen que requerir el personal del mismo fabricante.

**Observación directa.** – después de la entrevista, esta es la segunda técnica a utilizar y hacer la recolección de datos. Dicha técnica se basa en hacer un registro sistemático; de tal manera que, sea confiable y valido (Hernandez, Fernandez, & Baptista, 2014).

Para el autor Carrasco, considera esta técnica para recopilar información y hacer un registro de datos empíricos de un objeto, además considera que es objetiva, ya que, los datos recopilados son reales y confiables, por lo cual se puede realizar de varias formas, así como de manera individual y en equipo, de manera directa e indirecta. (Carrasco, 2007)

Asimismo, el autor que desarrolla la presente tesis, confirma que para esta investigación realizó la verificación de las máquinas de manera directa y estuvo involucrado en el uso de estas dos técnicas (cuestionario y observación) aplicadas para obtener los resultados.

**Objetivo:**

Identificar las posibles causas que estas generan en las paradas de las máquinas.

Se observará el funcionamiento y el estado de las maquinas

- Toma de datos de cada máquina
- Verificar el estado de estas.
- Hacer uso de un check list.

Materiales a utilizar

- Block de notas

- Lápiz, lapicero
- Laptop
- Observar el proceso de limpieza por parte del operario
- Identificar las condiciones de instalación de estas, en temas de seguridad y medio ambiente
- Determinar las causas por las cuales se presentan las fallas.
- Verificar el nivel de conocimiento de los técnicos de mantenimiento.

Tabla 5: *check list para las máquinas*

		<b>Check list</b>																		
		Ver. 1																		
		Pág. 1 de 2																		
PLANTA: _____ RESPONSABLE: _____		FECHA _____ SUPERVISOR: _____																		
		Cortadora laser			Cortadora por agua			Compre sor de aire			Torno CNC			Fresadora CNC			CNC			
ÍTEM	DESCRIPCIÓN	CUMPLE			CUMPLE			CUMPL E			CUMPLE			CUMPLE			CUMPLE			
		SI	NO	NA	SI	NO	NA	SI	NO	NA	SI	NO	NA	SI	NO	NA	SI	NO	NA	
1	Estado del tablero eléctrico																			
2	Conexión a tierra																			
3	Estado de componentes dentro del tablero																			
4	La empresa cuenta con técnicos profesionales.																			
5	Los equipos de medición son los adecuados.																			
6	¿Las herramientas de operación son adecuadas?																			
7	¿La máquina cuenta con guardas de seguridad?																			
8	El técnico de mto conoce el funcionamiento de cada una de ellas.																			
9	Los equipos están limpios y en buen estado.																			

10	¿Cuenta con identificación y señalización?																		
11	¿Existe algún plan de formación?																		
12	¿Se han propuesto mejoras de mantenimiento?																		
13	¿Existe alguna lista de materiales en stock?																		
14	¿Es rápido la llegada de algún repuesto?																		
15	¿Las máquinas de limpian de manera frecuente?																		
16	El área se encuentra señalizada.																		
17	¿Cada máquina cuenta con herramientas mecánicas?																		

### 2.3.2 Operación de las variables

**Libro y revista de mantenimiento.** - la técnica de encuesta, el instrumento que se ha utilizado es un cuestionario de preguntas, la cual ha sido elaborada para poder realizar la entrevista al personal involucrado directamente en el área. Las preguntas de este cuestionario han sido extraídas de libros de mantenimiento, donde especifica qué tipo de preguntas se debe de realizar.

**Manuales de cada máquina.** - por otra parte, se ha revisado los manuales de tres máquinas, con la finalidad de obtener la información necesaria y sus componentes, básicamente verificar las instrucciones que recomiendan los fabricantes.

**Historial del equipo.** – con respecto a la recolección de datos sobre historial del equipo, esto se ha realizado revisando las hojas de registro, llegando a sumar todas las horas de parada de cada máquina. De acuerdo al tiempo de reparación o en qué día fallo y cuánto tiempo estuvo parada la máquina.

Tabla 6: *Operación de las variables*

<b>VARIABLE</b>	<b>TECNICA</b>	<b>INSTRUMENTO</b>	<b>FUENTES DE RECOLECCIÓN</b>
MANTENIMIENTO PREVENTIVO	Encuesta	Cuestionario de Preguntas del estado actual de mantenimiento	Libro y Revista de mantenimiento
	Revisión documental	Toma de datos de la maquina	manuales de cada maquina
DISPONIBILIDAD DE LA MAQUINA	Observación directa	hoja de apuntes, hoja de registro	historial del equipo

### **2.3.3 Formato de registro de fallas.**

Para las seis maquina elegidas de realizar el estudio, se ha optado por el siguiente formato que especifica en la siguiente tabla. Donde muestra el periodo de once meses consecutivos, pero se va a obviar los meses de marzo, abril, mayo y junio; esto debido por la coyuntura que estamos viviendo en el país por motivo de la pandemia que se vive a nivel mundial. Estos 4 meses solo se ha puesto para que se siga una secuencia, pero no se va a colocar alguna data, porque en ese periodo la planta estuvo parada.

Asimismo, este periodo de once meses abarca desde noviembre del 2019 hasta septiembre del 2020; recalcar nuevamente que no se ha elegido otros meses anteriores debido a la carencia de datos.

La columna “horas de trabajo” se pondrán de manera mensual, cuantas horas ha estado trabajando la maquina durante el mes; asimismo con las horas de reparación va a indicar cuantas horas ha estado en dicha reparación.

Por consiguiente, se a mostrar cuantas fallas a ocurrido durante el mes y que acción se ha tomado ante esa falla.



Tabla 7: *Formato registro de fallas*

**REGISTRO DE FALLAS DE LA MAQUINA**

<b>Periodo</b>	<b>Año</b>	<b>Horas de Trabajo</b>	<b>Horas de Reparación</b>	<b>N° de fallas</b>	<b>Acción</b>
Noviembre	0	0	0	0	0
Diciembre	0	0	0	0	0
Enero	0	0	0	0	0
Febrero	0	0	0	0	0
Marzo	0	0	0	0	0
Abril	0	0	0	0	0
Mayo	0	0	0	0	0
Junio	0	0	0	0	0
Julio	0	0	0	0	0
Agosto	0	0	0	0	0
Septiembre	0	0	0	0	0
<b>Total,</b>		<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>

**2.3.4 Formato para propuesta de plan.**

Para labores de mantenimiento de una máquina, se debe de cumplir ciertas tareas, básicamente para temas de prevención de fallas innecesarias; por tal motivo, se debe elegir un tipo de formato y describir las actividades que se deben de cumplir cada cierto tiempo, puede ser de manera diaria, semanal, mensual, trimestral, bimestral y anual.

En conclusión, es fundamental y necesario elegir un formato que tendrá la propuesta del plan de mantenimiento, las tareas descritas allí serán básicamente por recomendaciones de fabricante de cada máquina; además para dar un valor agregado se contara con la opinión de trabajadores con amplia experiencia. De esta manera será un complemento entre la parte teórica y la parte práctica de los colaboradores.

Existen 2 formas para la elección del formato, la primera es haciendo uso de un software de mantenimiento, este en un formato donde ya aparecen las OT (ordenes de trabajo), pero para poder adquirirlo requiere de un costo.

La segunda forma, es crearlo haciendo uso de alguna herramienta informática (Excel, Word), que son llamadas hojas de cálculo o procesadores de texto. La cual es muy recomendable realizarlo con esta opción, porque se puede editar de acuerdo a las opiniones y recomendaciones; de esta manera esta opción permite tener una mejor idea de los que se requiere cumplir y las actividades se podrían manejar por ese lado.

Por consiguiente, el presente formato es propuesto, pero no está del todo establecido, porque hay la posibilidad que se le agreguen algunos puntos o editarlo alguno de ellos, esto podría ser antes que se ejecute o durante la ejecución del plan de mantenimiento.

Tabla 8: *formato de programa de mantenimiento*

PROGRAMA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE MAQUINA																														
AREA: MANTENIMIENTO												Fecha Elaboración:						Septiembre 2020												
MAQUINA: CORTADORA LASER			FRECUENCIA	Enero			Febrero			Marzo			Abril			Mayo			Junio											
				SEMANAS del 2021																										
SISTEMA	ACTIVIDADES			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	
Mecánico	Limpieza General		Semanal																											
	Revisar los filtros		Bimestral																											
	Mantenimiento		Anual																											
	Revisar ajuste de pernos		Mensual																											
Eléctrico	Limpieza General		Semanal																											
	Revisión de tableros		Mensual																											
	Verificar ajuste en los terminales																													
	Realizar mediciones de fuga a tierra																													
	Medir consumo de los equipos																													
	Mantenimiento de equipos electrónicos		Semestral																											
Neumático	Inspección General		Semanal																											
	Revisión de elementos		Mensual																											
	Limpieza de componentes		Mensual																											

### 2.3.5 Confiabilidad, validez y objetividad

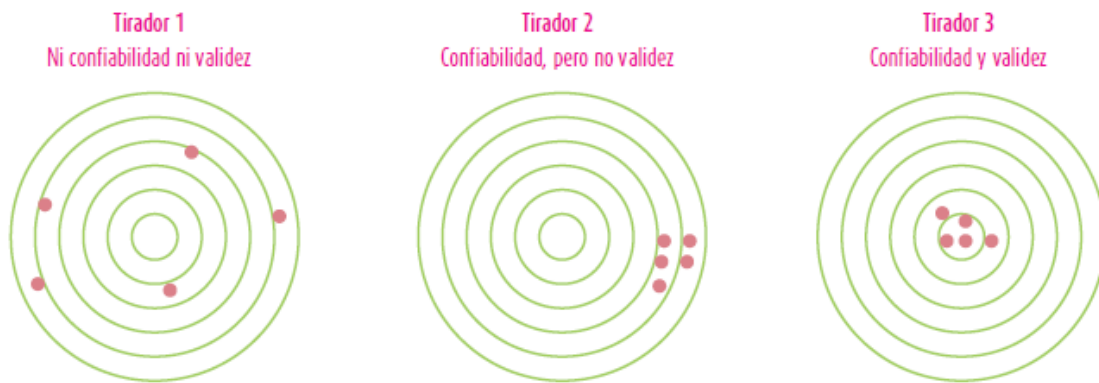
Todos los instrumentos de medición cumplen roles muy relevantes en la recolección de datos, y se aplica según la característica del problema deben de cumplir ciertos requisitos para garantizar su eficacia y efectividad, entre ellos son: confiabilidad, validez y objetividad (Carrasco, 2007).

**Confiabilidad.** – “de un instrumento de medición se refiere al grado en que su aplicación al mismo individuo u objeto produce mismos resultados de manera consiente y coherente” (Hernandez, Fernandez, & Baptista, 2014).

El autor (Carrasco, 2007), define a la confiabilidad como una cualidad de un instrumento de medición, de manera que, le permita obtener los mismos resultados cuantas veces sea medida la misma persona u objeto en diferentes periodos de tiempo.

**Validez.** - “la validez de un instrumento de investigación consiste en determinar si este mide lo que se quiere medir; si cumple la función para la cual se construyó” (Charry, 2017, pág. 111)

Indica la capacidad de escala para medir las cualidades por lo cual ha sido construida; por ende, una escala confusa no puede tener validez (Behar, 2008). Por ejemplo, si queremos realizar una prueba de conocimientos de ex presidentes del Perú, no es válido Omitir a Fujimori, Humala, Belaunde, Toledo.



**Figura 6** Relación entre confiabilidad y validez.

Fuente: (Hernandez, Fernandez, & Baptista, 2014)

**Objetividad.** – “En un instrumento de medición se refiere al grado en que el instrumento es o no permeable a la influencia de los sesgos y tendencias de los investigadores que lo administran, califican e interpretan; asimismo, esta se refuerza mediante la estandarización en la aplicación del instrumento (mismas instrucciones y condiciones para todos los participantes)” (Hernandez, Fernandez, & Baptista, 2014).

Nota: “*la validez, confiabilidad y objetividad no deben tratarse de manera separada. Sin alguna de las tres, el instrumento no es útil para llevar a cabo el estudio*”

De acuerdo con la teoría revisada en este punto, es necesario realizar la validación de dichos instrumentos a realizar, para que de esta manera se pueda aplicar y realizar la recolección de datos. Para esto se debe realizar juicio de expertos para la validación de las misma.

### 2.3.6 Aspectos éticos

Para el desarrollo de la presente tesis, se debe cumplir con todos los artículos especificados en la resolución rectoral N° 104 -2016-UPN-SAC. De esta manera la información que se pueda describir en este desarrollo debe cumplir con todos los lineamientos descritos en la misma.

Todos los investigadores de UPN tenemos como deber debe cumplir los siete primeros artículos estipulados (respeto, beneficencia, responsabilidad, justicia, integridad, normatividad,

difusión). Asimismo, existen capítulos de responsabilidades, principios y políticas de anti-plagio.

En el art 17° menciona que no se permite textos con mayores grados de similitud mayor a 0% eliminando los falsos positivos, por lo cual se debe de brindar una retroalimentación con respeto a estos puntos.

Por lo tanto, me comprometo a cuidar el bienestar de las personas involucradas en esta investigación; reservando su identidad de esta; asimismo, respetando la propiedad de los datos extraídos, así como el tratamiento de la información y difundir los resultados.

## **2.4 Procedimiento de tratamiento y análisis de datos.**

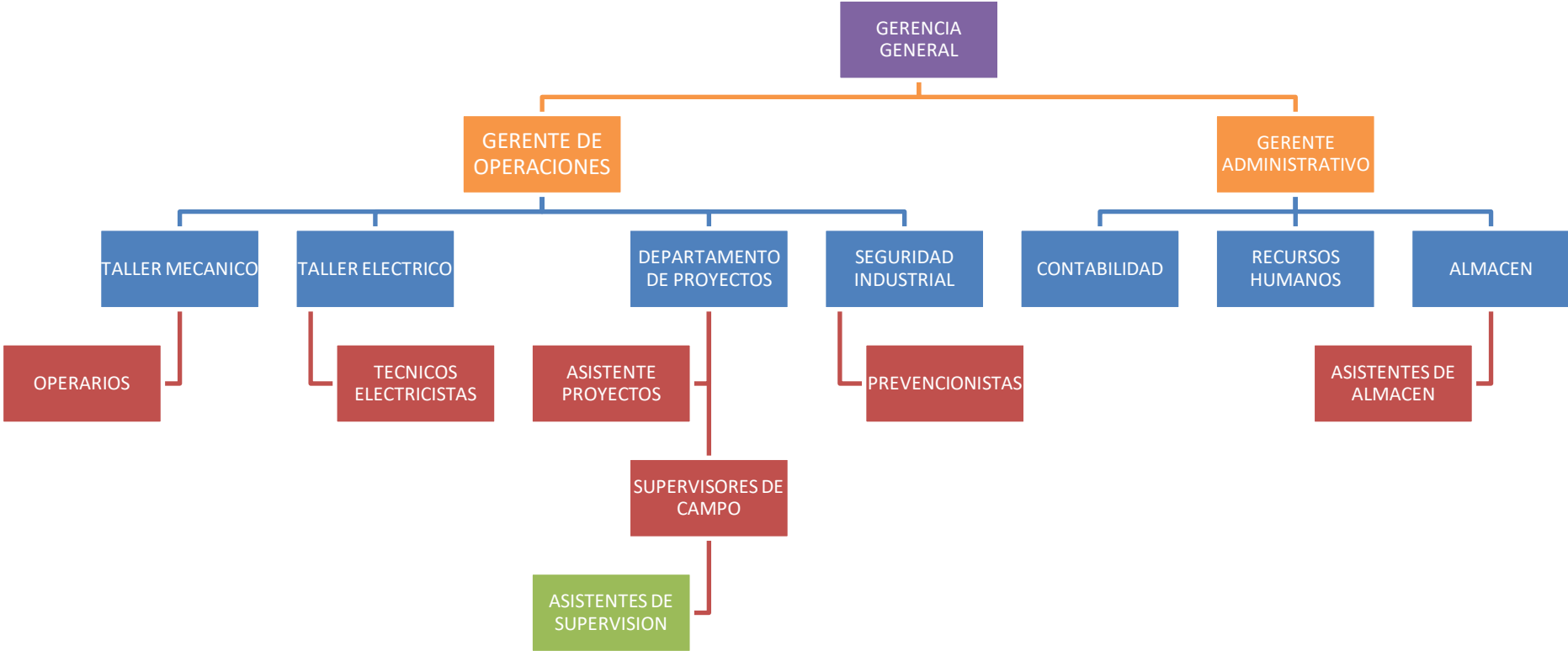
### **2.4.1 Situación actual de la empresa**

La empresa cuenta con más de 20 años de creación, la cual se encuentra en el rubro metalmecánico sector industrial, sus funciones principales son fabricación de piezas mecánicas, bandas transportadoras para la industria alimentaria (bebidas, lácteos), etc. Además, cuenta con otras funciones entre ellas brindar servicios de ejecución de proyectos (montaje de líneas para envasado, programación de equipos, venta de equipos industriales, etc.).

