

**UNIVERSIDAD INTERNACIONAL
DE LAS AMÉRICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**

**PROPUESTA PARA EL DISEÑO DE UN PROGRAMA DE
MANTENIMIENTO EN LA EMPRESA EQUIPOS Y
MANTENIMIENTOS PEDRO SOBALBARRO SÁNCHEZ S.A.**

Para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Industrial

AUTOR:

Alejandra Zelaya Sobalvarro

TUTOR:

Ing. Freddy Hernández Barahona

Sede Aranjuez

Marzo de 2018

DEDICATORIA

Primero que todo le dedico este proyecto a Dios, ya que siempre me ha dado la sabiduría y las fuerzas necesarias para seguir adelante en cada prueba que me establece la vida.

A mi familia por brindarme su apoyo incondicional en los momentos más difíciles y no permitirme abandonar mi sueño de convertirme en una profesional.

También a mis compañeros por entenderme y motivarme a ser mejor persona durante todo este proceso y enseñarme que con esfuerzo y dedicación todo es posible.

A todos ellos les agradezco y espero siempre sigan a mi lado.

AGRADECIMIENTOS

Le agradezco a Dios por permitirme concluir una prueba más en mi vida.

A mi familia, amigos, a mis compañeros de trabajo, que me han mostrado su apoyo.

A los profesores que lograron guiarme por un mejor camino y me han compartido su conocimiento, en especial a Freddy Hernández que es excelente y me ha dado la oportunidad de aprender de la mano de él.

CONTENIDO

DEDICATORIA	1
AGRADECIMIENTOS	2
CARTA DE AUTORIZACIÓN DEL TUTOR	3
CARTA DE REVISION DEL FILOLÒGO	3
DECLARACIÓN JURADA	5
UNIVERSIDAD INTERNACIONAL DE LAS AMÉRICAS	6
CÓDIGO DE ÉTICA	6
CONTENIDO	10
TABLAS	15
FIGURAS	17
RESUMEN EJECUTIVO.....	20
CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN	21
Generalidades de la Empresa	22
Historia de la empresa	22
Ubicación de la empresa.....	23
Estructura Organizacional	24
Clases de organigrama.....	24
Misión.....	26
Visión	26
Planteamiento del Problema.....	26
Objetivos	27
Objetivo General	27
Objetivos Específicos	27

	11
Justificación.....	27
Antecedentes.....	28
Proyecciones.....	29
CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO.....	30
Mapeo de Procesos	30
Diagrama de Procesos.....	31
Diagrama de flujo	33
Diagrama de Ishikawa.....	35
Método de las 6 M.....	36
Diagrama de Pareto.....	38
Histogramas.....	40
Interpretación del Histograma.....	40
Muestreo de aceptación.....	42
Tipos de muestreo de aceptación	42
Diagrama de Gantt	44
Metodología 5S.....	45
Eliminar (Seiri)	46
Ordenar (Seiton).....	46
Limpieza e inspección (Seiso)	47
Estandarizar (Seiketsu).....	47
Disciplina (Shitsuke)	48
Mantenimiento Productivo Total (TPM)	48
Objetivo del TPM.....	48
Las actividades esenciales para realizar TPM	49

	12
Pasos para la implementación del TPM	51
Indicadores de mantenimiento	52
CAPÍTULO III MARCO METODOLÓGICO	55
Enfoque	55
Diseño	56
Investigación exploratoria	56
Investigación descriptiva	56
Investigación correlacional.....	56
Investigación explicativa	56
Muestra de la Investigación.....	57
Muestra probabilística	57
Aleatorio Sistemático	57
Variables	59
Instrumentos	62
Procesos para la Recolección de Datos.....	64
Recolección de la información.....	65
Método de Análisis	66
Diagramas ingenieriles	66
Microsoft Visio	66
Microsoft Excel.....	67
Minitab.....	67
Cronograma	67
CAPÍTULO IV ANÁLISIS DE RESULTADOS	69
Mapeo de Procesos	70

	13
Diagrama de Procesos	71
Diagrama de Flujo	73
Datos Relevantes	76
Clasificación ABC de productos	76
Descripción de la Situación Actual.....	79
Compresores de aire	80
Esmeriladora grande 9”	82
Esmeriladora pequeña 4+1/2”	84
Lijadora orbital.....	86
Lijadora vibración	88
Máquina Plasma	90
Máquina Inversora.....	92
Máquinas mig.....	94
Máquinas welding	96
Taladro Corriente	98
Taladro Percusión.....	100
Análisis de causas	101
Diagrama ishikawa	101
Tamaño de muestra	104
Diagrama de Pareto	106
Clasificación de variables.....	107
Clasificación de las causas en plano mental, tecnológico y admirativo.....	108
TPM	110
Mantenimiento planificado.....	110

	14
Mantenimiento preventivo.....	110
Mantenimiento predictivo.....	111
Mantenimiento correctivo.....	111
Pilares del TPM.....	111
Las 6 grandes pérdidas	112
CAPÍTULO V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	114
Conclusiones.....	114
Recomendaciones	115
CAPÍTULO VI PROPUESTA.....	116
Sistema de Gestión del Mantenimiento Productivo Total	116
Fiabilidad	116
Mantenibilidad	117
Logística del mantenimiento.....	118
Mantenimiento Productivo Total	121
Objetivos del sistema TPM.....	122
Factores críticos para el éxito del proyecto	146
Análisis económico	146
REFERENCIAS.....	155
APÈNDICE.....	152
Apèndice A: Cronograma de mantenimiento preventivo	152
Apèndice B: Costo mantenimiento preventivo materiales.....	152
Apèndice C: Costo mantenimiento preventivo mano de obra.....	152
Apèndice D: Costo mantenimiento calidad mano de obra.....	152
Apèndice E: Costo mantenimiento planificado mano de obra.....	153