Como en todo proceso, las máquinas están sujetas a presentar fallas desde las más simples hasta las complejas, esto puede generar grandes pérdidas para la organización.

Actualmente, la empresa realiza mantenimiento a sus máquinas sin ningún tipo de planeamiento y control, de manera que, los trabajos se ejecutan en condiciones no adecuadas, en muchas ocasiones la fabricación de las piezas tiene que ser tercerizadas debido a la demora de la compra de repuesto de alguna máquina que haya ocurrido un fallo, en consecuencia, estos inconvenientes se ven reflejados en la imagen de la empresa por demoras en la entrega de productos (piezas) a sus clientes.

**Organigrama de la empresa metalmecánica**



### 2.4.1.1 Diagnosticar el estado de mantenimiento a través de encuesta

Para diagnosticar el estado inicial de mantenimiento en la empresa metalmeccanica, una de las técnicas que se utilizó fue la entrevista, lo cual se realizó a través de un cuestionario de preguntas, esto es de mucha importancia para evaluar la evolución en el área de mantenimiento. Estas preguntas fueron extraídas de acuerdo al análisis de Ishikawa que se pudo realizar para poder encontrar la causa raíz del problema de la baja disponibilidad de las máquinas. Los criterios considerados son: “mano de obra, materiales, medios técnicos, métodos de trabajo, máquinas, medio ambiente.

En la siguiente tabla, se muestran los resultados obtenidos de acuerdo a los criterios establecidos. Este resultado es de la entrevista realizada al supervisor de área; cada criterio cuenta con 4 preguntas cada una, excepto el criterio de “máquinas”, esta última cuenta con 5 preguntas. La puntuación por pregunta es de 0 a 3 puntos, por eso tenemos como puntaje máximo u óptimo es igual a 12.

Tabla 9: Resultados de la encuesta realizada en la empresa metalmeccánica.

CRITERIOS DE LA ENCUESTA DE GESTION DE MANTENIMIENTO	PUNTAJE OBTENIDO	PUNTAJE OPTIMO	%
Medidas técnicas	10	20	15%
Mano de obra	10	20	15%
Métodos	10	20	15%
Medio ambiente	10	20	15%
Materiales	10	20	15%
Maquina	15	25	23%
<b>TOTAL</b>	<b>65</b>	<b>125</b>	<b>100%</b>

**Nota:** cada fila cuenta con 4 preguntas, excepto la última fila que corresponde a máquinas la cual cuenta con cinco preguntas. Asimismo, la puntuación va de 2 a 5.



$$\text{Índice de conformidad} = \frac{\text{Puntos Obtenidos}}{\text{Máxima puntuación posible}} \times 100$$

*Ecuación 4: índice de conformidad*

$$\text{Índice de conformidad} = \frac{65}{125} \times 100 = 52 \%$$

*Ecuación 5 porcentaje de índice de conformidad*

Se puede notar que el índice de conformidad de la encuesta realizada es 52%. Por lo tanto, podemos afirmar que no existe un plan de mantenimiento; además, las tareas que se realizan no son bien ejecutadas, esto perjudica tanto a los equipos como al retraso a la producción.

En la siguiente tabla podemos mostrar los resultados de la encuesta realizada al personal operario de la empresa metalmecánica, como podemos ver las causas con mayor deficiencia se muestra de manera descendente; de esta manera la que mas resalta es “falta plan de mantenimiento” esto conlleva a que hayas deficiencias en puntos similares a ello.

Con la obtención de estos resultados podremos realizar un cuadro con analisis Pareto, lo cual se muestra mas adelante.

Tabla 10: *Resultados de la encuesta realizada al personal técnico de la empresa metalmecánica.*

Ítem	Causas consultadas y analizadas	Frecuencia	Frecuencia Acumulada	% Acumulado
Q1	Falta plan de mantenimiento	45	45	5%
Q2	Falta formato de inspección	45	90	11%
Q3	Falta manuales de operación	45	135	16%
Q4	Falta capacitación al personal	43	178	21%
Q5	Las máquinas son críticas para el proceso	42	220	26%
Q6	Falta algún tipo de mantenimiento	42	262	31%
Q7	Falta realizar inspecciones rutinarias	41	303	36%
Q8	Falta realizar mantenimiento a los equipos	40	343	41%

Q9	Falta estrategias para evitar paradas de máquinas	39	382	46%
Q10	Falta stock de repuestos	38	420	50%
Q11	Los repuestos NO llegan a tiempo	37	457	55%
Q12	Falta motivación al personal por parte de la empresa	36	493	59%
Q13	Existe rotación de personal	36	529	63%
Q14	Falta eficiencia en el mantenimiento	36	565	68%
Q15	Falta un técnico perenne en planta	34	599	72%
Q16	Las órdenes de compra demoran en ser aprobadas	33	632	76%
Q17	Las labores de reparación son mal ejecutadas	29	661	79%
Q18	El proceso de funcionamiento no es estable	28	689	82%
Q19	Presencia de partículas generados por otros equipos	28	717	86%
Q20	Falta de coordinación para la compra de repuestos	26	743	89%
Q21	Los equipos NO están protegidos contra el polvo	21	764	91%
Q22	Falta realizar las condiciones seguras de los equipos	19	783	94%
Q23	Falta compromiso de los colaboradores	18	801	96%
Q24	Los equipos NO están protegidos contra la humedad	17	818	98%
Q25	Las máquinas son antiguas	16	834	100%

**Nota:** la presente tabla fue elaborada para realizar un análisis con la herramienta Pareto, donde sabremos cuáles son las causas que generan los problemas en los equipos.

Antes de elaborar la encuesta, primero se conversó con el personal (supervisor y operadores), de esta manera poder obtener un alcance de la problemática, para luego proceder a realizar el cuestionario de preguntas (encuesta).

Como se puede apreciar en la tabla número 6, los problemas que presenta actualmente son: deficiencias en formatos de inspección, manuales de operación de los equipos, capacitación al personal, deficiencia en stock de repuestos y lo fundamental es que estas máquinas no cuentan con un plan de mantenimiento.

## Diagnosticar el estado a través de diagrama Ishikawa

Una vez realizado la encuesta, se ha procedido a realizar la técnica de Ishikawa, esto nos permite encontrar las causas de mayor relevancia para poder llegar al problema principal sobre la baja disponibilidad de las máquinas.



Figura 7: Diagrama de Ishikawa

**Nota:** en el análisis realizado para detectar las causas del problema principal, están descritas en la figura, cuenta con 6 causas principales y se divide en sub causas. Encontrándose así 25 sub causas posibles.

## Diagnosticar con la técnica de Pareto

Con el presente diagrama podemos saber cuales son los puntos que debemos tener mayor consideración para proponer mejoras y así reducir las causas de los problemas que se presentan. Ver la siguiente figura.

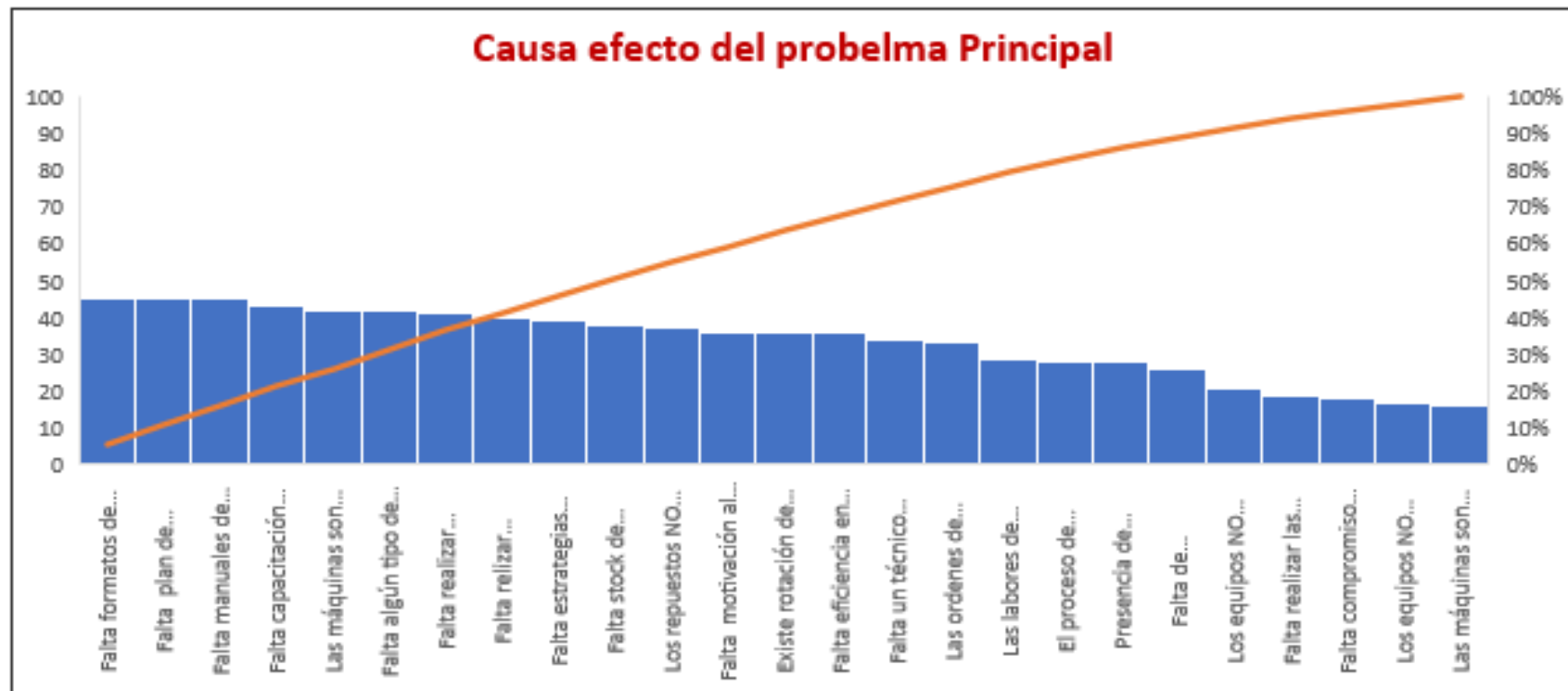


Figura 8: Análisis del diagrama Pareto.

**Nota:** se puede verificar los que tienen mayor relevancia son la falta de compromiso de los colaboradores, además no existe un plan de mantenimiento dado. Asimismo, la falta de capacitaciones y manuales de operaciones de los equipos.

### 2.4.1.2 Reporte de fallas de las máquinas - periodo once meses

Como podemos ver en la tabla 7, los datos obtenidos abarcan a partir de noviembre del 2019, esto se debe a que la empresa no maneja un historial mayor a un año. Asimismo, mencionar que hay meses que se programaron 192 horas, así como otros meses se programaron 184 horas, como por ejemplo el mes de febrero y julio. Las horas de reparación mensual oscilan entre 24 a 28 horas y el número de fallas van desde 8 a 12 veces por mes. Lo cual nos lleva a la conclusión que por cada falla hay un promedio de 2.6 horas de reparación por cada falla. Por consiguiente, se puede ver que todas las acciones tomadas son de manera correctiva.

Tabla 11: *Registro de fallas de la cortadora por agua*

#### REGISTRO DE FALLAS DE LA MAQUINA CORTADORA POR AGUA

Periodo Semestral	Año	Horas de Trabajo	Horas de Reparación	Nº de fallas	Acción
Noviembre	2019	167	25	9	Correctivo
Diciembre	2019	158	26	9	Correctivo
Enero	2020	164	28	10	Correctivo
Febrero	2020	161	23	8	Correctivo
Marzo	0	0	0	0	Correctivo
Abril	0	0	0	0	Correctivo
Mayo	0	0	0	0	Correctivo
Junio	0	0	0	0	Correctivo
Julio	2020	165	27	10	Correctivo
Agosto	2020	168	24	11	Correctivo
Septiembre	2020	164	28	12	Correctivo
<b>Total,</b>		<b>1147</b>	<b>181</b>	<b>69</b>	Correctivo

**Nota:** se puede ver en la tabla el número total de horas de funcionamiento para cada máquina en el periodo mensual; asimismo, las horas totales de reparación.

Como podemos ver en la tabla 8, los datos obtenidos abarcan a partir de noviembre del 2019, hasta septiembre del 2020. También se puede notar que los meses de marzo a junio no presenta horas programadas, esto se debió a la coyuntura del país que estamos viviendo por razones de la pandemia. Asimismo, mencionar que la empresa no maneja un historial mayor a un año. Por consiguiente, podemos ver que el rango de operación de la maquina fue de 112 a 159 horas. Las horas de reparación mensual oscilan entre 18 a 80 horas y el número de fallas van desde 6 a 8 veces por mes. Lo cual nos lleva a la conclusión que por cada falla hay un promedio de 3.7 horas de reparación por cada falla. Por consiguiente, se puede ver que todas las acciones tomadas son de manera correctiva.

Tabla 12: *Registro de fallas de la cortadora Laser*

### **REGISTRO DE FALLAS DE LA MAQUINA CORTADORA LASER**

<b>Periodo Semestral</b>	<b>Año</b>	<b>Horas de Trabajo</b>	<b>Horas de Reparación</b>	<b>Nº de fallas</b>	<b>Acción</b>
Noviembre	2019	140	18	8	Correctivo
Diciembre	2019	159	19	7	Correctivo
Enero	2020	136	16	8	Correctivo
Febrero	2020	150	18	6	Correctivo
Marzo	0	0	0	0	Correctivo
Abril	0	0	0	0	Correctivo
Mayo	0	0	0	0	Correctivo
Junio	0	0	0	0	Correctivo
Julio	2020	148	20	8	Correctivo
Agosto	2020	112	80	6	Correctivo
Septiembre	2020	134	18	8	Correctivo
<b>Total,</b>		<b>979</b>	<b>189</b>	<b>51</b>	Correctivo

Nota: en el registro de fallas de la cortadora laser, podemos notar que, en el mes de abril, las maquina ha acumulado el mayor tiempo en reparación

En la presente tabla 9, los datos obtenidos abarcan a partir de noviembre del 2019, hasta septiembre del 2020. También se puede notar que los meses de marzo a junio no presenta horas programadas, esto se debió a la coyuntura del país que estamos viviendo por razones de la pandemia. Asimismo, mencionar que la empresa no maneja un historial de fallas mayor a un año. Por consiguiente, podemos ver que el rango de operación de la maquina fue de 152 a 200 horas.

Las horas de reparación mensual oscilan entre 8 a 56 horas y el número de fallas van desde 5 a 15 veces por mes. Lo cual nos lleva a la conclusión que por cada falla hay un promedio de 2.4 horas de reparación por cada falla. Por consiguiente, se puede ver que todas las acciones tomadas son de manera correctiva.

Tabla 13 *Registro de fallas compresor Atlas Copco*

<b>REGISTRO DE FALLAS COMPRESOR ATLAS COPCO</b>					
<b>Periodo Semestral</b>	<b>Año</b>	<b>Horas de Trabajo</b>	<b>Horas de Reparación</b>	<b>Nº de fallas</b>	<b>Acción</b>
Noviembre	2019	173	35	12	Correctivo
Diciembre	2019	176	32	13	Correctivo
Enero	2020	152	56	15	Correctivo
Febrero	2020	198	10	8	Correctivo
Marzo	0	0	0	0	Correctivo
Abril	0	0	0	0	Correctivo
Mayo	0	0	0	0	Correctivo
Junio	0	0	0	0	Correctivo
Julio	2020	199	9	7	Correctivo
Agosto	2020	200	8	6	Correctivo
Septiembre	2020	199	9	5	correctivo
<b>Total,</b>		<b>1297</b>	<b>159</b>	<b>66</b>	Correctivo

**Nota:** en el registro de fallas del compresor de aire, la mayor parte de horas paradas por temas de falla es en el mes de enero.

Se puede notar en la presente tabla 10 que los meses de marzo a junio no presenta horas programadas, esto se debió a la coyuntura del país que estamos viviendo por razones de la pandemia. Asimismo, mencionar que la empresa no maneja un historial de fallas mayor a un año. Por consiguiente, podemos ver que el rango de horas mensuales en funcionamiento de la máquina fue de 169 a 182 horas.

Las horas de reparación mensual oscilan entre 23 a 35 horas y el número de fallas van desde 7 a 16 veces por mes. Lo cual nos lleva a la conclusión que por cada falla hay un promedio de 2.61 horas de reparación por cada falla. Por consiguiente, se puede ver que todas las acciones tomadas son de manera correctiva.

Tabla 14 *Registro de fallas del Torno CNC*

<b>REGISTRO DE FALLAS DE LA MAQUINA TORNO CNC</b>					
<b>Periodo Semestral</b>	<b>Año</b>	<b>Horas de Trabajo</b>	<b>Horas de Reparación</b>	<b>Nº de fallas</b>	<b>Acción</b>
Noviembre	2019	170	30	10	Correctivo
Diciembre	2019	180	28	12	Correctivo
Enero	2020	166	34	15	Correctivo
Febrero	2020	167	25	8	Correctivo
Marzo	0	0	0	0	Correctivo
Abril	0	0	0	0	Correctivo
Mayo	0	0	0	0	Correctivo
Junio	0	0	0	0	Correctivo
Julio	2020	173	35	16	Correctivo
Agosto	2020	182	26	9	Correctivo
Septiembre	2020	169	23	7	Correctivo
<b>Total,</b>		<b>1207</b>	<b>201</b>	<b>77</b>	Correctivo

**Nota:** en la tabla correspondiente al torno CNC, el menor número de fallas ha sido en el mes de mayo, todo lo contrario, fue en el mes de enero.



Se puede notar en la presente tabla 11 que el rango de horas mensuales en funcionamiento de la máquina fue de 161 a 183 horas.

Las horas de reparación mensual oscilan entre 25 a 32 horas y el número de fallas van desde 9 a 13 veces por mes. Lo cual nos lleva a la conclusión que por cada falla hay un promedio de 2.8 horas de reparación por cada falla. Por consiguiente, se puede ver que todas las acciones tomadas son de manera correctiva.

Tabla 15 *Registro de fallas de Fresadora CNC*

**REGISTRO DE FALLAS DE LA MAQUINA FRESADORA CNC**

<b>Periodo Semestral</b>	<b>Año</b>	<b>Horas de Trabajo</b>	<b>Horas de Reparación</b>	<b>Nº de fallas</b>	<b>Acción</b>
Noviembre	2019	170	30	10	Correctivo
Diciembre	2019	168	32	12	Correctivo
Enero	2020	172	28	9	Correctivo
Febrero	2020	161	31	11	Correctivo
Marzo	0	0	0	0	Correctivo
Abril	0	0	0	0	Correctivo
Mayo	0	0	0	0	Correctivo
Junio	0	0	0	0	Correctivo
Julio	2020	168	32	13	Correctivo
Agosto	2020	171	29	10	Correctivo
Septiembre	2020	183	25	9	Correctivo
<b>Total,</b>		<b>1193</b>	<b>207</b>	<b>74</b>	Correctivo

Nota: en la maquina fresadora CNC, todas las acciones que se han tomado han sido correctivas

Desde la tabla N° 7 hasta la tabla N° 12, muestran los datos obtenidos de los documentos revisados, ante ello podemos notar que existe una gran cantidad de horas paradas por motivo de falla de los equipos en la empresa metalmecánica.

Asimismo, en la siguiente figura, podemos observar los resultados de tiempo medio para reparar y tiempo medio entre fallas en el periodo de noviembre 2019 hasta septiembre del 2020.

Tabla 16: *Registro de fallas maquina CNC*

**REGISTRO DE FALLAS DE LA MAQUINA CNC**

<b>Periodo Semestral</b>	<b>Año</b>	<b>Horas de Trabajo</b>	<b>Horas de Reparación</b>	<b>N° de fallas</b>	<b>Acción</b>
Noviembre	2019	179	29	10	Correctivo
Diciembre	2019	169	31	11	Correctivo
Enero	2020	177	23	7	Correctivo
Febrero	2020	181	27	9	Correctivo
Marzo	0	0	0	0	Correctivo
Abril	0	0	0	0	Correctivo
Mayo	0	0	0	0	Correctivo
Junio	0	0	0	0	Correctivo
Julio	2020	175	25	8	Correctivo
Agosto	2020	174	26	9	Correctivo
Septiembre	2020	172	28	10	Correctivo
<b>Total,</b>		<b>1227</b>	<b>189</b>	<b>64</b>	Correctivo

**Nota:** los datos obtenidos de esta máquina, se puede notar que el total de horas de trabajo o funcionamiento en el periodo de siete meses es una de las que mejor registro ha obtenido.

En la siguiente figura 11, es un resumen del periodo de 11 meses, la cual se ha realizado el estudio de investigación.

No se está tomando en cuenta los meses (marzo, abril, mayo, junio) debido a la pandemia; por lo tanto, no aparece en dicho análisis.

De las seis maquinas estudiadas, la que presenta menor tiempo medio entre fallas (TMEF), es el **torno cnc**, esto quiere decir que la frecuencia de fallas es más frecuente. Por consiguiente, la máquina que presenta mayor tiempo medio para reparar (TMPR) es la maquina **cortadora laser**. En las figuras posteriores se llegará a visualizar de manera independiente y así poder notar por qué la cortadora laser presenta mayor tiempo medio para reparar ante una falla que se presenta.

Los meses estudiados, abarca desde noviembre del 2019, hasta septiembre del 2020

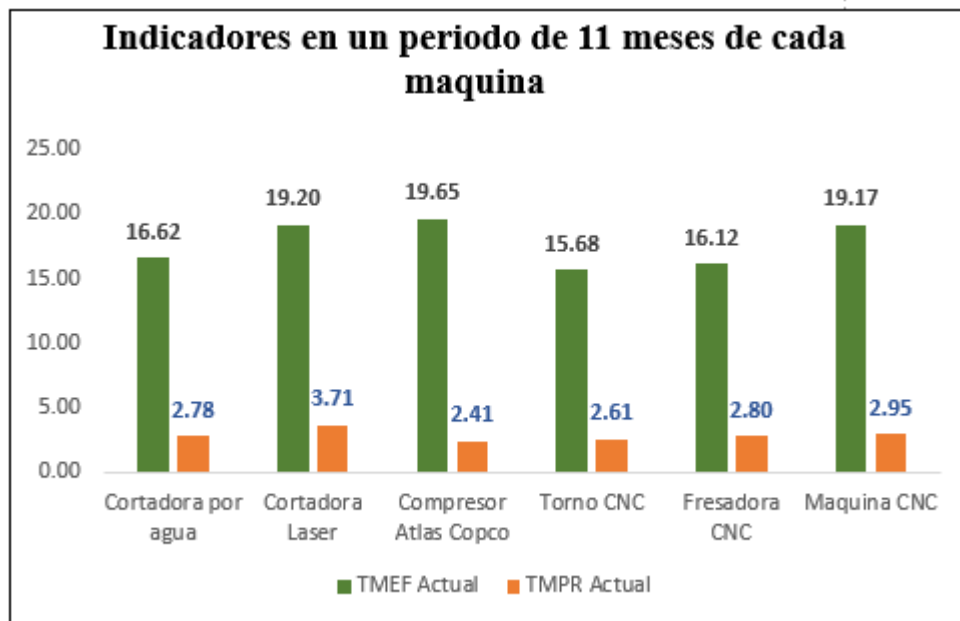
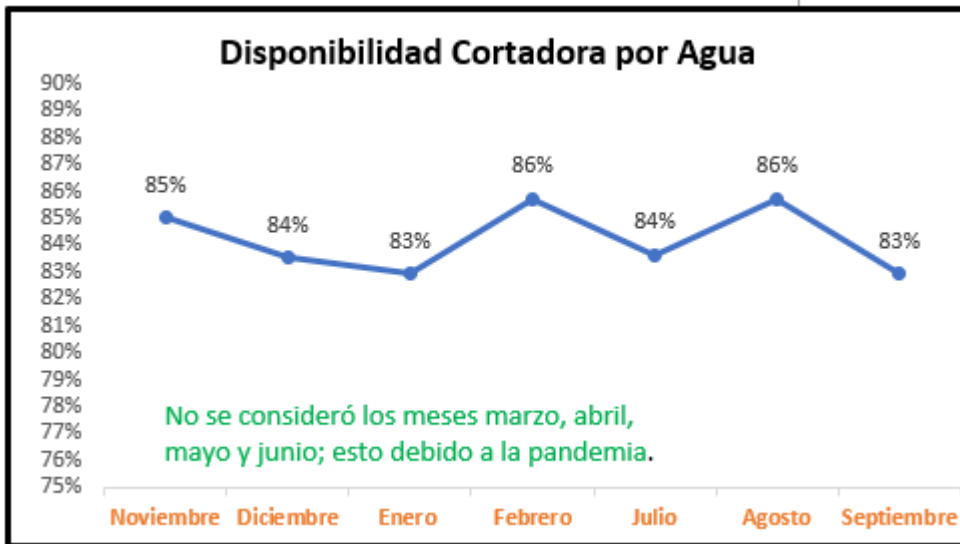


Figura 9. Estado actual del TMEF y TMPR de las seis máquinas.

### 2.4.1.3 Disponibilidad de máquinas - periodo once meses.

**Resultados Actuales.** – de acuerdo con los datos obtenidos del periodo de noviembre hasta septiembre del 2020, excluyendo los meses (marzo, abril, mayo, junio) por motivos de la pandemia. Se procede a mostrar los resultados en las siguientes figuras.

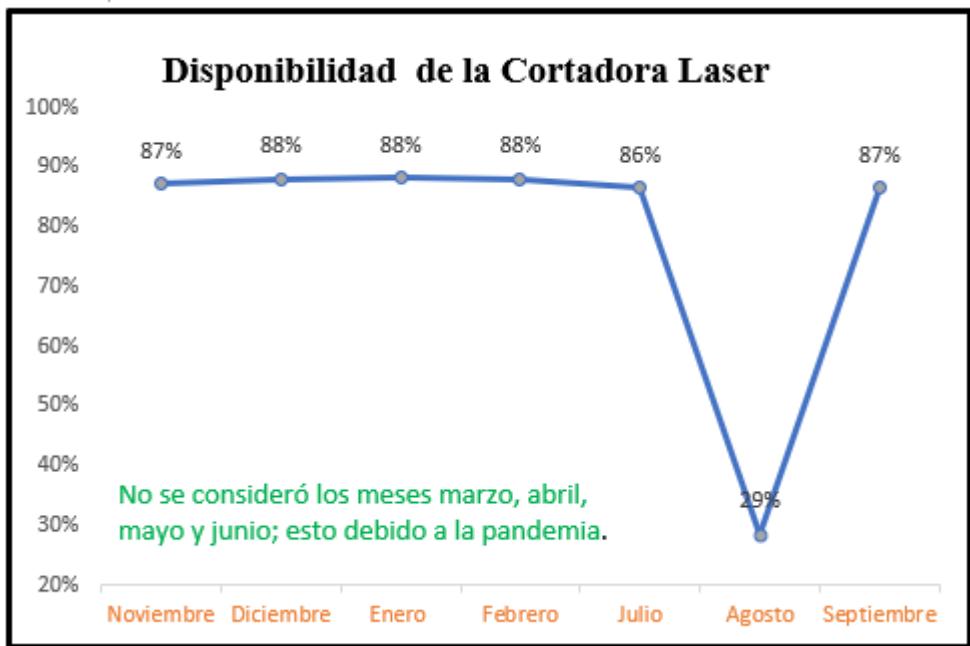


*Figura 10.* Disponibilidad de cortadora por agua.

Nota: en la figura representa que en los meses de enero y septiembre la maquina obtuvo el menor porcentaje de disponibilidad.

En la figura 12, se puede apreciar que la disponibilidad de la cortadora por agua se encuentra en el rango de 83 a 86%, lo cual esto debe de mejorar, estas fallas de debe a una mala operación del equipo y la falta de mantenimiento preventivo.

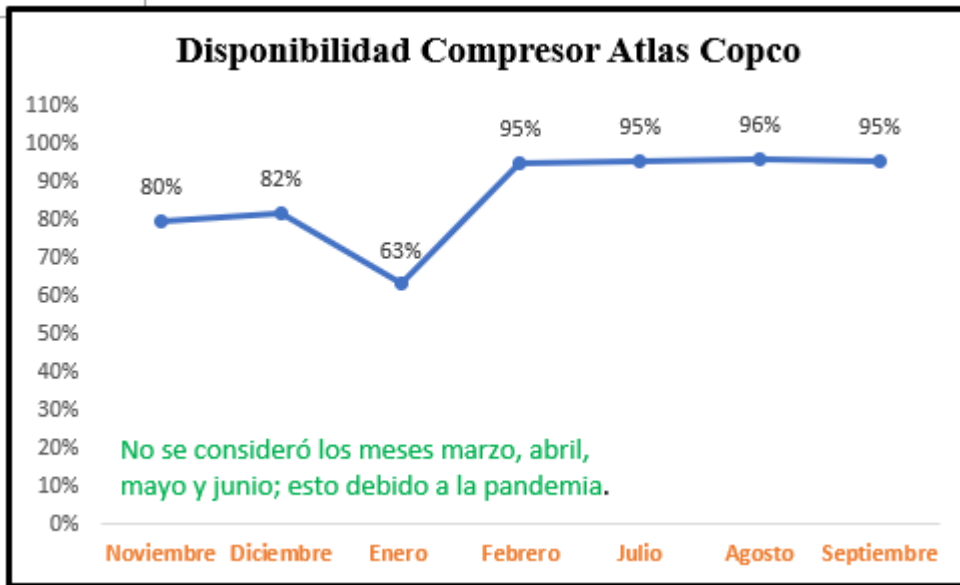
En las observaciones realizadas, este presenta gran cantidad de polvo, la limpieza no la realizan de manera frecuente.



**Figura 11.** Disponibilidad de cortadora laser

**Nota:** la maquina cortadora laser, en el mes de agosto, sufrió una falla del equipo de manera inesperada, esto fue por falta de mantenimiento preventivo. Se requirió la presencia del fabricante. Esto generó retrasos en la producción y sobrecostos.

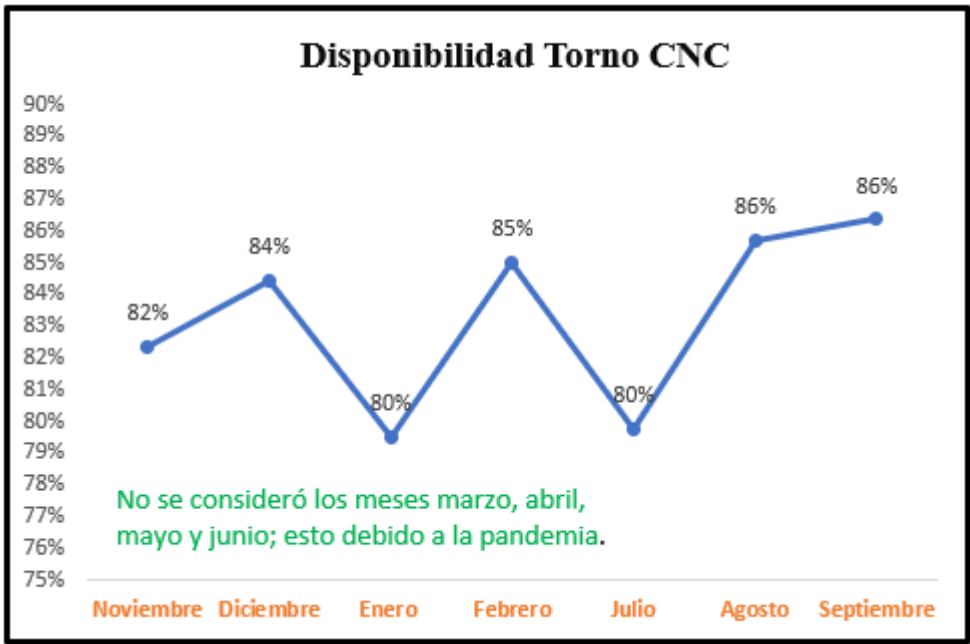
Podemos apreciar que la disponibilidad de la cortadora laser se ha estado manteniendo en 88 %, pero en el mes de agosto ocurrió una falla inesperada, la cual no se contaba con stock del equipo y esto ocasionó retrasos para el corte y fabricación de piezas.



**Figura 12.** Disponibilidad de compresor de aire

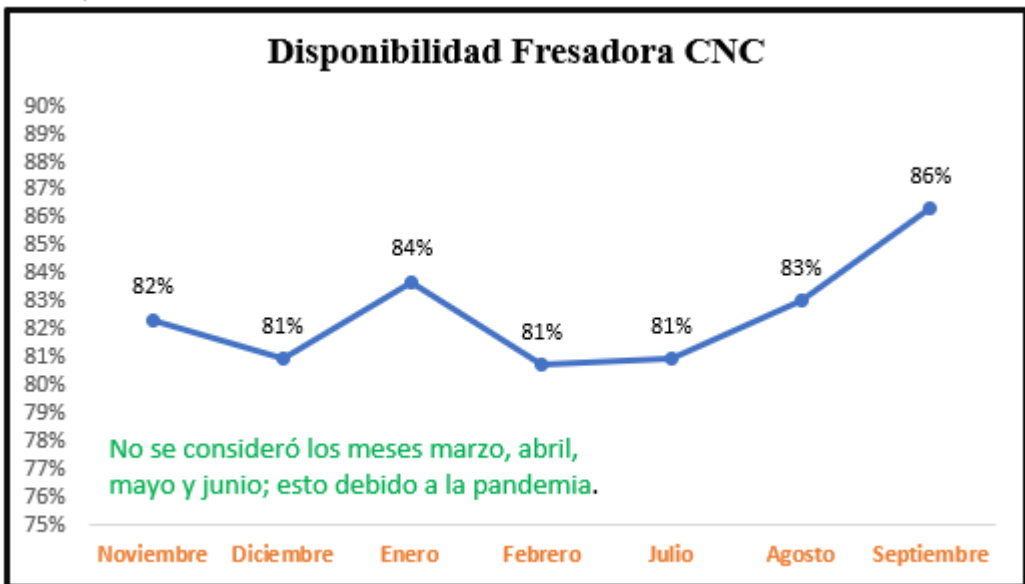
**Nota:** el compresor de aire venía presentando fallas de manera frecuente, en el mes de enero, la máquina falló, la reparación de esta equivalía un 80% de una maquina nueva, optaron por comprar una nueva.