TABLAS

Tabla 1 Simbología de diagrama de flujo.....	35
Tabla 2 Variables	60
Tabla 3 Instrumentos	63
Tabla 4 Diagrama ABC Maquinaria Eléctrica.....	76
Tabla 5 Diagrama ABC Equipo Especial	78
Tabla 6 Movimientos de compresores.....	80
Tabla 7 Máximos y Mínimos compresores.....	80
Tabla 8 Movimientos esmeriladora grande 9”	82
Tabla 9 Máximos y Mínimos esmeriladora grande 9”	82
Tabla 10 Movimientos esmeriladora 4+1/2”	84
Tabla 11 Máximos y Mínimos esmeriladora grande 4+1/2”	84
Tabla 12 Movimientos lijadora orbital	86
Tabla 13 Máximos y Mínimos lijadora orbital	86
Tabla 14 Movimientos lijadora vibración.....	88
Tabla 15 Máximos y Mínimos lijadora vibración.....	88
Tabla 16 Movimientos máquina plasma.....	90
Tabla 17 Máximos y Mínimos máquina de plasma	90
Tabla 18 Movimientos máquina inversora	92
Tabla 19 Máximos y Mínimos máquinas inversoras.....	92
Tabla 20 Movimientos máquina mig.....	94
Tabla 21 Máximos y Mínimos máquinas mig	94
Tabla 22 Movimientos máquinas welding.....	96

Tabla 23 Máximos y Mínimos máquinas welding.....	96
Tabla 24 Movimientos taladro corriente	98
Tabla 25 Máximos y Mínimos taladro corriente.....	98
Tabla 26 Movimientos taladro percusión	100
Tabla 27 Máximos y Mínimos taladro percusión	100
Tabla 28 Tabla Cálculo.....	105
Tabla 29 Encuesta de Causas	105
Tabla 30 Compilación datos encuesta	106
Tabla 31 Clasificación de las causas	108
Tabla 32 Clasificación de planos	109
Tabla 33 Plan de entrenamiento TPM.....	118
Tabla 34 Plan para el desarrollo de actividades del sistema de mantenimiento TPM	120
Tabla 35 Pasos para implantar la mantención autónoma	124
Tabla 36 Compra de equipo.....	133
Tabla 37 Actividades a realizar para la implementación del mantenimiento autónomo....	142
Tabla 38 Venta equipo baja rotación.....	144
Tabla 39 Capacitación Implementación TPM	147
Tabla 40 Capacitación Implementación 5s.....	147
Tabla 41 Capacitaciones Mensuales.....	148
Tabla 42 Mantenimiento áreas de soporte	148
Tabla 43 Prevención del mantenimiento	149
Tabla 44 Mantenimiento de calidad	149
Tabla 45 Mantenimiento planificado	150
Tabla 46 Mantenimiento autónomo	151

Tabla 47 Mejoras enfocadas	151
Tabla 48 Costos de proyecto.....	152
Tabla 49 Beneficios.....	153
Tabla 50 Costo / Beneficio	153

FIGURAS

Figura 1 Ubicación de la empresa	23
Figura 2 Organigrama.....	25
Figura 3 Diagrama de proceso	33
Figura 4 Ejemplo de diagrama de Ishikawa.....	36
Figura 5 Representación gráfica del diagrama Pareto	39
Figura 6 Ejemplo de histograma	41
Figura 7 Ejemplo de Diagrama de Gantt	45
Figura 8 Pilares del TPM.....	50
Figura 9 Fórmula de disponibilidad	52
Figura 10 Fórmula de disponibilidad total.....	52
Figura 11 Fórmula disponibilidad avería.....	53
Figura 12 Fórmula MTBF	53
Figura 13 Fórmula MTTR	53
Figura 14 Fórmula índice de mantenimiento programado	54
Figura 15 Formúla índice de mantenimiento correctivo	54
Figura 16 Fórmula Beneficio Costo	54
Figura 17 Cálculo de la muestra.....	58
Figura 18. Desviación estándar	58

Figura 19 Ecuación de cálculo de la muestra.....	64
Figura 20 WBS de la investigación.....	67
Figura 21 Diagrama de Gantt.....	68
Figura 22 Estrategia de diseño de un sistema de mantenimiento	70
Figura 23 Mapeo de procesos	71
Figura 24 Diagrama de Procesos.....	72
Figura 25 Diagrama de flujo mantenimiento.....	74
Figura 26 Diagrama Pareto Maquinaria Eléctrica.....	77
Figura 27 Diagrama Pareto Equipo Especial	78
Figura 28 Gráfico Movimientos de compresores.....	81
Figura 29 Gráfico Movimientos de esmeriladora grande 9”	83
Figura 30 Gráfico Movimientos de esmeriladora grande 4+1/2”	85
Figura 31 Gráfico Movimientos lijadora orbital	87
Figura 32 Gráfico Movimientos lijadora vibración.....	89
Figura 33 Gráfico Movimientos máquinas de plasma.....	91
Figura 34 Gráfico Movimientos máquinas inversoras	93
Figura 35 Gráfico movimientos máquinas mig.....	95
Figura 36 Gráfico movimientos máquinas welding	97
Figura 37 Gráfico movimientos taladro corriente.....	99
Figura 38 Gráfico movimientos taladro percusión.....	101
Figura 39 Diagrama de Ishikawa	103
Figura 40 Fórmula Población Infinita	104
Figura 41 Cálculo de Muestras Poblaciones Finitas	104
Figura 42 Cálculo de la muestra.....	105

Figura 43 Diagrama de Pareto	107
Figura 44 Actividades en un sistema con TPM	119
Figura 45 Áreas de impacto del TPM.....	121
Figura 46 Cronograma de capacitaciones.....	128
Figura 47 Organigrama.....	129
Figura 48 Casa TPM.....	130
Figura 49 Cronograma de implementación de la metodología 5s.....	132
Figura 50 Cronograma de mantenimiento preventivo.....	134
Figura 51 Hoja de Registro de Intervenciones Mantenimiento	135
Figura 52 Control de órdenes de trabajo	136
Figura 53 Cronograma de Mantenimiento de calidad	138
Figura 54 Cronograma de mantenimiento planificado	141
Figura 55 Metodología ciclo de mejora continua	143
Figura 56 Cronograma de implementación	145

RESUMEN EJECUTIVO

Para el desarrollo de la propuesta de diseño de un sistema de mantenimiento productivo total, para asegurar disponibilidad de los equipos de la empresa Equipos y Mantenimiento Pedro Sobalbarro Sanchez S.A., se observó la necesidad de intervenir el proceso con el fin de encontrar mejoras que permitan perfeccionar el método actual de la compañía.