La máquina ya venía presentando fallas de manera frecuente, la falta de mantenimiento preventivo ocasionó el esfuerzo de trabajo de todos los elementos, hasta llegar al punto de fallar frecuentemente, lo revisaron de manera general y llegaron a la conclusión que se necesitaba cambiar gran parte de las piezas. Por consiguiente, optaron cotizar una maquina nueva y cuando falló en el de enero se realizó el cambio de máquina.



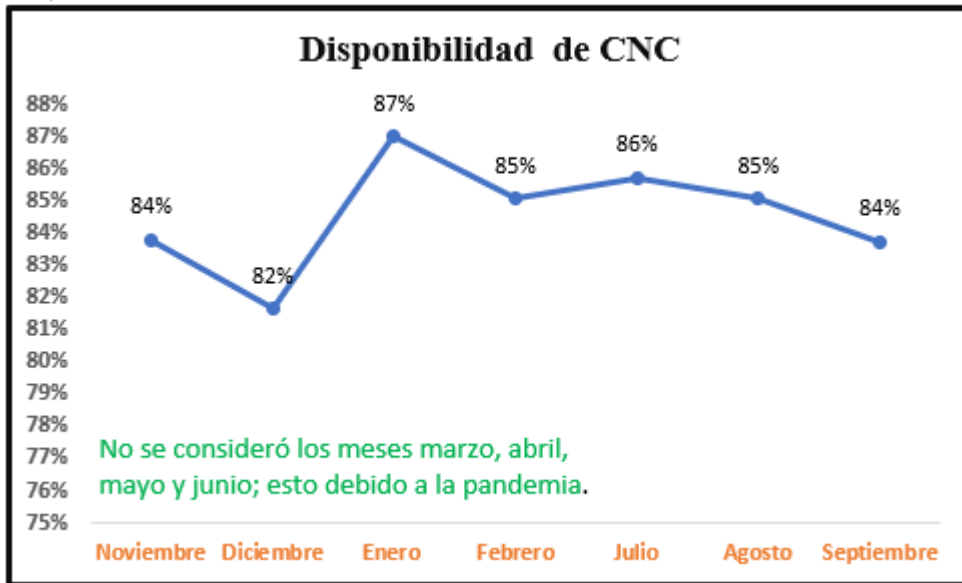
**Figura 13.** Disponibilidad de torno

**Nota:** podemos notar que en esta máquina la disponibilidad es muy volátil, la cual esto genera disconformidad por parte del supervisor de producción, no puede cumplir con la fabricación de piezas a su debido tiempo.

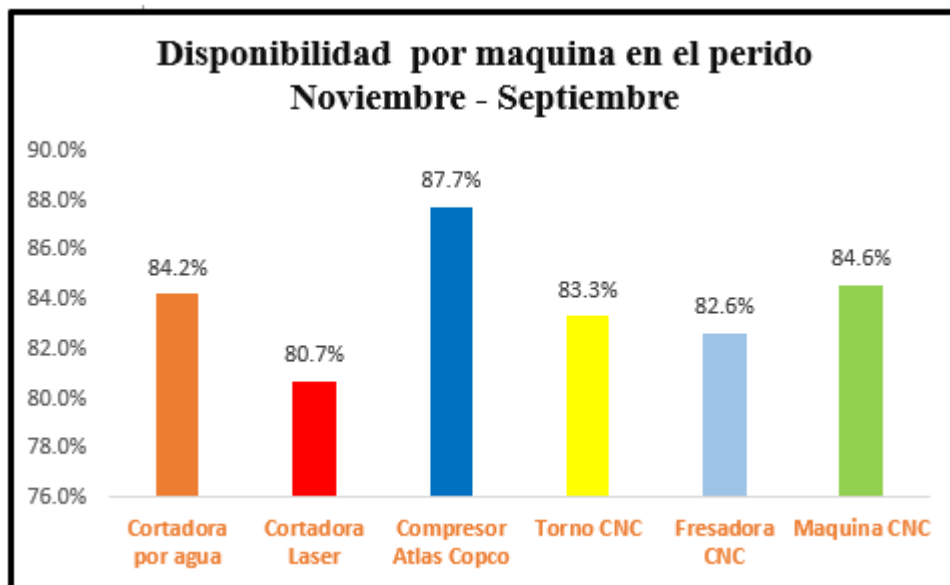


**Figura 14.** Disponibilidad de Fresadora CNC

**Nota:** podemos ver que esta es una de las máquinas que tiene un promedio mas bajo que las demás. Excepto de la cortadora laser.



**Figura 15.** Disponibilidad de la maquina CNC  
 Nota: según las fallas producidas son por deficiencia de mantenimiento preventivo.



**Figura 16.** Disponibilidad general en el periodo.

**Nota:** tal como se puede ver en la figura, la máquina que dispuso de menor disponibilidad fue la cortadora laser en el periodo de 7 meses, esto se debió a una falla por falta de mantenimiento, tuvieron que requerir la presencia del proveedor.



## 2.5 Procedimiento de desarrollo

El desarrollo de la presente propuesta de mantenimiento preventivo en la empresa metalmeccánica tiene como objetivo incrementar la disponibilidad de las máquinas para el buen desempeño de estas mismas; por ende, se debe reducir el número de fallas para incrementar el tiempo medio entre fallas (TMEF); de manera que, se pueda asegurar el correcto funcionamiento de estas mismas.

Tener en cuenta que la ejecución del presente plan a desarrollar va a depender de la organización. así como la mejora continua, ya que esto se verá reflejado en la productividad, calidad y seguridad de los productos.

### 2.5.1 Metodologías para la elaboración de un plan de mantenimiento

Toda propuesta a mejorar, indiferentemente del rubro o rama de la ingeniería, debe estar basada en una técnica o metodología. (García S. , 2009-2015) afirma “para la elaboración de un plan de mantenimiento puede hacerse de tres formas o modos”: desde la más simple hasta la más completa.

- ✓ **Basado en instrucciones del fabricante:** básicamente está orientada para las empresas que recién están empezando a querer realizar un plan de mantenimiento para los equipos que forman parte del proceso. Asimismo, para la elaboración se presentan ciertas ventajas y desventajas.
- ✓ **Basado en protocolos de mantenimiento.** Con esta técnica los equipos se pueden agrupar por tipos y las tareas que se realizan a estos es independiente de quien sea el fabricante. Aquí básicamente es cumplir con un listado de tareas a realizar en un determinado equipo.
- ✓ **Basado en análisis de fallo,** también conocida como mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM), considerado el modelo más completo y eficaz para la realización

de un plan de mantenimiento. Presentando una serie de ventajas muy significativas (incremento de la producción, fiabilidad, seguridad). Asimismo, presentan desventajas por la cual son descartados o dejado de lado por algunas industrias, entre estos inconvenientes tenemos: el tiempo para que se lleve a cabo en largo, los costos para su implementación son elevados.

Una vez revisado los tres tipos de metodología para la elaboración de un plan de mantenimiento y por las características que presentan cada una de ellas; además, por las mismas recomendaciones del autor (García, S. 2009), indica que, si una empresa no cuenta con ningún tipo de mantenimiento, lo más recomendable es empezar por el método uno, que está basado con las instrucciones de los fabricantes, esto permitirá la adaptación del personal de planta.

#### **2.5.2 Plan de mantenimiento Basado en Instrucciones del Fabricante**

Esta metodología es una de las formas más cómodas y habituales de poder realizar un plan de mantenimiento; por lo contrario, no quiere decir que sea sencilla, esto conlleva a realizar una revisión de los manuales operación como folletos y revistas de las maquinas; asimismo, cada fabricante sugiere instrucciones diferentes de mantener los equipos.

#### **2.5.3 Fases para la elaboración del plan de mantenimiento.**

Las fases para la elaboración de un plan de mantenimiento basado en instrucciones son las siguientes:



*Figura 17:* Fases para la elaboración de plan de mantenimiento

### **1. Listado de Sistemas**

Se tiene que descomponer la planta en partes, para luego analizar que equipos contiene cada uno de estos sistemas, entre los sistemas más comunes en la industria metalmecánica son los siguientes:

- Sistema eléctrico
- Sistema mecánico
- Sistema neumático
- Sistema de lubricación
- Sistema de refrigeración
- Sistema de control o mando
- Sistema contra incendios.

## **2. Listado de equipos**

Para cada uno de los sistemas enunciados anteriormente, es necesario identificar los equipos que lo componen, el cual se puede realizar de la siguiente manera:

- Listado de los equipos suministrados por la empresa de suministro
- Inspección visual de la planta, si la planta aún no está instalada, entonces no sería posible, pero si la planta ya está en funcionamiento, sería la forma más correcta.

## **3. Elección del formato**

Existen varios tipos, es elegir uno que proporcione el fabricante o crear uno nuevo (sería lo más adecuado), de tal manera que sea entendible para el personal de planta, el formato debe ser único para todas las máquinas de planta. Existen dos maneras para crear un formato

- Utilizando un software de mantenimiento
- Utilizando una herramienta informática como el Excel o procesadores de texto. Esta forma es la más recomendable, ya que este sujeto a comentarios para que se puedan realizar posibles modificaciones.

## **4. Búsqueda de manuales**

Este punto puede ser tan irrelevante o sencillo como parezca, muchas veces resulta complicarse hasta el punto de que se paralice el plan de mantenimiento, esto debido a muchos factores como, por ejemplo: la maquina aún no está entregada al cliente, la maquina ya es antigua y el manual se haya extraviado, que por su antigüedad no es fácil de obtener.

## **5. Extraer instrucciones de los manuales**

Todos los manuales de los equipos hoy en día indican las instrucciones de mantenimiento, desde las más básicas hasta las más completas, por tal motivo toda la información con respecto a mantenimiento se debe extraer de estos.

Algunos fabricantes establecen las tareas de mantenimiento en base a horas de funcionamiento; por lo contrario, existen otros que dichas tareas la establecen en base a periodos temporales fijas. En este punto se tendrían que tomar decisiones ya que las tareas de mantenimiento deben llevarse a un formato homogéneo. Es así, que lo más recomendable es que se realice en periodos temporales fijas, con la finalidad que se determine que tareas debe realizarse de manera diaria, mensual, trimestral, anual, etc.

## **6. Aporte de los técnicos**

Es importante contar con el apoyo de los técnicos de mantenimiento, así como los responsables del área; de manera que ellos también puedan aportar ideas y tareas que no se encuentran en los manuales de las máquinas, ya que ellos son los más indicados debido a la experiencia que poseen.

Tener en cuenta que las aportaciones que ellos hagan deben ser para añadir tareas, más no para eliminarlas, ya que esto traería una gran desventaja como es el tema de la garantía del equipo ofrecida por el fabricante.

## **7. Mantenimiento legal**

En este punto, básicamente se trata de cumplir con las diversas normas vigentes. Son tareas de mantenimiento que están relacionadas con la seguridad. Los equipos que están sujetos a esta norma son los siguientes:

- Torres de refrigeración
- Sistemas de baja tensión
- Sistemas de alta tensión
- Plantas de gas natural
- Calderas
- Almacén de productos químicos, etc.

- Sistemas contraincendios

## **8. Determinación de especialidad**

Por lo general en la industria hay colaboradores que son de diferentes especialidades (técnicos mecánicos, técnicos electricistas, etc.). Por tal motivo, es conveniente establecer para cada tarea a que especialidad le pertenece y se hagan responsables de las mismas; esto es con la finalidad de mejorar la calidad y precisión en la ejecución de diferentes actividades de mantenimiento que se realicen. Esto permite que dicho plan se gestione de una manera más adecuada.

### **Ventajas**

Las ventajas que ofrece esta metodología de plan son bien favorables, las cuales son:

- Tiempo de realización de dos a tres meses.
- Los costos son bajos para la implementación
- Se involucra al personal de planta (mantenimiento)
- Asegura completamente la garantía de los equipos
- No se necesita altos conocimientos técnicos para la elaboración

### **Inconvenientes**

Este es un método de los más utilizados por las empresas que empiezan a ejecutar un plan de mantenimiento, aunque presenta muchos inconvenientes que son los siguientes:

- Algunos manuales las tareas de mantenimiento para sus equipos son muy básicas e insuficientes.
- Existen otros que proponen una gran cantidad de tareas a realizar, la cual no se llega a justificar con la importancia de los equipos.
- Algunos no suelen proponer tareas de mantenimiento predictivo (análisis de vibraciones)

- Los fabricantes no están interesados en la desaparición total de los problemas que el equipo pueda tener.
- Los fabricantes no son especialistas en mantenimiento, su especialidad es diseño, fabricación y en algunos casos el montaje. (García S. , 2009-2015)

### Lista de sistemas

Se debe de realizar la lista de manera ordenada y estructurada de los sistemas considerados, donde indiquen las relaciones de dependencia. Estos deben estar agrupados de acuerdo con la ubicación de planta, áreas correspondientes, nombre del equipo y sistema al cual pertenece.

- Planta: si es que en una región cuanta con más de una.
- Área donde pertenece o se encuentra ubicada la maquina o equipo.
- Equipo: nombre de este.
- Sistema: con las que cuente, puede ser más de uno.

A continuación, se muestra la tabla con la lista de sistema que le compete a cada equipo o máquina de la empresa metalmecánica.

Tabla 17: *listado de sistemas y su respectiva máquina que pertenece.*

AREA	EQUIPO	SISTEMA
Corte	Cortadora por agua	Sistema Neumático Sistema de Ventilación Sistema de mando Sistema eléctrico Sistema de lubricación
Corte	Cortadora Laser	Sistema de Refrigeración Sistema de mando Sistema eléctrico Sistema de lubricación Sistema de control por computadora Sistema de extracción de aire Sistema de gas
	Compresor de aire	Sistema de ventilación Sistema de control

		Sistema eléctrico
		Sistema de lubricación
Mecanizado	Torno CNC	Sistema de Lubricación
		Sistema de Ventilación
		Sistema de refrigeración
		Sistema de control por computadora
		Sistema eléctrico
Mecanizado	Fresadora CNC	Sistema de transmisión
		Sistema de Lubricación
		Sistema de Ventilación
		Sistema de refrigeración
		Sistema de control por computadora
		Sistema eléctrico
Mecanizado	Maquina CNC	Sistema de transmisión
		Sistema de Lubricación
		Sistema de refrigeración
		Sistema de control por computadora
		Sistema eléctrico
		Sistema de Ventilación

### Listado de equipos y/o maquina

La codificación de los equipos es de suma importancia, ya que nos permite identificarlos con su respectivo código establecido.

Según el autor (García, 2003), existen 2 maneras de codificar, lo cual se puede considerar cualquiera de ellos.

- Sistema de codificación no significativo: Se asignan un numero o código correlativo a cada equipo, pero estos no aportan ninguna información adicional.
- Sistema de codificación significativa: el código asignado aporta información relevante.

La información necesaria que debe contener un código asignado al equipo deberá ser la siguiente:

- Área a la que pertenece
- Descripción del equipo
- Número correlativo



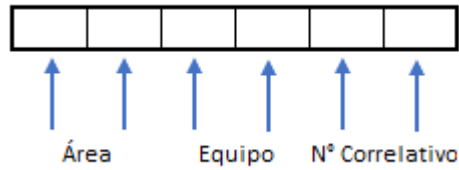


Tabla 18: Codificación de los equipos

Código						Descripción
A	1	C	A	0	1	Cortadora por agua
A	1	C	L	0	2	Cortadora laser
A	2	C	A	0	3	Compresor de aire
A	3	T	C	0	1	Torno CNC
A	3	F	C	0	2	Fresadora CNC
A	3	M	C	0	3	Maquina CNC

### Formato para el desarrollo del plan

De acuerdo con los pasos establecidos que se tiene que cumplir, se procede a crear un formato, cual se describirá las actividades a realizar, dichas actividades y los periodos serán tomados de los manuales de las máquinas.

Hay que mencionar que el formato ha sido elaborado en hoja de cálculo Excel, por recomendaciones del autor (García, S. 2009), ya que de esta manera es más accesible a las posibles modificaciones que se puedan dar posteriormente. También, porque aún no se cuenta con un software para el control de mantenimiento.

Tabla 19: Programa de MP para la cortadora Laser

PROGRAMA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO MAQUINA CORTADORA LASER																																
AREA: MANTENIMIENTO											Fecha Elaboración:							Septiembre 2020														
MAQUINA: CORTADORA LASER		FRECUENCIA	Enero					Febrero					Marzo					Abril					Mayo					Junio				
SISTEMA	ACTIVIDADES		SEMANAS del 2021																													
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26				
Mecánico	Limpieza General	Semanal	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x				
	Revisar los filtros	Bimestral		x				x				x				x				x				x				x				
	Mantenimiento	Anual				x																										
	Revisar ajuste de pernos	mensual	x				x				x				x				x				x				x					
Eléctrico	Limpieza General	Semanal	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x				
	Revisión de tableros	Mensual				x				x				x				x				x				x						
	Verificar ajuste en los terminales					x				x				x				x				x				x						
	Realizar mediciones de fuga a tierra					x				x				x				x				x				x						
	Medir consumo de los equipos					x				x				x				x				x				x						
	Mantenimiento de equipos electrónicos		Semestral		x																								x			
Neumático	Inspección General	Semanal	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x				
	Revisión de elementos	Mensual				x				x				x				x				x				x						
	Limpieza de componentes	Mensual				x				x				x				x				x				x						

Tabla 20: Programa de MP para la cortadora por agua

PROGRAMA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO MAQUINA CORTADORA POR AGUA																																
AREA: MANTENIMIENTO														Fecha Elaboración:							Septiembre 2020											
MAQUINA: CORTADORA POR AGUA		FRECUENCIA	Enero					Febrero					Marzo					Abril					Mayo					Junio				
SISTEMA	ACTIVIDADES		SEMANAS DEL 2021																													
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26				
Mecánico	Limpieza General	Semanal	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x				
	Revisar los filtros de agua	Mensual		x				x				x				x				x				x				x				
	Mantenimiento del motor principal	Anual			x																											
Eléctrico	Limpieza General	Semanal	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x				
	Revisión de tableros	Mensual			x				x				x				x				x				x							
	Verificar ajuste en los terminales				x				x				x				x				x				x							
	Realizar mediciones de fuga a tierra				x				x				x				x				x				x							
	Medir consumo de los equipos				x				x				x				x				x				x							
Mantenimiento de equipos electrónicos	Semestral	x																									x					
Neumático	Inspección General	Semanal	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x				
	Revisión de elementos	Mensual				x				x				x				x				x				x						
	Limpieza de componentes	Mensual				x				x				x				x				x				x						

Tabla 21: Programa de MP para el compresor de aire

PROGRAMA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO COMPRESOR ATLAS COPCO																																
AREA: MANTENIMIENTO														Fecha Elaboración:							Septiembre - 2020											
COMPRESOR: ATLAS COPCO		FRECUENCIA	Enero					Febrero					Marzo					Abril					Mayo					Junio				
SISTEMA	ACTIVIDADES		SEMANAS DEL 2021																													
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26				
Mecánico	Limpieza General	Semanal	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X				
	Purga y arranque del compresor	Diario	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X				
	Revisión general del compresor	Semestral	X																								X					
	Limpieza del secador	Mensual		X				X				X				X				X				X				X				
	Limpieza de filtro aire	Mensual		X				X				X				X				X				X				X				
Eléctrico	Limpieza General	Mensual	X				X				X				X				X				X				X					
	Revisión de tablero		X				X				X				X				X				X				X					
	Verificar ajuste en los terminales		X				X				X				X				X				X				X					
	Realizar mediciones de fuga a tierra		X				X				X				X				X				X				X					
	Medir consumo del motor principal		X				X				X				X				X				X				X					
	Mantenimiento de equipos electrónicos	Semestral		X																								X				

Tabla 22: Programa de MP para el torno CNC

PROGRAMA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO MAQUINA TORNO CNC																												
AREA: MANTENIMIENTO														Fecha Elaboración:						Septiembre - 2020								
MAQUINA: TORNO CNC														Enero		Febrero		Marzo		Abril		Mayo		Junio				
														SEMANAS DEL 2021														
SISTEMA	ACTIVIDADES	FRECUENCIA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
Mecánico	Limpieza General	Diario	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	Revisar ajustes	Mensual		X				X				X				X				X				X				X
	Mantenimiento de manguera de lubricación	Semestral		X																								X
	Mantenimiento de bomba lubricación	Anual				X																						
Eléctrico	Limpieza General	Semanal	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	Revisión de tableros	Mensual	X				X				X				X				X				X				X	
	Verificar ajuste en los terminales		X				X				X				X				X				X				X	
	Realizar mediciones de fuga a tierra		X				X				X				X				X				X				X	
	Medir consumo de los equipos		X				X				X				X				X				X				X	
	Revisión general de equipos electrónicos	Semestral	X																									X
Neumático	Inspección General, presión de aire	Diario	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	Revisión de elementos	Mensual		X				X				X				X				X				X				X
	Cambio de manguera neumática	Anual		X																								

Nota: elaboración propia

Tabla 23: Programa de MP para la fresadora CNC

PROGRAMA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO MAQUINA FRESADORA CNC																																
AREA: MANTENIMIENTO												Fecha Elaboración:						Septiembre - 2020														
MAQUINA: FRESADORA CNC		FRECUENCIA	Enero					Febrero					Marzo					Abril					Mayo					Junio				
SISTEMA	ACTIVIDADES		SEMANAS DEL 2021																													
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26				
Mecánico	Limpieza General	Semanal	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x				
	Revisar ajustes	Mensual		x				x				x				x				x				x				x				
	Mantenimiento de manguera de lubricación	Anual			x																											
	Mantenimiento de bomba lubricación	Semestral	x																									x				
Eléctrico	Limpieza General	Semanal																														
	Revisión de tableros	Mensual			x				x				x				x				x				x							
	Verificar ajuste en los terminales				x				x				x				x				x				x							
	Realizar mediciones de fuga a tierra				x				x				x				x				x				x							
	Medir consumo de los equipos				x				x				x				x				x				x							
	Revisión general de equipos electrónicos		Semestral		x																								x			
Neumático	Inspección General, presión de aire	Diario	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x				
	Revisión de elementos	Mensual				x				x				x				x				x				x						
	Cambio de manguera neumática	Anual		x																												

Tabla 24: Programa de MP para la maquina CNC

PROGRAMA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO MAQUINA CNC																																
AREA: MANTENIMIENTO												Fecha Elaboración:						Septiembre - 2020														
MAQUINA: Control numérico computarizado		FRECUENCIA	Enero					Febrero					Marzo					Abril					Mayo					Junio				
SISTEMA	ACTIVIDADES		SEMANAS DEL 2021																													
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26				
Mecánico	Limpieza General	Semanal	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x				
	Revisar ajustes	Mensual		x				x				x				x				x				x				x				
	Mantenimiento de manguera de lubricación	Anual				x																										
	Mantenimiento de bomba lubricación	Semestral	x																									x				
Eléctrico	Limpieza General	Semanal																														
	Revisión de tableros	Mensual		x				x				x				x				x				x				x				
	Verificar ajuste en los terminales			x				x				x				x				x				x				x				
	Realizar mediciones de fuga a tierra			x				x				x				x				x				x				x				
	Medir consumo de los equipos			x				x				x				x				x				x				x				
	Revisión general de equipos electrónicos	Semestral	x																									x				
Neumático	Inspección General, presión de aire	Diario	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x				
	Revisión de elementos	Semanal				x								x									x					x				
	Cambio de manguera neumática	Anual		x																												

### **CAPITULO III. RESULTADOS**

Una vez realizada la propuesta, creando la generación de formatos de operación y mantenimiento, brindando algunas charlas de capacitación a los operarios ya que ellos también deben participar en dicha mejora, realizando inspecciones visuales y limpieza general a cada una de sus máquinas, la cual ellos operan. al final todos saldremos beneficiados. Asimismo, se deben realizar las tareas tal cual están planteadas en el cronograma de actividades.

Para estimar la propuesta de dicho plan y saber en cuanto se va a incrementar la disponibilidad, hemos manipulado las variables independientes las cuales son el TMEF y el TMPR, para poder estimar dichos indicadores, se ha utilizado el modelo de regresión lineal simple. Pero para ello se tienen que realizar las capacitaciones correspondientes al personal

#### **3.1 Inversión requerida**

Para que la propuesta del plan se pueda implementar, la empresa necesita realizar cierta inversión, dentro de ella es contar con stock de algunos componentes, capacitación al personal técnico y operario; Asimismo, la impresión y distribución de formatos, realizar mejoras en las máquinas. Por lo tanto, se detalla un análisis de costo.

##### **3.1.1 Costos por capacitación.**

Con la finalidad que el personal técnico pueda resolver los problemas de la máquina, sin la necesidad de poder llamar y requerir el servicio de los fabricantes ya que esto genera un costo elevado, sobre todo por fallas puntuales; se ha llegado a la conclusión que el personal técnico debe recibir una capacitación por cada máquina que se ha hecho el estudio. Por lo tanto, esta capacitación lo recibirá un técnico electricista y un mecánico y el operador de cada máquina; siendo un total de 3 personas por máquina. Los costos de capacitación se muestran en la siguiente tabla.



Por ejemplo, para la cortadora laser, el tiempo empleado es de 3 días o 24 horas, cada colaborador gana un promedio de S/ 7.5 c/h, se le multiplica y el resultado se le suma con el costo del curso.

Tabla 25: *costos por capacitación*

<b>Tres personas por máquina</b>	<b>Tiempo</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio por hora</b>	<b>Costo del recurso</b>	<b>Costo del curso</b>	<b>Total, de inversión</b>
Cortadora laser	horas	24	S/7.50	S/540.00	S/7,500.00	S/8,040.00
Cortadora por agua	horas	24	S/7.50	S/540.00	S/3,540.00	S/4,080.00
Compresor de aire	horas	8	S/7.50	S/180.00	S/944.00	S/1,124.00
Torno CNC	horas	8	S/7.50	S/180.00	S/1,062.00	S/1,242.00
Fresadora CNC	horas	16	S/7.50	S/360.00	S/2,124.00	S/2,484.00
Máquina CNC	horas	16	S/7.50	S/360.00	S/2,124.00	S/2,484.00
<b>Total</b>	horas	96	S/7.50	S/2,160.00	S/17,294.00	<b>S/19,454.00</b>

Como se puede notar a detalle en la tabla anterior, muestra la cantidad de horas que tomaría la capacitación por cada máquina; asimismo, el precio promedio por hora que se le paga al colaborador es de S/ 7.5 por hora, el costo por dictar el curso es lo que cobra el fabricante o representante de la máquina.

Por consiguiente, serán 96 horas a capacitar; el costo del recurso (personal) será de S/ 2160.00, y el costo total por capacitación sería de **S/ 19,454.00**.

### **3.1.2 Inversión en activos**

Para que la propuesta se ponga en marcha, también se tiene que comprar activos; de esta manera esto conllevará a una mejora en el proceso de implementar la propuesta.

Dentro de esos activos están los repuestos para las máquinas; generalmente se ha considerado de acuerdo a los elementos que han fallado con mayor frecuencia.

Asimismo, se ha considerado los materiales que ayudarán a desarrollar el mantenimiento de estos equipos entre ellos tenemos: los trapos industriales, los solventes dieléctricos, limpia contactos, etc.

Tabla 26: *lista de repuestos*

<b>Descripción</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Medida</b>	<b>Precio</b>	<b>Total</b>
<b>Repuestos</b>				
Batería de 5 vdc. para tarjeta	1	unidad	S/95.00	S/95.00
Contactador de potencia trifásico 25A	2	rollo	S/200.00	S/400.00
Pulsador verde para marcha	1	unidad	S/80.00	S/80.00
Pulsador rojo para paro	1	unidad	S/80.00	S/80.00
Válvula solenoide 24vdc 5/2	1	unidad	S/250.00	S/250.00
Baliza luminosa color verde	1	unidad	S/120.00	S/120.00
Baliza luminosa color rojo	1	unidad	S/120.00	S/120.00
Baliza luminosa color ámbar	1	unidad	S/120.00	S/120.00
Pulsador parado de emergencia	1	unidad	S/95.00	S/95.00
Trasformador de tensión 0.5VA 220/110	1	unidad	S/150.00	S/150.00
Variador de frecuencia 0.75 kw 220vac	1	unidad	S/1,500.00	S/1,500.00
Rodamiento	2	unidad	S/80.00	S/160.00
Relé multipunto de 24VDC	5	unidad	S/60.00	S/300.00
Guardamotor de 2.5-4A	1	unidad	S/120.00	S/120.00
Fuente de alimentación 220vac/24vdc 5A	1	unidad	S/350.00	S/350.00
Boquilla para cabezal de cortadora laser	5	unidad	S/90.00	S/450.00
Boquilla para cabezal de cortadora por agua	3	unidad	S/75.00	S/225.00
Interruptor termomagnético bipolar de 10A	1	unidad	S/80.00	S/80.00
Interruptor termomagnético tripolar de 25A	1	unidad	S/100.00	S/100.00
Sellos mecánicos para filtro de la cortadora	6	unidad	S/120.00	S/720.00
Contactador de potencia de 25 A	1	unidad	S/250.00	S/250.00
Estabilizador de voltaje de 7KA	2	unidad	S/3,200.00	S/6,400.00
<b>Materiales o consumibles para las maquinas</b>				
Manguera neumática 1X6	50	metro	S/6.00	S/300.00

Cable unifilar 18 awg color azul	1	rollo	S/70.00	S/70.00
Limpia contactos	1	unidad	S/30.00	S/30.00
Afloja todo	1	unidad	S/30.00	S/30.00
Solvente dieléctrico	2	galón	S/50.00	S/100.00
Brochas	2	unidad	S/5.00	S/10.00
Pernos varios	1	paquete	S/200.00	S/200.00
Grasa para lubricación	1	lata	S/80.00	S/80.00
Borneras varios	100	unidad	S/3.50	S/350.00
Terminales (varias medidas)	1	paquete	S/200.00	S/200.00
Trapo industrial	20	kg	S/2.00	S/40.00
<b>Materiales o y equipos para capacitación</b>				
Pizarra acrílica	1	unidad	S/140.00	S/140.00
Plumones	4	unidad	S/5.00	S/20.00
Impresiones de los temas	6	juego	S/10.00	S/60.00
Materia prima para las pruebas de corte	1	paquete	S/1,000.00	S/1,000.00
Consumibles para las pruebas practicas	1	paquete	S/400.00	S/400.00
<b>Materiales para la implementación</b>				
Impresión de formatos	12	unidad	S/4.00	S/48.00
Impresión de manuales	6	unidad	S/5.00	S/30.00
Enmica dora	1	unidad	S/190.00	S/190.00
Micas	1	unidad	S/20.00	S/20.00
Letreros de aviso	10	unidad	S/16.00	S/160.00

### 3.1.3 Inversión en estudio

Para poder realizar el presente estudio en la empresa metalmeccánica, se ha hecho una inversión; básicamente esta inversión compete del tiempo y demás recursos que haya realizado el investigador; de manera que, también se va a considerar como una inversión.

Tabla 27: *Inversión en estudio realizado*

<b>Tiempo empleado del investigador</b>	<b>Tiempo</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio por día</b>	<b>Total, de inversión</b>
Realizar visitas a planta	días	15	S/80.00	S/1,200.00
Investigación fuera de planta	días	45	S/40.00	S/1,800.00
Uso de equipo	días	60	S/4.16	S/249.60
Pasajes	días	15	S/5.00	S/75.00
<b>Total</b>	horas	135		<b>S/3,324.60</b>

### 3 costo de la implementación

A continuación, se muestra la siguiente tabla el costo de inversión que se requiere para que el plan de mantenimiento se ponga en marcha. Dicha tabla muestra por subdivisiones los todos los elementos que se requiere.