El objetivo de este proyecto es el desarrollo de un plan de mantenimiento para mejorar la disponibilidad y rendimiento de las maquinarias en los proyectos, lo que a su vez busca que los equipos cumplan con sus funciones operativas de manera eficiente, permitiendo culminar los proyectos en los plazos establecidos sin incurrir en gastos no presupuestados, por ende lograr mejorar tanto los ingresos de la empresa como la percepción que tiene el cliente sobre el servicio brindado.

Actualmente se tienen problemas de falta de capacidad para cumplir con lo demandado por el cliente, por lo que se han experimentado faltantes en la prestación de alquiler de maquinaria, se tiene un total de ventas no realizadas de ¢4.939.664,00 en promedio por mes en los meses del 2017.

Este faltante de máquinas se debe a que la compañía actualmente aplica un sistema de mantenimiento correctivo. Este tipo de mantenimiento es el que se ocupa de la reparación de la maquinaria y equipos especiales una vez se ha producido una falla; ello provoca que los operarios se queden varados por varios horas y causen daños en la producción lo cual afecta la calidad del producto y la planificación de manera incontrolada.

El propósito es mejorar la productividad de las máquinas y equipos de la empresa Equipos y Mantenimientos Pedro Sobalbarro Sánchez S.A. Se recomendó la implementación de un mantenimiento productivo total, con el fin de aprovechar el tiempo y la manera en la que se le da mantenimiento a las máquinas, pues actualmente no se cuenta con un plan de mantenimiento debidamente diseñado para esta labor.

Para determinar el estado de implementación que se pretende alcanzar, se estableció un programa por etapas el cual determina las actividades referentes a este trabajo y las actividades pendientes por responsabilidad de la empresa como complemento a los objetivos propuestos.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

La presente investigación es efectuada en una organización ubicada en el sector de Curridabat, conocida como Equipos y Mantenimientos Pedro Sobalbarro Sánchez S.A. Esta empresa cuenta con dos años en el territorio costarricense, durante los cuales, ha venido creciendo en el alquiler de maquinaria y equipo especial.

En el primer capítulo de este estudio se menciona que debido a que la empresa cuenta con una corta trayectoria, no cuenta con un plan de mantenimiento adecuado para su maquinaria y equipo especial. Esto ocasiona diarios y constantes reprocesos que terminan afectando a sus clientes y, por consiguiente, incrementan los costos de mantenimiento y ponen a su vez en riesgo mayor la seguridad de los mismos operarios. De esta manera, las empresas no cumplen con los objetivos por los cuales fue fundada la organización.

En el segundo apartado se explica todo el marco teórico sobre el cual se basa el problema y los objetivos planteados que serán la base del estudio. Así como cada una de las herramientas a utilizar y ciertos conceptos básicos que forman parte del proceso analizado. Posteriormente, se encuentra el marco metodológico, el cual es de gran importancia ya que define cada uno de los procedimientos a seguir para la solución oportuna del problema propuesto. También, plantea cuál debe ser el origen de los datos, dónde recolectarlos, qué instrumentos de medición usar y cuáles son las variables a considerar.

Seguidamente, en la cuarta sección se profundiza el problema trazado por medio de la aplicación de herramientas ingenieriles. Y se presenta todo el análisis de la investigación del proceso productivo de la empresa. Una vez desarrollado este proceso, se brindarán las conclusiones y recomendaciones pertinentes que buscan una mejora en el plan de mantenimiento de Equipos y Mantenimientos Pedro Sobalbarro Sánchez S.A., que influirían en una disminución en la cantidad de reprocesos e incumplimientos con el cliente que hoy día se generan.

Finalmente, se procede a realizar la propuesta final, la cual indicará cuáles son los siguientes pasos a seguir por parte de la compañía para la mejora de su situación actual. Este proyecto será respaldado por el análisis económico como lo es el beneficio-costos, en el cual se da a conocer la inversión inicial de la oferta; los costos en los cuales se deberá incurrir y por supuesto, las ventajas que se obtendrán.

Por consiguiente el objetivo de este proyecto es el de diseñar un plan de mantenimiento preventivo-predictivo para los de los equipos de la empresa Equipos y Mantenimientos Pedro Sobalbarro Sánchez S.A, que se dedica a alquilar maquinaria y equipo especial, enfocado a prestar un excelente servicio.

La línea de investigación está enfocada en la propuesta de mejora del plan de mantenimiento, basado en el diseño, desarrollo y mejoramiento del proceso, aplicando como base la metodología TPM. Para el caso en estudio, se aplicará la metodología a una empresa dedicada a la prestación de alquiler de maquinaria y equipo especial. Esto permitirá aumentar la confiabilidad y disponibilidad de los equipos, llevando a cabo un mantenimiento planeado, reducir costos de mantenimiento y la disminución de reparaciones por fallos. También se mejorarán las condiciones de seguridad de los operarios de las máquinas y equipo especial.

Generalidades de la empresa

Historia de la empresa

Equipos y Mantenimientos Pedro Sobalbarro Sánchez S.A., es una empresa relativamente nueva, se fundó en el 2016 en un establecimiento ubicado en Curridabat, con el fin de suplir una necesidad y una oportunidad de negocio que les brindaba la empresa hermana Estructuras y Construcciones Yeril S.A. En el mercado había espacio y demanda de una compañía de alquiler y venta de equipo para construcción; esta brindará excelentes equipos y sobre todo un servicio de primera calidad.

Es así como, con muy pocos equipos, se inició la travesía de emprender un negocio del cual realmente en aquel entonces no se sabía más que se contaba con buenos equipos y se debía brindar un excelente servicio. Y es justamente esos dos factores los que con los años han ido formando una empresa que ofrece a los clientes calidad y respaldo en todo momento con la garantía merecida.

Gracias al arduo y continuo trabajo de todo el personal y fiel apoyo de los clientes, día con día se crece hasta convertirse en la empresa número uno del país en alquiler y venta de equipo para construcción.

Servicios brindados.

Es una empresa que se dedica al alquiler de Maquinaria y Equipo Especial para cumplir las necesidades, ayudándolos a lograr el éxito en su proyecto.