Por ejemplo, para la adquisición de repuestos, se requiere un monto de S/ 12165.00; por consiguiente, para adquirir los materiales o consumibles se requiere un monto de S/1410.00

Tabla 28: *Costo de inversión*

<b>Descripción</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Medida</b>	<b>Precio</b>	<b>Total</b>
<b>Repuestos</b>				<b>S/12,165.00</b>
Batería de 5 vdc para tarjeta	1	unidad	S/95.00	S/95.00
Contactador de potencia trifásico 25A	2	rollo	S/200.00	S/400.00
Pulsador verde para marcha	1	unidad	S/80.00	S/80.00
Pulsador rojo para paro	1	unidad	S/80.00	S/80.00
Válvula solenoide 24vdc 5/2	1	unidad	S/250.00	S/250.00
Baliza luminosa color verde	1	unidad	S/120.00	S/120.00
Baliza luminosa color rojo	1	unidad	S/120.00	S/120.00
Baliza luminosa color ámbar	1	unidad	S/120.00	S/120.00
Pulsador parado de emergencia	1	unidad	S/95.00	S/95.00
Trasformador de tensión 0.5VA 220/110	1	unidad	S/150.00	S/150.00
Variador de frecuencia 0.75 kw 220vac	1	unidad	S/1,500.00	S/1,500.00
Rodamiento	2	unidad	S/80.00	S/160.00
Relé multipunto de 24VDC	5	unidad	S/60.00	S/300.00

Guardamotor de 2.5-4A	1	unidad	S/120.00	S/120.00
Fuente de alimentación 220vac/24vdc 5A	1	unidad	S/350.00	S/350.00
Boquilla para cabezal de cortadora laser	5	unidad	S/90.00	S/450.00
Boquilla para cabezal de cortadora por agua	3	unidad	S/75.00	S/225.00
Interruptor termomagnético bipolar de 10A	1	unidad	S/80.00	S/80.00
Interruptor termomagnético tripolar de 25A	1	unidad	S/100.00	S/100.00
Sellos mecánicos para filtro de la cortadora	6	unidad	S/120.00	S/720.00
Contactador de potencia de 25 A	1	unidad	S/250.00	S/250.00
Estabilizador de voltaje de 7KA	2	unidad	S/3,200.00	S/6,400.00
<b>Materiales o consumibles para las maquinas</b>				<b>S/1,410.00</b>

Manguera neumática 1X6	50	metro	S/6.00	S/300.00
Cable unifilar 18 awg color azul	1	rollo	S/70.00	S/70.00
Limpia contactos	1	unidad	S/30.00	S/30.00
Afloja todo	1	unidad	S/30.00	S/30.00
Solvente dieléctrico	2	galón	S/50.00	S/100.00
Brochas	2	unidad	S/5.00	S/10.00
Pernos varios	1	paquete	S/200.00	S/200.00
Grasa para lubricación	1	lata	S/80.00	S/80.00
Borneras varios	100	unidad	S/3.50	S/350.00
Terminales (varias medidas)	1	paquete	S/200.00	S/200.00
Trapo industrial	20	kg	S/2.00	S/40.00

<b>Materiales o y equipos para capacitación</b>				<b>S/1,620.00</b>
---	--	--	--	-------------------

Pizarra acrílica	1	unidad	S/140.00	S/140.00
Plumones	4	unidad	S/5.00	S/20.00
Impresiones de los temas	6	juego	S/10.00	S/60.00
Materia prima para las pruebas de corte	1	paquete	S/1,000.00	S/1,000.00
Consumibles para las pruebas practicas	1	paquete	S/400.00	S/400.00

<b>Materiales para la implementación</b>				<b>S/448.00</b>
--	--	--	--	-----------------

Impresión de formatos	12	unidad	S/4.00	S/48.00
Impresión de manuales	6	unidad	S/5.00	S/30.00
Enmica dora	1	unidad	S/190.00	S/190.00
Micas	1	paquete	S/20.00	S/20.00
Letreros de aviso	10	unidad	S/16.00	S/160.00

<b>Inversión en capacitación</b>				<b>S/19,454.00</b>	
Cortadora laser	24	horas	S/7,500.00	S/8,040.00	
Cortadora por agua	24	horas	S/3,540.00	S/4,080.00	
Compresor de aire	8	horas	S/944.00	S/1,124.00	
Torno CNC	8	horas	S/1,062.00	S/1,242.00	
Fresadora CNC	16	horas	S/2,124.00	S/2,484.00	
Máquina CNC	16	horas	S/2,124.00	S/2,484.00	
<b>Inversión del estudio</b>				<b>S/3,324.60</b>	
Realizar visitas a planta	15	días	80	1200	
Investigación fuera de planta	45	días	40	1800	
Uso de equipo	60	días	4.16	249.6	
Pasajes	15	días	5	75	
<b>Total</b>					<b>S/38,421.60</b>

Como podemos verificar el resultado de la tabla nos indica que el total de inversión que se requiere para que esta propuesta se llegue a desarrollar es de S/38, 421.60.

### 3.1.4 Estimación de la propuesta

Para realizar estimaciones de la propuesta de un plan de mantenimiento preventivo para mejorar la disponibilidad se ha elegido el modelo de regresión lineal para realizar las proyecciones tomando como base los datos iniciales de los indicadores independientes.

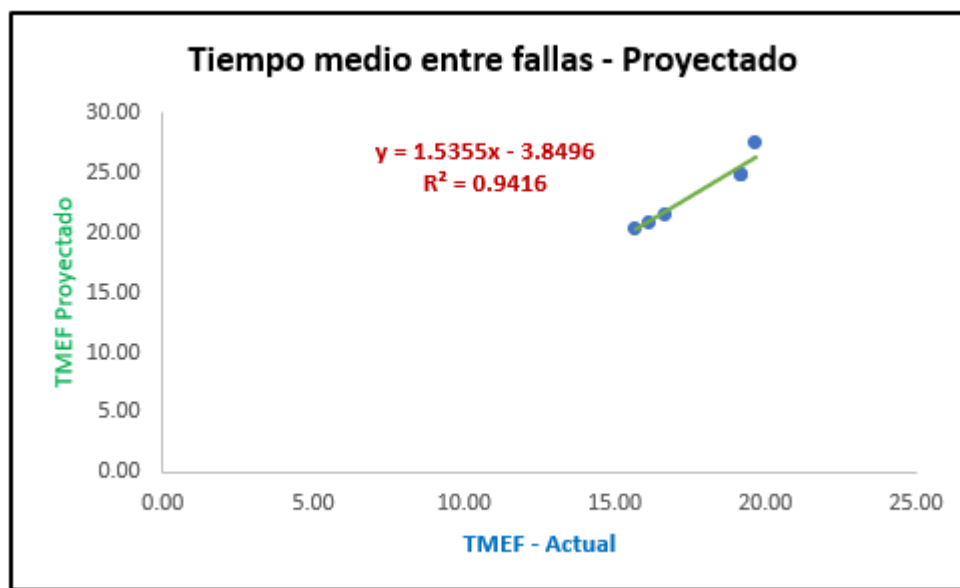
$$\hat{y} = b_0 + b_1 x$$

*Ecuación 6: estimaciones*

En la siguiente figura se proyecta la estimación del tiempo medio entre fallas (TMEF), por lo se puede ver esta proyección tiene una línea ascendente, lo que nos indica es que, el TMEF se va a incrementar considerablemente.

Se ha trabajado con los datos de cada máquina, para realizar esta proyección se tomaron los resultados de las 6 máquinas estudiadas, de acuerdo a ello se realizó la proyección.

Por ejemplo, la máquina cortadora por agua su TMEF actual es de 16.62 horas, de la cortadora laser es de 19.20, del compresor es de 19.65, torno cnc 15.68, fresadora cnc 16.12, maquina cnc 19.17. Esto nos quiere decir que, la maquina fresadora cnc presenta una falla cada 16.12 horas. Por lo tanto, lo que se requiere con la propuesta es que este tiempo se incremente de un 25 a 30 %.



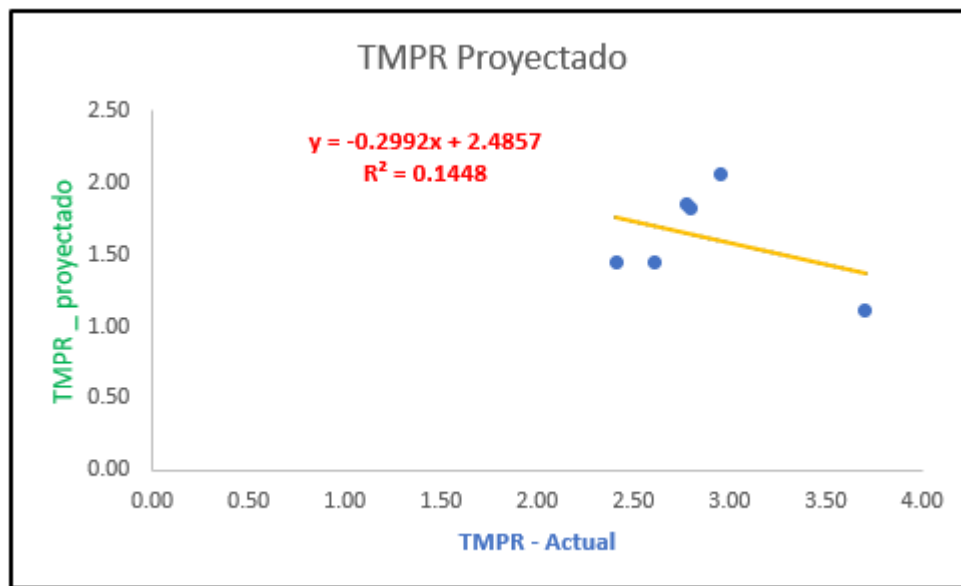
**Figura 18:** Proyección de tiempo medio entre fallas

**Nota:** cuando tiempo se incrementa el tiempo en 1 hora, en el periodo se incrementará en 1.5 por cada hora; asimismo el  $R^2 = 0.94$ , esto quiere decir que el 94% de la variación total en el incremento en el periodo es explicada por el TMEF proyectada.

En la siguiente figura se muestra la proyección del tiempo medio para reparar (TMPR), por lo se puede ver esta proyección tiene una línea descendente, lo que nos indica es que, el TMPR va a disminuir de manera considerable.

Se ha trabajado con los datos de cada máquina, para realizar esta proyección se tomaron los resultados de las 6 máquinas estudiadas, de acuerdo a ello se realizó esta proyección.

Por consiguiente, la máquina cortadora por agua su TMPR actual es de 2.78 horas, de la cortadora laser es de 3.71 horas, del compresor es de 2.41 horas, torno cnc 2.61 horas, fresadora cnc 2.8 horas, maquina cnc 2.95 horas. Esto nos quiere decir que, el tiempo medio de reparación de la maquina fresadora cnc es de 2.8 horas. Por lo tanto, lo que se requiere con la propuesta es que este tiempo disminuya en un 25 a 30 %.



**Figura 19:** Proyección de tiempo medio para reparar

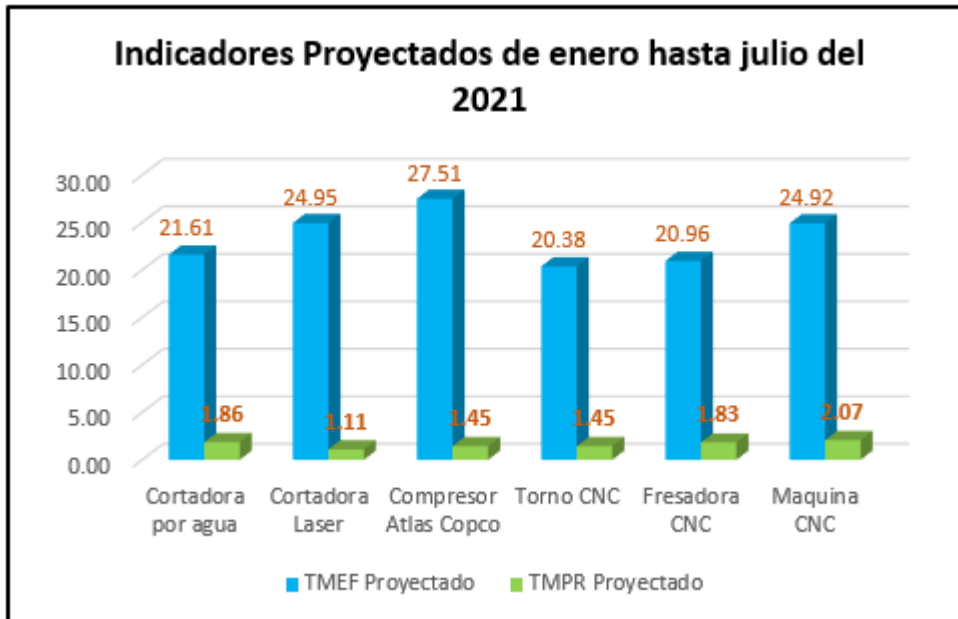
**Nota:** el resultado nos indica que, cuando el TMPR se incremente en una hora el tiempo medio entre falla se va a reducir en dos horas.

En el siguiente grafico de barras se muestra los indicadores proyectados (tiempo medio entre fallas y tiempo medio para reparar), esto es llegando a implementar la propuesta del plan de mantenimiento preventivo. Se puede apreciar que el tiempo medio entre fallas ha ascendido en el rango de 20 a 27.

Por ejemplo, con la proyección estimada, en la cortadora por agua se va a presentar una falla cada 21.61 horas; y así sucesivamente en las demás máquinas.



Con respecto al tiempo medio para reparar (TMPR), en la máquina torno cnc es de 1.45 horas, lo que actualmente es de 2.61 horas, se puede decir que, con la propuesta del plan de mantenimiento, este tiempo va a mejorar de una manera muy significativa.

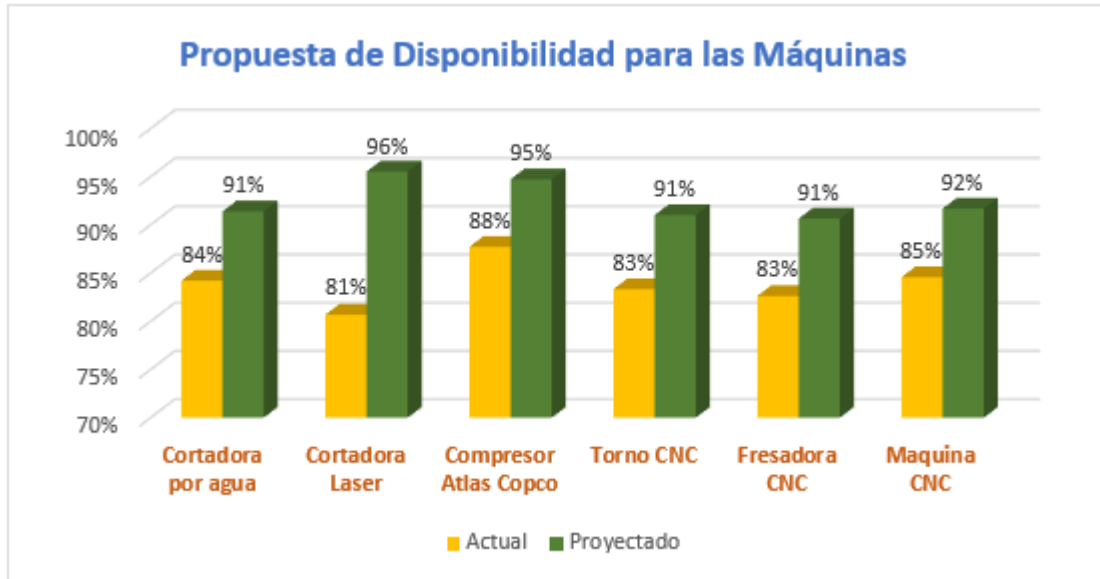


**Figura 20.** Indicadores con la propuesta de mantenimiento preventivo  
 Nota: de acuerdo con las proyecciones estimadas con la regresión lineal, ahora podemos graficar como quedará los tiempos medio entre falla y tiempo medio para reparar, van a mejorar considerablemente

De acuerdo a las proyecciones estimadas, en la siguiente figura podemos ver el grafico de barras con respecto a la mejora de la disponibilidad de las maquinas estudiadas.

Las barras de color mostaza muestra la disponibilidad actual de las máquinas; y las barras de color verde, muestra la disponibilidad proyectadas de las máquinas.

Por lo tanto, podemos notar que, la disponibilidad actual en la maquina CNC, es de 85% y llegando a implementar la propuesta del plan esta puede llegar hasta un 92%, obteniendo una mejora de 7 %.



**Figura 21: propuesta de disponibilidad de máquinas**

Nota: podemos verificar que, con el mantenimiento del plan propuesto, la disponibilidad se incrementará de manera favorable en un promedio de 9%.

### 3.1.5 Análisis costo – beneficio

Para poder realizar un análisis costo beneficio, se va a realizar el análisis de los indicadores actuales con los indicadores proyectados.

#### Análisis de indicadores

En la siguiente tabla muestra los promedios totales de cada indicador.

Por ejemplo, el promedio del tiempo medio entre fallas de las seis maquinas es de 17.74 horas, esto quiere decir que la maquina falla cada este tiempo y con el promedio de la estimación proyectada, en la maquina ocurrirá una falla cada 23.39 horas; de esta manera se obtiene una mejora de 5.65 horas.

Con respecto al tiempo medio para reparar es todo lo contrario, esto no debe de ascender, sino de descender; el promedio actual del TMPR es de 2.88 horas, quiere decir que cuando ocurre una falla, el técnico o técnicos se demoran ese determinado tiempo para poder reparar la falla.

Con respecto a la disponibilidad, esta está sujeta a los dos indicadores mencionados anteriormente (TMEF, TMPR), de esta manera en la disponibilidad se puede apreciar un promedio actual de 84 % y un proyectado a 93 %; por lo tanto, hay una mejora habrá una mejora considerable de 9 %.

Tabla 29: Promedio de indicadores de disponibilidad

<b>Indicadores</b>	<b>Promedio actual</b>	<b>Promedio proyectado</b>	<b>Mejora esperada</b>
Tiempo medio entre fallas	17.74	23.39	5.65
Tiempo medio para reparar	2.88	1.63	1.25
Disponibilidad	84%	93%	<b>9%</b>

#### **Disminución de gastos proyectados**

Actualmente los gastos por cada máquina en un periodo anual van desde los S/ 3,120.00 hasta los S/ 3,760.00 soles; con la estimación proyectada de llegarse a implementar la propuesta, los gastos se reducirían un promedio de S/ 1,600.00.