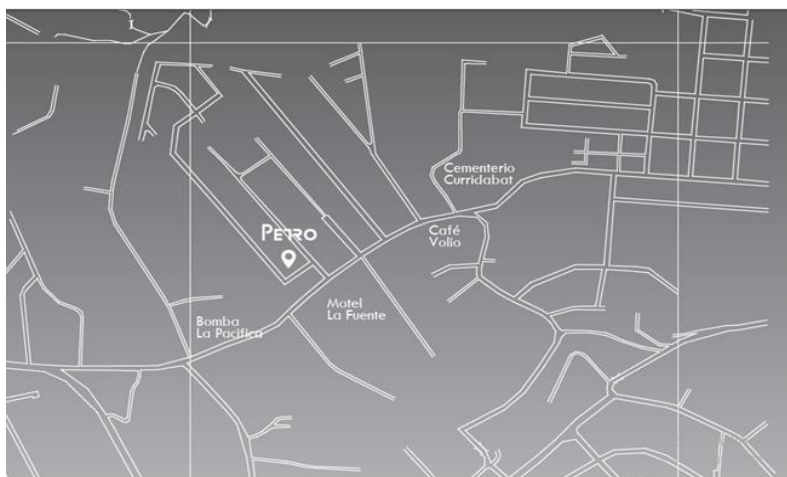
Cuentan con:

- Grúas con Camión de hasta 50 TON.
- Manipuladoras Telescópicas 5 TON.
- Montacargas de hasta 7 TON.
- Alquiler de Back Hoe / Personal especializado para Movimientos de Tierra - Alquiler de Vagonetas.
- Servicio de Transporte / Fletes; cuentan con el equipo necesario para movimientos dentro del territorio nacional y con una flotilla de camiones que se adaptan a cualquier necesidad.

Ubicación de la empresa.

Las oficinas de Equipos y Mantenimientos Pedro Sobalbarro Sánchez S.A., se encuentran dentro de las oficinas del Grupo Yeril, De la bomba La Pacífica 550mts Este/50mts Norte, Barrio San José, Curridabat.

Figura 1 Ubicación de la empresa



Nota: Empresa Equipos y Mantenimientos Pedro Sobalbarro Sanchez S.A.

La Figura 1 Ubicación de la empresa, muestra un mapa de la localización actual de la empresa Equipos y Mantenimientos Pedro Sobalbarro Sánchez S.A.

Estructura Organizacional

La estructura organizacional, es decir, la estructura formal de una empresa, es la forma en que los órganos y cargos están distribuidos en los distintos niveles (grados) y en los diversos departamentos de la empresa. La estructura organizacional es compleja y puede ser representada gráficamente mediante el organigrama (Lusthaus, 2002, p. 87).

Clases de organigrama.

Existen varias clases de organigramas, pero solo se mencionarán los más empleados en el medio público y privado.

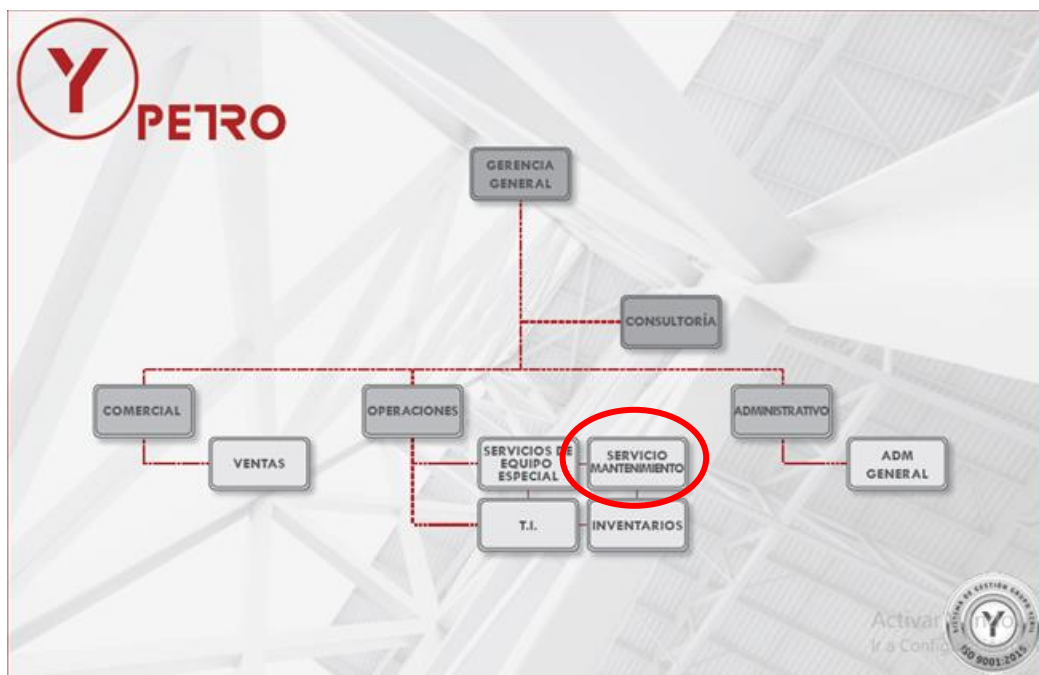
Por la forma, el organigrama puede ser:

- Vertical.
- Horizontal.
- AFNOR.
- Circular.
- Radial o Sectorial.

Continuando con el autor anterior Lustaus (2002), el organigrama vertical tiene forma de pirámide regular. Es el más utilizado en la diagramación de estructuras organizacionales. El máximo puesto jerárquico se ubica en el vértice superior de la pirámide, y los siguientes descienden en jerarquía hasta la base.

Este organigrama es el que se maneja en la empresa Equipos y Mantenimientos Pedro Sobalbarro Sánchez S.A., en cual se encuentra ilustrado en el siguiente enunciado.

Figura 2 Organigrama



Nota: Empresa Equipos y Mantenimientos Pedro Sobalbarro Sanchez S.A.

La Figura 2 Organigrama, representa internamente a la empresa tal y como está organizada de acuerdo con la estructura funcional que se presenta; se mantiene en todos los casos consistencia entre los cargos. La zona marcada en rojo, es donde se va a desarrollar el proyecto.

La empresa es presidida por el dueño, en un nivel inferior se encuentra la gerencia general que es ocupada por el hijo. En el siguiente nivel se ubican 3 departamentos que atienden cada uno su especialidad:

- Comercial: lo conforma una persona que se encarga de realizar las cotizaciones y cerrar las ventas de alquilar maquinaria y equipo especial.
- Operaciones: este departamento tiene la (zona de impacto) se divide en cuatro secciones, servicios de equipo especial, T.I., servicio de mantenimiento, inventarios.
- Administrativo: asume todas las funciones de apoyo en cuanto administración y finanzas.

Es importante indicar que se cuenta con una consultoría externa en temas legales y financieros, ya que no se posee un departamento que los administre.

Misión

Brindar de forma correcta y justa, para satisfacer las necesidades de nuestros clientes a través de un compromiso integral.

Visión

Brindar el mejor servicio e innovación del mercado, ofreciéndole a nuestros clientes una satisfacción completa en todas las etapas de sus proyectos.

Planteamiento del Problema

La empresa Equipos y Mantenimientos Pedro Sobalbarro Sánchez S.A., es una organización relativamente nueva, la cual se encarga de brindar servicios de alquiler de maquinaria y equipo especial. Algunas de sus actividades internas no cuentan con una adecuada organización y estructuración; dentro de las cuales se encuentra la del mantenimiento de los equipos.

La compañía actualmente aplica un sistema de mantenimiento correctivo. Este se ocupa de la reparación de la maquinaria y equipos especiales una vez se ha producido una falla, esto provoca que los operarios se queden varados por varios horas y haya daños en la producción lo cual afecta la calidad del producto y la planificación de manera incontrolada.

Por ese motivo, la compañía se ve en la obligación de diseñar e implementar un plan de mantenimiento que sea adecuado a sus equipos, maquinaria y procesos, que les permita mantener sus herramientas en estados óptimos para brindar servicios oportunos y de calidad a sus clientes, consiguiendo así, satisfacer la demanda y asegurando un mayor control en sus procesos. Sin embargo, lo mencionado anteriormente no deja de ser una lucha de todos los días para la empresa, por lo que se plantea la siguiente interrogante:

¿Cómo asegurar disponibilidad de los equipos de la empresa Equipos y Mantenimiento Pedro Sobalbarro Sánchez S.A., mediante el diseño de un programa de mantenimiento para garantizar un servicio oportuno?

Objetivos

Objetivo general

Diseñar una propuesta para el mejoramiento del sistema de mantenimiento de los equipos de la empresa Equipos y Mantenimiento Pedro Sobalbarro Sanchez S.A., para garantizar servicio oportuno.

Objetivos específicos

- Describir el plan de mantenimiento de la empresa con el que cuentan actualmente.
- Identificar los indicadores de mantenimiento de la empresa.
- Evaluar las causas de los problemas detectados en la compañía.

Justificación

Un adecuado plan de mantenimiento independientemente del tipo de negocio que sea, su dimensión y la cantidad de recursos que se relacionan entre sí, trae de la mano una serie de ventajas que son fácilmente notorias. Como lo es, por ejemplo, una mayor duración tanto de los equipos como de las instalaciones, una reducción en los costos de reparaciones y lograr uniformidad en cuanto a la carga de trabajo para el personal encargado del mantenimiento se refiere, esto gracias a la programación de actividades. Es decir, una mejora en la disponibilidad de las máquinas y equipos especiales, acompañada de una disminución de los costos por mantenimiento, permitirá obtener beneficios, que redundan en una filosofía de mejoramiento continuo, una mayor rentabilidad operacional y un menor impacto ambiental, todo lo cual permitirá mejorar la competitividad de la empresa.

Lo anterior mencionado, es lo que se pretende lograr en Equipos y Mantenimiento Pedro Sobalbarro Sánchez S.A., pues al visitar por primera vez la compañía, se observa que el mantenimiento se realizan bajo un sistema correctivo, el cual no le permite mantener niveles adecuados de calidad y productividad.

Este proceso de mantenimiento y la forma de aplicación era la principal causa de que se presentaran diferentes situaciones e inconvenientes que afectaban considerablemente el proceso de producción de los clientes de la empresa Equipos y Mantenimiento Pedro Sobalbarro Sánchez S.A. La compañía debe prestar el servicio de alquiler de la maquinaria y equipo especial que semanalmente en promedio ronda las 7 406 horas máquina y de las cuales por fallos no se puede brindar el servicio por 370 horas máquina, por lo cual esta dejando de percibir en monto ¢1 140 800 00. Ello significa que del 100% de las horas máquina, un 5% se pierde por los fallos, traslados de máquinas para reponer las que se dañan y esto a su vez genera un servicio deficiente, pérdida de horas laborales al cliente y atrasos en la producción.

Aunque esta empresa es pequeña y está surtida con maquinaria, encontró en el mantenimiento correctivo una solución idónea pensando en el corto plazo, ya que, el gerente de producción pensaba que las máquinas no iban a presentar daños significativos en los dos primeros años de funcionamiento de la compañía.

Por otra parte, al encontrarse laborando bajo un ambiente desordenado, la motivación de los colaboradores y su concentración se ve afectada; por ende, se genera gran cantidad de reparaciones defectuosas que posteriormente deben volver a reparar. Como parte de los reprocesos que se generan, el personal pierde gran parte de su jornada laboral en esta actividad.

Con la realización del presente estudio, se pretende mitigar esta situación y efectuar un diseño de un plan de mantenimiento para tener un registro de todos los aspectos que conciernen al mantenimiento de las instalaciones y equipos, haciendo una relación detallada de las actividades que necesita un bien y los costos e intervalos de tiempo para optimizar su funcionamiento y facilitar las actividades de la organización.

Antecedentes

A continuación se señalan varias investigaciones realizadas en el área de estudio, cabe destacar que en la empresa nunca se han realizado estudios relacionados con temas de ingeniería industrial, por ende, no ha habido investigaciones previas acerca de planes de mantenimiento. A continuación se mencionan los antecedentes encontrados.

En el año 2013 se realizó un proyecto académico titulado “Gestión de Mantenimiento en pymes industriales”, preparado por Alexis Ortiz Useche, Carlos Rodríguez Monroy y Henry Izquiero (Useche, Monroy, & Henry, 2013, pp. 86-104).