Por lo que nos da a entender la siguiente tabla es que como beneficio anual se tendría un monte de S/ 9,720.00 es un monto considerable, lo cual se vería reflejado en la utilidad de la organización.

Tabla 30: gastos anuales por máquinas

<b>Gastos en periodo anual por máquina</b>	<b>Actuales</b>	<b>Proyectados</b>	<b>Beneficio</b>
Cortadora por agua	S/3,120.00	S/1,560.00	S/1,560.00
Cortadora Laser	S/3,240.00	S/1,620.00	S/1,620.00
Compresor Atlas Copco	S/2,760.00	S/1,380.00	S/1,380.00
Torno CNC	S/3,480.00	S/1,740.00	S/1,740.00
Fresadora CNC	S/3,600.00	S/1,800.00	S/1,800.00
Maquina CNC	S/3,240.00	S/1,620.00	S/1,620.00
<b>Total</b>	<b>S/19,440.00</b>	<b>S/9,720.00</b>	<b>S/9,720.00</b>

### Financiamiento con el banco

El monto total de inversión para que la propuesta se pueda implementar es de S/ 35,097.00; para ello la empresa necesita realizar un préstamo de S/ 30,000.00 soles, lo cual será financiada en 4 años. Por lo tanto, tenemos lo siguiente

Monto del préstamo = S/ 30,000.00

Periodo del préstamo = 4 años |

Tasa efectiva anual (TEA) para mediana empresa = 14.54 % al 19/10/20, según la superintendencia de banca y seguros (SBS).

Tabla 31: *Financiamiento bancario*

Año	Saldo inicial	Interés	Cuota fija	Amortización	Saldo final
1	S/30,000.00	S/4,362.00	S/10,410.34	S/6,048.34	S/23,951.66
2	S/23,951.66	S/3,482.57	S/10,410.34	S/6,927.77	S/17,023.89
3	S/17,023.89	S/2,475.27	S/10,410.34	S/7,935.07	S/9,088.82
4	S/9,088.82	S/1,321.52	S/10,410.34	S/9,088.82	S/0.00
<b>Total</b>		S/11,641.36	S/41,641.36	S/30,000.00	

### Evaluación del Valor Actual Neto (VAN)

Es un procedimiento que nos permite calcular el valor presente de un determinado número de flujo de caja futuras, básicamente es originada por una inversión. Por lo tanto, esto lleva los flujos futuros al presente a una determinada tasa.

Su fórmula es: 
$$VAN = \frac{VNE}{(1+r)}$$

*Ecuación 7; Valor actual neto*

VAN = Valor actual neto o valor presente neto

VNE = Valor neto efectivo o valor futuro

r = tasa de descuento

Para ello hay que tener en cuenta los siguientes criterios de aceptación, los cuales se muestran a continuación:

- VAN > 0 la inversión de debe **ACEPTAR**
- VAN = 0 la inversión resulta **INDIFERENTE**
- VAN < 0 la inversión de debe **RECHAZAR**

Por lo tanto, se debe realizar un análisis si la empresa debe hacer la inversión.

Para que la propuesta del plan de mantenimiento se ponga en marcha, la empresa debe realizar una inversión de S/ 30,000.00, la cual se generaría los siguientes flujos netos efectivos del año 1 al año 4 de S/ 9,720.00 Hallar el valor actual (VA) y el valor actual neto (VPN), teniendo en cuenta el costo de oportunidad que es de 10 %

$$VA = \frac{S/9720}{(1,1)} + \frac{S/9720}{(1,1)^2} + \frac{S/9720}{(1,1)^3} + \frac{S/9720}{(1,1)^4} = S/ 30,811.09$$

$$VAN = -30000 + \frac{S/9720}{(1,1)} + \frac{S/9720}{(1,1)^2} + \frac{S/9720}{(1,1)^3} + \frac{S/9720}{(1,1)^4} = S/ 811.09$$

El VAN es mayor a uno. Por lo tanto, se acepta la inversión de la propuesta mantenimiento preventivo, lo que implica que tendrá rentabilidad.

### **Evaluación de la tasa interna de retorno (TIR)**

Sirve para medir la rentabilidad promedio por periodos de dicha inversión; también se define como la tasa de descuento que hace que el VAN sea = 0

Para ello se tiene que tener en cuenta el siguiente criterio de aceptación.

- TIR > COK la inversión de debe **ACEPTAR**
- TIR = COK la inversión resulta **INDIFERENTE**
- TIR < COK la inversión de debe **RECHAZAR**

Por lo tanto, se debe realizar un análisis si la empresa debe hacer la inversión.

Para que la propuesta del plan de mantenimiento se ponga en marcha, la empresa debe realizar una inversión de S/ 30,000.00, la cual se generaría los siguientes flujos netos efectivos del año 1 al año 4 de S/ 9,720.00 Hallar la tasa interna de retorno para corroborar si es favorable la inversión.

$$VAN = -30000 + \frac{S/9720}{(1,15)} + \frac{S/9720}{(1,15)^2} + \frac{S/9720}{(1,15)^3} + \frac{S/9720}{(1,15)^4} = - 2249.61$$

$$VAN = -30000 + \frac{S/9720}{(1,08)} + \frac{S/9720}{(1,08)^2} + \frac{S/9720}{(1,08)^3} + \frac{S/9720}{(1,08)^4} = 2193$$

Realizar interpolación

Interés de VA inferior 0.15 ----- 27750.39

TIR con inversión      TIR ----- 30,000

Interés de VA superior 0.08 -----32193

$$\frac{TIR-0.15}{-0.08} = \frac{30000-27750.39}{32193-27750.39}$$

$$\frac{TIR-0.12}{-0.08} = \frac{2249.61}{4442.61} = \frac{TIR-0.15}{-0.08} = 0.5064$$

$$TIR = - 0.04051 + 0.15 \quad TIR = 0.109 \times 100 = 10.95 \% \text{ Aproximado } 11 \%$$

Podemos decir que la inversión será favorable y tendrá un retorno del 11%, la cual si cumple porque es superior al costo de oportunidad (COK).

Después de haber realizado el estudio para que se proponga un plan de mantenimiento preventivo para mejorar la disponibilidad de las máquinas de la empresa metalmecánica del sector industrial, se han obtenido los siguientes resultados:

- La propuesta de un plan de mantenimiento preventivo para mejorar la disponibilidad de las máquinas, consta de una serie de pasos que se tienen que ir desarrollando de

manera sistemática. Una vez que se la logrado el desarrollo y se llegue a ejecutar de manera correcta, se puede decir que esta traerá resultados positivos. Lo cual se menciona en las siguientes líneas.

- La propuesta de este plan de mantenimiento llegará a mejorar el indicador tiempo medio entre fallas (MTBF), este pertenece a la confiabilidad de las máquinas, es el tiempo que tardará en la aparición de alguna anomalía (falla) que se vea reflejado con los planes de producción.
- Además, con la propuesta de este plan de mantenimiento, se logrará reducir los tiempos medios de reparación (MTTR), este mismo se ve reflejado con la mantenibilidad. Al contar con un stock de repuestos se logrará reducir los tiempos de paradas; asimismo, las capacitaciones al personal se verán reflejados para este indicador, de ellos también depende el tiempo en detectar las posibles fallas y las acciones a tomar.
- La propuesta del presente plan de mantenimiento preventivo en la empresa metalmecánica del sector industrial, va a mejorar los indicadores MTBF y MTTR, cumpliendo una serie de actividades descritas en la propuesta. Por lo tanto, esto se verá reflejado en el indicador **disponibilidad** de las máquinas, El incremento de esta variable dependiente es de un 9%, lo cual es un valor bastante considerable, claro está que se tiene que cumplir todos los procedimientos descritos en la propuesta.
- Después de haber realizado el análisis de inversión y retorno de la misma, se puede apreciar que el retorno de la inversión se va a recuperar en mediano plazo (cuatro años). Además, el personal ya estará capacitado y entrenado, esto es de suma importancia y así puedan tener más cuidado de los equipos.

## **CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES**

### **4.1 Limitaciones**

Las limitaciones que se ha tenido y se han presentado en el trayecto del desarrollo del estudio, son las siguientes:

- La información ha sido bastante limitada, de manera que, solamente se ha trabajado con datos de los últimos onces meses.
- La entrevista al personal no fue realizada a todos los de planta, solamente a los operadores de las máquinas, supervisor y un técnico mecánico.

### **4.2 Interpretación comparativa**

Los resultados que se pueden obtener con respecto a la propuesta del plan de mantenimiento preventivo en la empresa metalmecánica es llegar a incrementar la disponibilidad en un 9%, para ello se debe de cumplir los pasos detallados anteriormente; asimismo estos están sujetos a mejoras.

Al respecto (Collantes, 2017) en sus tesis, mediante su propuesta de implementar un programa de mantenimiento preventivo con la finalidad de optimizar el desempeño y disminuir la frecuencia de fallas, pudo detectar que no llevan un control de mantenimiento adecuado, deficiencia en resolver problemas por parte del personal técnico. Asimismo, el autor, la disminución de las fallas de maquina lo relaciona con recursos (dinero), lo cual determina que con la implementación del programa de mantenimiento obtendrá un ahorro de 2942.7 soles al año.

Asimismo, (Vega, 2017), en su tesis realizada como implementación de mantenimiento preventivo para que mejore la disponibilidad de máquinas, obtuvo como resultado incrementar este indicador de 89.3% a 96.1% lo cual equivale a 7.6%. por consiguiente, la mantenibilidad



se redujo de 1.40 a 1.14 esto equivale a 0.26 hrs/falla. Y la confiabilidad se incrementó de 14.89 a 24.22, esto equivale un incremento de 9.33hrs/falla.

Por lo contrario, (Alvarez, 2018) en su tesis propuesta de mantenimiento preventivo, los resultados esperados lo relacionan con la eficiencia de desempeño a incrementar, lo cual es posible, de esta manera el concluye que existirá un incremento con la reducción de paradas innecesarias de 23,376 soles.

Por consiguiente, (Gonzalez & Maicelo, 2017), en su tesis diseño se gestión de mantenimiento preventivo para mejorar la disponibilidad. En sus resultados obtenidos muestra que se logra incrementar la disponibilidad de tres equipos estudiados que son los siguientes: analizador Hematológico de 82.11% a 89.2%, analizador Bioquímico de 88.9% a 92.4% y el siguiente analizador de 86.3% a 89%.

### **4.3 Conclusiones**

Al haber concluido con el análisis del estudio de las máquinas de la empresa metalmecánica, de acuerdo a los problemas que estas presentan; asimismo, haber realizado la propuesta del plan de mantenimiento preventivo, se determina las siguientes conclusiones.

- Se ha podido constatar que el no contar con un plan de mantenimiento preventivo para las máquinas, esto influye de manera negativa, porque los estos equipos fallan de manera muy frecuente cada 16 horas en promedio, obteniendo una disponibilidad actual de 84 %.
- Se llega a la conclusión que, para poder mejorar la disponibilidad, se tiene que trabajar en la mejora del indicador tiempo medio entre fallas (TMEF), el tener los tiempos bastantes cortos entre cada falla, esto influye de manera deficiente en la disponibilidad

de máquinas. Actualmente se cuenta con un tiempo medio entre fallas muy reducido (cada 16 horas). De acuerdo a las proyecciones estimadas con la propuesta del plan, esto va a mejorar, llegando a un promedio entre fallas de 22 horas.

- Asimismo, se podido comprobar que mientras mayor sea el tiempo medio para reparar, esto influye de manera negativa con respecto a la disponibilidad de máquinas. De acuerdo al estudio realizado en la empresa, este tiempo es mayor debido a la falta de repuestos en stock y la falta de conocimiento del personal sobre el funcionamiento de la máquina. Por tal motivo en la propuesta se está considerando stock de repuestos que tienen mayor rotación; asimismo, capacitaciones al personal. Por consiguiente, en las proyecciones realizadas este tiempo de reparación va a mejorar de manera significativa llegando a un promedio de 1.2 horas en reparación por cada falla.
- Por consiguiente, se llega a la conclusión que, para mejorar la disponibilidad de las máquinas, se tiene que cumplir los procedimientos establecidos en el plan, básicamente por ser una variable dependiente, esto se verá reflejado en la mejora de los indicadores (tiempo medio entre fallas y tiempo medio para reparar), de esta manera se va a lograr la disponibilidad de las máquinas en la empresa metalmecánica.
- Mejorando los indicadores mencionados líneas arriba, tal cual se propone en la propuesta, la disponibilidad va a mejorar un 9%

#### **4.4 Recomendaciones**

Para que se pueda cumplir con los objetivos planteados en la propuesta de plan de mantenimiento se debe contar con el compromiso de todas las personas y áreas involucradas (eléctrica, mecánica, proyectos, producción, almacén, compras), caso contrario no se podrá cumplir con los objetivos establecidos. Asimismo, tener en cuenta lo siguiente:

- Se debe respetar el cronograma de actividades a realizar, tal como lo indica el cronograma propuesto. Asimismo, ante cualquier avería esta se debe atender de manera inmediata.
- No es recomendable aplicar el plan de mantenimiento preventivo a todas las máquinas, ya que todos los costos deben ser justificados ante la gerencia o área correspondiente. Existen máquinas que no tienen un trabajo constante, es por ello que se ha elegido las más importantes del proceso.
- Los supervisores y colaboradores deben de trabajar en conjunto, para que puedan medir y controlar los indicadores establecidos de manera bimestral, trimestral o semestral, recalcar que estos están sujetos a evaluaciones y posibles mejoras, todo debe realizarse en equipo, de tal manera se deben tomar en cuenta las opiniones de los operarios.

## REFERENCIAS

### Referencias

- Alvarez, R. (2018). Propuesta de plan de mantenimiento preventivo y mantenimiento centrado en la confiabilidad como estrategia de optimización del desempeño en una empresa metalmeccanica. (*tesis de grado*). Universidad Católica de Santa María, Arequipa.
- Anturán, G. (2004). Programa de mantenimiento preventivo para la empresa metalmeccanica industrias AVM S.A. (*tesis para titulo de grado*). Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga.
- Behar, D. S. (2008). *Metodología de la investigación*. Editorial Shalom.
- Bravo, F. (2016). Elaboración de un plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad caso línea seis de Pepsico Alimentos S:C.A. *Para que opte el título de Ingeniero de Procesos*. Universidad Central de Venezuela, Cagua, Venezuela.
- Buelvas, C., & Martinez, K. (2014). Elaboración de un Plan de Mantenimiento Preventivo para la Maquinaria Pesada de la empresa L&L. *Trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Mecánico*. Universidad Autónoma del Caribe, Barranquilla, Colombia.
- Carrasco, S. (2007). *Metodologia de la investigación Cientifica*. Lima: San Marcos E.I.R.L, editor.
- Charry, J. (2017). *Construcción de Instrumentos de Investigación Cientifica*. Lima, Perú: Marte Editores & Consultores S.R.L.
- Collantes, M. (2017). Propuesta e implementación del mantenimiento preventivo en las celdas de flotación KYF-300 para mejorar la productividad en planta de cobre- Chinalco. (*tesis de grado*). Universidad Privada del Norte, Trujillo.
- Dounce, E. (2007). *La Productividad en el Mantenimiento Industrial*. Mexico: Grupo Editorial Patria.
- Garcia Mallqui, E. (2016). *Implementación de un plan de mantenimiento preventivo en función de la criticidad de los equipos del proceso productivo para mejorar la disponibilidad de la empresa UESFALIA ALIMENTOS S.A*. Lima.
- García, O. (2012). *Gestión Moderna del Mantenimiento Industrial*. Bogota: Ediciones de la U.

- García, S. (2003). *Organización y gestión integral de mantenimiento*. Madrid, España: Ediciones Díaz de Santos, S. A.
- García, S. (2009-2015). *Ingeniería de Mantenimiento* (Vol. Tomo I). España: Editorial Renovetec.
- Gonzalez, E., & Maicelo, M. (2017). Sistema del diseño de gestión de mantenimiento preventivo, para mejorar la disponibilidad de los equipos de laboratorio clínicos de la empresa Jampar Multiprest Internacional S.R.L - 2017. *Tesis para optar por el título profesional de Ingeniero Industrial*. Universidad Privada del Norte, Cajamarca.
- Hernández Cruz, E., & Navarrete Pérez, E. (2001). Sistema de cálculo de indicadores para el mantenimiento. 1-6.
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2014). *Metodología de la investigación* (6ta ed.). México: McGRAW-HILL Education.
- Meza, D., Ortiz, Y., & Pinzon, M. (2006). La confiabilidad, la disponibilidad y la mantenibilidad, disciplinas modernas aplicadas al mantenimiento. *Scientia et Technica*, 4-7. Obtenido de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=84920491036>
- Mora, L. A. (2009). *Mantenimiento. Planeación, ejecución y control*. México: Alfaomega Grupo Editor, S.A. de C.V., México.
- Namakforoosh, M. (2005). *Metodología de la investigación* (segunda ed.). México: Limusa.
- Navarro, L., Pastor, A., & Mugaburu, J. (1997). *Gestión integral de mantenimiento*. España, España: Marcombo S.A.
- Niebel, B., & Freivalds, A. (2014). *Ingeniería Industrial de Niebel. Métodos, Estándares y Diseño del Trabajo*. México: McGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A.
- Ramos, J. (2017). Aumento de la disponibilidad mediante la implementación de un plan de mantenimiento preventivo a las maquinarias de la empresa Atlanta Metal Drill S.A.C. *Para que opte por el título profesional de Ingeniero Mecánico*. Universidad Nacional de Trujillo, Trujillo, Perú.
- Rey, F. (2001). *Mantenimiento Total de la Producción: Proceso de Implementación y Desarrollo*. Madrid, España: Fundación Confemetal.