Para el año 2010 se desarrolló otro proyecto académico titulado “ La gestión de los activos físicos en la función mantenimiento”, elaborado por el estudiante Ángel P. Sánchez- Rodríguez (Rodríguez, 2010, pp. 72-78).

También el año 2010 se efectuó otro proyecto académico titulado “Técnicas de mantenimiento predictivo utilizados en la industria”, preparado por los profesores William Olarte C., Marcela Botero A., Benhur Cañon A. (C., A., & A., 2010, pp. 223-226).

Por último en el año 2011 se elaboró otro proyecto académico titulado “El control de procesos industriales y su influencia en el mantenimiento Ingeniería Industrial”, preparado por el estudiante Aurelio Arbildo López (López, 2011, pp. 35-49).

Proyecciones

Para efectos de esta investigación, se visualizan los siguientes aspectos:

- ✓ Mantener los equipos e instalaciones en condiciones operativas eficaces y seguras.
- ✓ Efectuar un control del estado de los equipos, así como de su disponibilidad.
- ✓ Realizar los estudios necesarios para reducir el número de averías imprevistas.
- ✓ Efectuar una previsión de los repuestos de almacén necesarios.
- ✓ Se espera cuantificar en términos monetarios cómo se ve afectada la organización al incurrir en el pago de horas extra con gran frecuencia.
- ✓ Se entregará una estimación del incremento de productividad esperado con la puesta en marcha de las propuestas.
- ✓ Finalmente, se aspira la entrega de dicha mejora junto a un análisis de costo-beneficio, el cual evidencie que la propuesta es viable económicamente y que realmente traerá grandes ventajas a la empresa.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

En este apartado se dan a conocer los conceptos y teorías propuestas por autores más relevantes, realizando una descripción detallada de cada uno de los elementos esenciales de la teoría por emplear para el desarrollo del presente proyecto, de tal manera que la formulación del problema y su solución sean una deducción lógica del estudio realizado. Por lo tanto, para la correcta comprensión del estudio, seguidamente se exponen aspectos claves que facilitan el entendimiento del desarrollo del tema a tratar.

Antes de empezar a indagar en los puntos más específicos acerca del TPM, el proyecto se introducirá desde lo más fundamental con una serie de herramientas que brindará un panorama general de cómo se encuentra la empresa hoy en día. De esta manera, el mapeo de procesos, diagrama de procesos, diagrama de flujo, pareto, Ishikawa, histogramas, cálculos de productividad, sentarán la base para ir encontrando secciones de mejora. Los mismos son descritos a continuación:

Mapeo de Procesos

Para (Urbina, 2015) esta herramienta es:

El mapeo de un proceso es una representación gráfica y secuencial de los diferentes pasos o etapas de un proceso, y puede limitarse a un subproceso, a un proceso específico o ampliarse a toda la organización, y se realiza con apoyo de un diagrama. Con el mapeo se persigue el propósito fundamental de identificar todos los pasos y movimientos para ver cuáles son fundamentales y cuáles son innecesarios, lo que permite la simplificación y racionalización en el uso de los recursos. La representación gráfica del proceso facilita su visualización y favorece la eliminación de pasos que no agregan valor y la detección de cuellos de botella. Mapear un proceso existente permite el rediseño de un nuevo proceso y la redefinición de su trayectoria hacia una operación más eficiente (pp. 99-100).

Acorde con (Goinard, 2014), el mapeo de proceso sirve para permite identificar los procesos medulares en el núcleo de una empresa, es una dase indispensable para después garantizar el control y el manejo permanente (p.73).

Los pasos para realizar un mapeo de proceso son los siguientes, conforme con (Goinard, 2014):

- Hacer una lista de clientes.
- Enumerar lo que la empresa proporciona y pone a disposición de sus clientes.
- Trabajar en los procesos de las áreas de especialidad. ¿Cuáles son los procesos que garantizan la satisfacción de las necesidades de los clientes?, ¿cuál es la esencia de la labor de la empresa tal y como la perciben los clientes?
- Listar las fases de apoyo que harán posible el funcionamiento de los procesos de las áreas de especialidad, y las que permiten disponer los recursos necesarios, como competencias, materias primas, medios, energía, etcétera.
- Registrar los procesos gerenciales que dinamizan el sistema.
- Validar los mapas, esclareciendo los límites de los procesos, por ejemplo, entradas y salidas.
- Hacer una confirmación definitiva con ayuda de las matrices FEE (funciones, estrategias, expectativas de los clientes).

Diagrama de procesos

El diagrama de proceso es un esquema gráfico que sirve para describir un proceso y la secuencia general de operaciones que se suceden para configurar el producto. Es un diagrama descriptivo que sirve para dar una visión general de cómo transcurre el proceso (Torrents, Vilda, & Postils, 2004, p. 88).

De acuerdo con (Gutiérrez Pulido & de la Vara Salazar, 2009) por medio de este diagrama es posible ver en qué consiste el proceso y cómo se relacionan las diferentes actividades; asimismo, es de utilidad para analizar y mejorar el proceso (p.165).

1.1 Material sea comprado (se utiliza la línea horizontal al lado izquierdo de la línea vertical).

1.2 Material sea procesado dentro de la planta, se debe indicar hacia la izquierda todo el proceso que se aplica al material.

2. En un diagrama siempre debe existir una línea principal, esta línea corresponde al componente o parte más importante del producto y es la que tiene el mayor número de actividades.

3. Después de la entrada de un material siempre hay una operación, nunca otra actividad.

4. Desmontaje: cuando un producto se divide en su componente este se indica como una salida de material posterior a la operación de desmontaje y se representa con una línea horizontal a la derecha de la línea vertical de flujo; por esta línea van las partes más pequeñas del material desmontado. Los materiales más grandes continúan por la línea vertical. Cuando ocurre un desmontaje se pueden presentar dos casos puntuales.

4.1 El material desmontado no vuelve a entrar en el proceso de producción. Esta salida se representa únicamente con una línea horizontal hacia la derecha y por la línea vertical continúa el proceso de producción.

4.2 El material desmontado vuelve a integrarse al proceso de producción. Se debe representar el proceso que se hace al material desmontado a la derecha de la línea vertical de flujo.

5. En caso de intersección en la línea de flujo, interrumpir la línea horizontal y trazar un semicírculo en la intersección.

6. Varias alternativas. Después de una actividad, generalmente de inspección, se puede presentar:

6.1 Productos que se aceptan sin trabajo adicional.

6.2 Productos que se aceptan después de un trabajo adicional que se deben representar a la derecha de la línea vertical de flujo.






6.3 Productos rechazados totalmente que nunca vuelven al proceso y se representan a la izquierda de la línea vertical de flujo.

7. Cambio de unidad: cuando se está realizando una inspección de un proceso puede ocurrir un cambio en la unidad de producción, esto se representa interrumpiendo la línea vertical de flujo colocando dos líneas horizontales y entre estas dos líneas se debe colocar la descripción de la unidad.

8. Todo diagrama debe llevar una numeración, las actividades se enumeran utilizando una serie para cada una de las actividades (operaciones, inspecciones, transportes), se enumera en el orden que van apareciendo, comenzando por la línea principal, que es la más cercana a la derecha (Goinard, 2014, págs. 180-181).

En Figura 3 Diagrama de proceso se muestra un ejemplo que describe un ensamble de un producto sencillo.

Figura 3 Diagrama de proceso

	Transporte: cualquier operación que implique el desplazamiento del producto de un lugar a otro.
	Almacenaje (o stock): depósito del producto en un lugar fijo durante un periodo de tiempo en general largo
D	Espera (parecido al stock): el producto espera un tiempo (en general no muy largo) entre una operación y otra.
	Control: el producto sufre una inspección de cualquier tipo. En general se asocia con comprobaciones de calidad.
	Valor añadido: el producto sufre una transformación que le añade valor.
	Operación combinada. Se utilizan símbolos combinados para indicar operaciones simultáneas

Nota: Manual práctico de diseño de sistemas productivos

Diagrama de flujo

Una representación gráfica de la secuencia de los pasos o actividades de un proceso, incluidos transportes, inspecciones, esperas, almacenamientos y actividades de reproceso. Por medio de este diagrama, se ve en qué consiste el proceso y cómo se relacionan las diferentes actividades; es de especial utilidad para analizar y mejorar el proceso (Pulido, 2010, pp. 199-200).

Pasos para la construcción del diagrama de flujo.

1. Identificar y establecer el propósito.

Se debe indicar claramente de qué procesos se trata, quién o quiénes lo han confeccionado, la fecha y el objetivo.

2. Determinar el nivel de detalle.

El grado de detalle al que se debe apuntar es aquel que no deja espacios en blanco pero que tampoco llega a un nivel excesivo, que no aportará luego nada al mejoramiento del proceso.

3. Definir los límites.

Dado que un proceso necesariamente se enlaza con otros en algún punto, se debe poner un límite que estará dado por el ámbito de los objetivos de optimización.

4. Convenir los símbolos a utilizar.

El flujograma, como buena herramienta gráfica que es, lleva siempre una serie de símbolos con su correspondiente significado.

5. Crearlo.

Cuando se va a realizar un flujograma, así como cuando se está en su confección, puede ser útil hacerse estas preguntas:




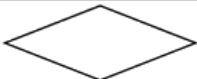



- ¿Qué es lo primero que ocurre?
- ¿Qué es lo siguiente que ocurre?
- ¿Qué es lo último que ocurre?
- ¿De dónde viene el servicio o el material?
- ¿Cómo el servicio o el material llega al proceso?
- ¿Quién toma las decisiones?
- ¿Qué pasa si la decisión es sí?
- ¿Qué pasa si la decisión es no?
- ¿Adónde va el producto o servicio de esta operación?
- ¿Qué revisiones o verificaciones se realizan en cada parte del proceso?

6. Verificar

En el caso de utilizarlo en la etapa de mejora del proceso, una vez finalizado el flujograma que da la “fotografía” de cómo se está haciendo actualmente. (Cuevas, pp. 24-26)

Este instrumento de análisis, está basado en una simbología específica para cada actividad, tal y como se puede apreciar en la Tabla 1 Simbología de diagrama de flujo.

Tabla 1 Simbología de diagrama de flujo

SIMBOLO	REPRESENTA
	Inicio o término. Indica el principio o el fin del flujo, puede ser acción o lugar, además se usa para indicar una unidad administrativa o persona que recibe o proporciona información.
	Actividad. Describe las funciones que desempeñan las personas involucradas en el procedimiento.
	Documento. Representa un documento en general que entre, se utilice, se genere o salga del procedimiento.
	Decisión o alternativa. Indica un punto dentro del flujo en donde se debe tomar una decisión entre dos o más alternativas.
	Archivo. Indica que se guarda un documento en forma temporal o permanente.
	Conector de página. Representa una conexión o enlace con otra hoja diferente, en la que continúa el diagrama de flujo.
	Conector. Representa una conexión o enlace de una parte del diagrama de flujo con otra parte lejana del mismo.

Nota: International Organization for Standardization (ISO)

Diagrama de Ishikawa

Un diagrama de Ishikawa es una herramienta usada una vez establecido y delimitado un problema importante. Consiste en un método gráfico en el que se define con claridad la relación que existe entre el problema en estudio, es decir, el efecto y las causas que lo desarrollan. Clasifican las causas según las 6M, siendo estas: máquina, materiales, método de trabajo, mano de obra, mediciones y medio ambiente (Pulido, 2010, p. 192).