- Sánchez, B. A. (2016). *Diseño de un plan de mantenimiento mediante metodología RCM para una línea de valorización de PEBD*. Universidad de Sevilla, Sevilla, España.
- Tamayo, M. (2003). *El proceso de la investigación científica* (cuarta ed.). México: EDITORIAL LIMUSA.
- Valdivieso, J. (2010). *Diseño de un plan de mantenimiento preventivo para la empresa extruplast S.A. (tesis para ingeniero mecánico)*. Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca, Ecuador.
- Vega, A. (2017). *Implementación del mantenimiento preventivo para mejorar la disponibilidad de la maquinaria en la empresa grúas América SAC. (tesis para título de grado)*. Universidad Cesar Vallejo, Lima.

## ANEXOS

### ANEXO A: formato de encuesta

<b>Formato de encuesta</b>						
Nombre y Apellido: .....						
Cargo: .....						
Fecha:    /    /						
Encuesta sobre las causas que ocasionan la baja disponibilidad de los equipos						
	<b>Totalmente</b>	<b>Aceptablemente</b>	<b>Regular</b>	<b>Poco</b>	<b>Nada</b>	
Q1	Falta realizar inspecciones rutinarias	5	4	3	2	1
Q2	Falta formatos de inspección	5	4	3	2	1
Q3	Las labores de reparación son mal ejecutadas	5	4	3	2	1
Q4	Falta motivación al personal por parte de la empresa	5	4	3	2	1
Q5	Falta un técnico perenne en planta	5	4	3	2	1
Q6	Falta capacitación al personal	5	4	3	2	1
Q7	Existe rotación de personal	5	4	3	2	1
Q8	Falta compromiso de los colaboradores	5	4	3	2	1
Q9	Falta algún tipo de mantenimiento	5	4	3	2	1
Q10	El proceso de funcionamiento no es estable	5	4	3	2	1
Q11	Falta realizar mantenimiento a los equipos	5	4	3	2	1
Q12	Falta estrategias para evitar paradas de máquinas	5	4	3	2	1
Q13	Los equipos NO están protegidos contra el polvo	5	4	3	2	1
Q14	Falta realizar las condiciones seguras de los equipos	5	4	3	2	1
Q15	Los equipos NO están protegidos contra la humedad	5	4	3	2	1
Q16	Presencia de partículas generados por otros equipos	5	4	3	2	1
Q17	Las órdenes de compra demoran en ser aprobadas	5	4	3	2	1
Q18	Falta stock de repuestos	5	4	3	2	1
Q19	Falta de coordinación para la compra de repuestos	5	4	3	2	1
Q20	Los repuestos NO llegan a tiempo	5	4	3	2	1
Q21	Falta eficiencia en el mantenimiento	5	4	3	2	1
Q22	Las máquinas son críticas para el proceso	5	4	3	2	1
Q23	Las máquinas son antiguas	5	4	3	2	1
Q24	Falta plan de mantenimiento	5	4	3	2	1
Q25	Falta manuales de operación	5	4	3	2	1

ANEXO B: resultados de la encuesta

Personal Técnico/ Causa raiz	Resultados de las Preguntas realizadas al personal de Mantenimiento																									
	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	Q7	Q8	Q9	Q10	Q11	Q12	Q13	Q14	Q15	Q16	Q17	Q18	Q19	Q20	Q21	Q22	Q23	Q24	Q25	
Falta realizar inspecciones rutinarias	4	5	3	4	4	5	4	3	5	3	4	4	3	2	3	3	4	4	3	4	5	4	1	5	5	
Falta formatos de inspección	5	5	4	3	3	5	4	3	5	2	4	5	2	2	3	4	5	4	2	4	5	5	2	5	5	
Las labores de reparación son mal ejecutadas	4	5	4	5	4	5	3	2	4	3	5	4	3	3	2	2	3	5	3	4	4	4	1	5	5	
Falta motivación al personal por parte de la empresa	5	5	3	4	5	4	5	1	5	3	4	4	2	1	3	4	4	4	2	5	4	5	2	5	5	
Falta un técnico peregre en planta	5	5	3	3	4	5	4	2	4	3	5	4	1	3	2	4	4	5	2	4	5	5	1	5	5	
Falta capacitación al personal	4	5	3	4	3	5	3	3	5	4	4	5	3	1	2	3	5	5	3	3	3	4	2	5	5	
Existe rotación de personal	4	5	3	4	3	5	3	3	5	4	4	5	3	1	2	3	5	5	3	3	3	4	2	5	5	
Falta compromiso de los colaboradores	4	5	3	4	4	4	5	1	5	3	5	4	2	3	1	3	3	4	4	4	4	3	5	1	5	5
Falta algún tipo de mantenimiento	5	5	2	5	4	5	4	2	4	3	4	5	2	2	1	4	2	3	3	5	4	5	3	5	5	
El proceso de funcionamiento no es estable	5	5	4	4	3	5	4	1	5	4	5	4	3	2	2	2	3	4	4	4	3	5	3	5	5	
Falta realizar mantenimiento a los equipos	4	5	3	4	4	5	4	3	5	3	4	4	3	2	3	3	4	4	3	4	4	4	1	5	5	
Falta estrategias para evitar paradas de máquinas	5	5	3	3	4	5	4	2	4	3	5	4	1	3	2	4	4	5	2	4	5	5	1	5	5	
Los equipos NO están protegidos contra el polvo	4	5	3	4	3	5	3	3	5	4	4	5	3	1	2	3	5	5	3	3	3	4	2	5	5	
Falta realizar las condiciones seguras de los equipos	4	5	3	4	4	4	5	1	5	3	5	4	2	3	1	3	3	4	4	4	4	3	5	1	5	5
Los equipos NO están protegidos contra la humedad	5	5	2	5	4	5	4	2	4	3	4	5	2	2	1	4	2	3	3	5	4	5	3	5	5	
Presencia de partículas generados por otros equipos	5	5	4	4	3	5	4	1	5	4	5	4	3	2	2	2	3	4	4	4	3	5	3	5	5	
Las ordenes de compra demoran en ser aprobadas	4	5	3	4	4	4	5	1	5	3	5	4	2	3	1	3	3	4	4	4	4	3	5	1	5	5
Falta stock de repuestos	4	5	3	4	4	4	5	1	5	3	5	4	2	3	1	3	3	4	4	4	4	3	5	1	5	5
Falta de coordinación para la compra de repuestos	4	5	3	4	4	4	5	1	5	3	5	4	2	3	1	3	3	4	4	4	4	3	5	1	5	5
Los repuestos NO llegan a tiempo	4	5	3	4	4	4	5	1	5	3	5	4	2	3	1	3	3	4	4	4	4	3	5	1	5	5
Falta eficiencia en el mantenimiento	4	5	3	4	4	4	5	1	5	3	5	4	2	3	1	3	3	4	4	4	4	3	5	1	5	5
Las máquinas son críticas para el proceso	4	5	3	4	4	4	5	1	5	3	5	4	2	3	1	3	3	4	4	4	4	3	5	1	5	5
Las máquinas son antiguas	4	5	3	4	4	4	5	1	5	3	5	4	2	3	1	3	3	4	4	4	4	3	5	1	5	5
Falta plan de mantenimiento	4	5	3	4	4	4	5	1	5	3	5	4	2	3	1	3	3	4	4	4	4	3	5	1	5	5
Falta manuales de operación	4	5	3	4	4	4	5	1	5	3	5	4	2	3	1	3	3	4	4	4	4	3	5	1	5	5
<b>Total</b>	<b>41</b>	<b>45</b>	<b>29</b>	<b>36</b>	<b>34</b>	<b>43</b>	<b>36</b>	<b>18</b>	<b>42</b>	<b>28</b>	<b>40</b>	<b>39</b>	<b>21</b>	<b>19</b>	<b>17</b>	<b>28</b>	<b>33</b>	<b>38</b>	<b>26</b>	<b>37</b>	<b>36</b>	<b>42</b>	<b>16</b>	<b>45</b>	<b>45</b>	



ANEXO C: registro de fallas máquina cortadora por agua

REGISTRO DE FALLAS DE LA MAQUINA CORTADORA POR AGUA										
Periodo Semestral	Año	Horas						$\frac{Hrs\ funcion}{N^{\circ}\ fallas}$	$\frac{Para\ X\ averia}{N^{\circ}\ fallas}$	$\frac{TMEF - TMPR}{TMEF}$
		Programadas	Sin funcion	Disponibles	N° de fallas	Paradas por fallas	Funcionamiento	TMEF Ó MTBF	TMPR Ó MTR	Disp
Noviembre	2019	208	16	192	9	25	167	18.56	2.78	85%
Diciembre	2019	208	24	184	9	26	158	17.56	2.89	84%
Enero	2020	208	16	192	10	28	164	16.40	2.80	83%
Febrero	2020	208	24	184	8	23	161	20.13	2.88	86%
Julio	2020	208	16	192	10	27	165	16.50	2.70	84%
Agosto	2020	208	16	192	11	24	168	15.27	2.18	86%
Septiembre	2020	208	16	192	12	28	164	13.67	2.33	83%
<b>Total, Semestral</b>		<b>1456</b>	<b>128</b>	<b>1328</b>	<b>69</b>	<b>181</b>	<b>1147</b>	<b>16.62</b>	<b>2.62</b>	<b>84%</b>

ANEXO D: registro de fallas máquina cortadora laser

REGISTRO DE FALLAS DE LA MAQUINA CORTADORA LASER										
Periodo de 7 meses	Año	Horas						$\frac{\text{Hrs funcion}}{\text{N}^\circ \text{ fallas}}$	$\frac{\text{Para X averia}}{\text{N}^\circ \text{ fallas}}$	$\frac{\text{TMEF} - \text{TMPR}}{\text{TMEF}}$
		Programadas	Sin funcion	Disponibles	Nº de fallas	Paradas por fallas	Funcionamiento	TMEF Ó MTBF	TMPR Ó MTR	Disp
Noviembre	2019	208	50	158	8	18	140	17.50	2.25	87%
Diciembre	2019	208	30	178	7	19	159	22.71	2.71	88%
Enero	2020	208	56	152	8	16	136	17.00	2.00	88%
Febrero	2020	208	40	168	6	18	150	25.00	3.00	88%
Julio	2020	208	40	168	8	20	148	18.50	2.50	86%
Agosto	2020	208	16	192	6	80	112	18.67	13.33	29%
Septiembre	2020	208	56	152	8	18	134	16.75	2.25	87%
<b>Total Semestral</b>		<b>1456</b>	<b>288.0</b>	<b>1168</b>	<b>51</b>	<b>189</b>	<b>979</b>	<b>19.20</b>	<b>3.71</b>	<b>81%</b>

ANEXO E: registro de fallas maquina compresor

REGISTRO DE FALLAS DE LA MAQUINA COMPRESOR ATLAS COPCO										
Periodo de 7 meses	Año	Horas						$\frac{\text{Hrs funcion}}{\text{N}^\circ \text{ fallas}}$	$\frac{\text{Para X averia}}{\text{N}^\circ \text{ fallas}}$	$\frac{\text{TMEF} - \text{TMPR}}{\text{TMEF}}$
		Programadas	Sin funcion	Disponibles	Nº de fallas	Paradas por fallas	Funcionamiento	TMEF Ó MTBF	TMPR Ó MTR	Disp
Noviembre	2019	208	0	208	12	35	173	14.42	2.92	80%
Diciembre	2019	208	0	208	13	32	176	13.54	2.46	82%
Enero	2020	208	0	208	15	56	152	10.13	3.73	63%
Febrero	2020	208	0	208	8	10	198	24.75	1.25	95%
Julio	2020	208	0	208	7	9	199	28.43	1.29	95%
Agosto	2020	208	0	208	6	8	200	33.33	1.33	96%
Septiembre	2020	208	0	208	5	9	199	39.80	1.80	95%
<b>Total, Semestral</b>		<b>1456</b>	<b>0.0</b>	<b>1456</b>	<b>66</b>	<b>159</b>	<b>1297</b>	<b>19.65</b>	<b>2.41</b>	<b>88%</b>

ANEXO F: registro de fallas máquina torno CNC

REGISTRO DE FALLAS DE LA MAQUINA TORNO CNC										
Periodo de 7 meses	Año	Horas						$\frac{Hrs\ funcion}{N^{\circ}\ fallas}$	$\frac{Para\ X\ averia}{N^{\circ}\ fallas}$	$\frac{TMEF - TMPR}{TMEF}$
		Programadas	Paradas	Disponibles	N° de fallas	Paradas por fallas	Funcionamiento	TMEF Ó MTBF	TMPR Ó MTTR	Disp
Noviembre	2019	208	8	200	10	30	170	17.00	3.00	82%
Diciembre	2019	208	0	208	12	28	180	15.00	2.33	84%
Enero	2020	208	8	200	15	34	166	11.07	2.27	80%
Febrero	2020	208	16	192	8	25	167	20.88	3.13	85%
Julio	2020	208	0	208	16	35	173	10.81	2.19	80%
Agosto	2020	208	0	208	9	26	182	20.22	2.89	86%
Septiembre	2020	208	16	192	7	23	169	24.14	3.29	86%
<b>Total, Semestral</b>		<b>1456</b>	<b>48</b>	<b>1408</b>	<b>77</b>	<b>201</b>	<b>1207</b>	<b>15.68</b>	<b>2.61</b>	<b>83%</b>

ANEXO G: registro de fallas fresadora CNC

REGISTRO DE FALLAS DE LA MAQUINA FRESADORA CNC										
Periodo de 7 meses	Año	Horas						$\frac{Hrs\ funcion}{N^{\circ}\ fallas}$	$\frac{Para\ X\ averia}{N^{\circ}\ fallas}$	$\frac{TMEF - TMPR}{TMEF}$
		Programadas	Sin funcion	Disponibles	N° de fallas	Paradas por fallas	Funcionamiento	TMEF Ó MTBF	TMPR Ó MTR	Disp
Noviembre	2019	208	8	200	10	30	170	17.00	3.00	82%
Diciembre	2019	208	8	200	12	32	168	14.00	2.67	81%
Enero	2020	208	8	200	9	28	172	19.11	3.11	84%
Febrero	2020	208	16	192	11	31	161	14.64	2.82	81%
Julio	2020	208	8	200	13	32	168	12.92	2.46	81%
Agosto	2020	208	8	200	10	29	171	17.10	2.90	83%
Septiembre	2020	208	0	208	9	25	183	20.33	2.78	86%
<b>Total, Semestral</b>		<b>1456</b>	<b>56.0</b>	<b>1192</b>	<b>74</b>	<b>207</b>	<b>1193</b>	<b>16.12</b>	<b>2.80</b>	<b>83%</b>

ANEXO H: registro de fallas máquina CNC

REGISTRO DE FALLAS DE LA MAQUINA CNC										
Periodo de 7 meses	Año	Horas						$\frac{Hrs\ funcion}{N^{\circ}\ fallas}$	$\frac{Para\ X\ averia}{N^{\circ}\ fallas}$	$\frac{TMEF - TMPR}{TMEF}$
		Programadas	Sin funcion	Disponibles	N° de fallas	Paradas por fallas	Funcionamiento	TMEF Ó MTBF	TMPR Ó MTR	Disp
Noviembre	2019	208	0	208	10	29	179	17.90	2.90	84%
Diciembre	2019	208	8	200	11	31	169	15.36	2.82	82%
Enero	2020	208	8	200	7	23	177	25.29	3.29	87%
Febrero	2020	208	0	208	9	27	181	20.11	3.00	85%
Julio	2020	208	8	200	8	25	175	21.88	3.13	86%
Agosto	2020	208	8	200	9	26	174	19.33	2.89	85%
Septiembre	2020	208	8	200	10	28	172	17.20	2.80	84%
<b>Total, Semestral</b>		<b>1456</b>	<b>40.0</b>	<b>1416</b>	<b>64</b>	<b>189</b>	<b>1227</b>	<b>19.17</b>	<b>2.95</b>	<b>85%</b>