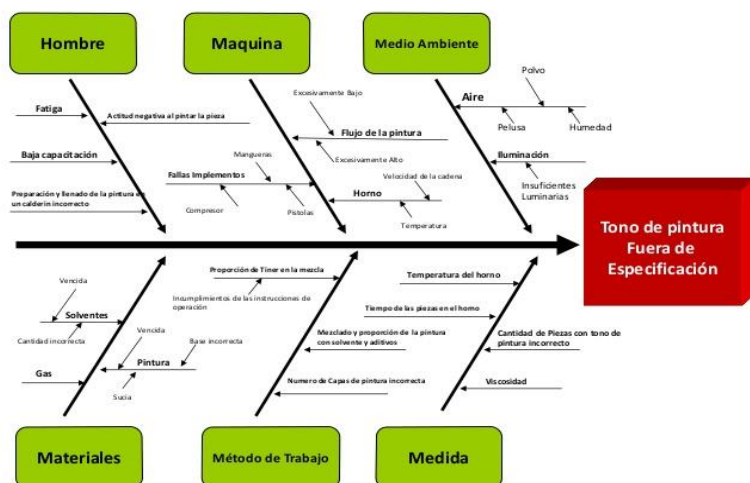
La importancia de este diagrama radica en que obliga a buscar las diferentes causas que afectan el problema bajo análisis y, de esta forma, se evita el error de buscar de manera directa las soluciones sin cuestionar cuáles son las verdaderas causas. El uso del diagrama de Ishikawa (DI), con las tres herramientas que se han visto en las secciones anteriores, ayudará a no dar por obvias las causas, sino que se trate de ver el problema desde diferentes perspectivas (Gutiérrez Pulido & de la Vara Salazar, 2009, pág. 152).

Método de las 6 M

El método de las 6 M es el más común y consiste en agrupar las causas potenciales en seis ramas principales (6 M): métodos de trabajo, mano o mente de obra, materiales, maquinaria, medición y medio ambiente. Como se vio en el capítulo 1, estos seis elementos definen de manera global todo proceso y cada uno aporta parte de la variabilidad del producto final, por lo que es natural esperar que las causas de un problema estén relacionadas con alguna de las 6 M (Gutiérrez Pulido & de la Vara Salazar, 2009, pág. 152).

En la Figura 4 Ejemplo de diagrama de Ishikawa se aprecia un ejemplo de la estructura que se debe seguir para la creación de este tipo de diagrama:

Figura 4 Ejemplo de diagrama de Ishikawa



Nota: Ronald Medina.

Pasos para la construcción de un diagrama de Ishikawa.

1. Especificar el problema a analizar. Se recomienda que sea un problema importante y, de ser posible, que ya esté delimitado mediante la aplicación de herramientas como Pareto y estratificación. También es importante que se tenga la cuantificación objetiva de la magnitud del problema.

2. Seleccionar el tipo de DI que se va a usar. Esta decisión se toma con base en las ventajas y desventajas que tiene cada método.

3. Buscar todas las probables causas, lo más concretas posible, que pueden tener algún efecto sobre el problema. En esta etapa no se debe discutir cuáles causas son más importantes; por el momento, el objetivo es generar las posibles causas. La estrategia para la búsqueda es diferente según el tipo de diagrama elegido, por lo que se debe proceder de acuerdo con las siguientes recomendaciones:

- Para el método 6 M: trazar el diagrama de acuerdo con la estructura base para este método e ir preguntándose y reflexionando acerca de cómo los diferentes factores o situaciones de cada M pueden afectar el problema bajo análisis.

- Método flujo del proceso: construir un diagrama de flujo en el que se muestre la secuencia y el nombre de las principales operaciones del proceso que están antes del problema, e iniciando de atrás hacia delante. Es preciso preguntarse: ¿qué aspectos o factores en esta parte del proceso afectan al problema especificado?

- Método enumeración de causas: mediante una lluvia de ideas generar una lista de las posibles causas y después agruparlas por afinidad. Es preciso representarlas en el diagrama, considerando que para cada grupo corresponderá una rama principal del diagrama; también, se asigna un título representativo del tipo de causas en tal grupo.

4. Una vez representadas las ideas obtenidas, es necesario preguntarse si faltan algunas otras causas aún no consideradas; si es así, es preciso agregarlas.

5. Decidir cuáles son las causas más importantes mediante diálogo y discusión respetuosa y con apoyo de datos, conocimientos, consenso o votación del tipo 5,3,1. En este tipo de votación cada participante asigna 5 puntos a la causa que considera más importante, 3 a la que le sigue, y 1 a la tercera en importancia; después de la votación se suman los puntos, y el grupo deberá enfocarse en las causas que recibieron más puntos.

6. Decidir sobre cuáles causas se va a actuar. Para ello se toma en consideración el punto anterior y lo factible que resulta corregir cada una de las causas más importantes. Con respecto a las causas que no se decida actuar debido a que es imposible por distintas circunstancias, es importante reportarlas a la alta dirección.

7. Preparar un plan de acción para cada una de las causas a ser investigadas o corregidas, de tal forma que determine las acciones que se deben realizar; para ello se puede usar nuevamente el DI. Una vez determinadas las causas, se debe insistir en las acciones para no caer en sólo debatir los problemas y en no acordar acciones de solución (Gutiérrez Pulido & de la Vara Salazar, 2009, pp. 158-159) .

Diagrama de Pareto

(Gutiérrez Pulido & de la Vara Salazar, 2009) define la Ley de Pareto como:

Un gráfico especial de barras cuyo campo de análisis o aplicación son los datos categóricos, y tiene como objetivo ayudar a localizar el o los problemas vitales, así como sus principales causas. La idea es que cuando se quiere mejorar un proceso o atender sus problemas, no se den “palos de ciego” y se trabaje en todos los problemas al mismo tiempo atacando todas sus causas a la vez, sino que, con base en los datos e información aportados por un análisis estadístico, se establezcan prioridades y se enfoquen los esfuerzos donde éstos tengan mayor impacto (p.140).

Un diagrama de Pareto, según el UNIT (2009) está conformado por una serie de etapas a seguir, que son declaradas en las próximas líneas:

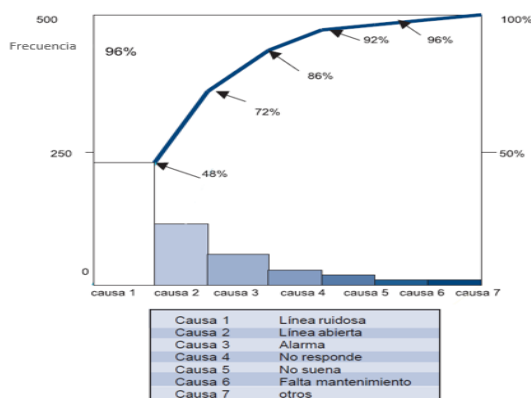
- Se seleccionan los elementos por estudiar.
- Se selecciona la unidad de medición para el análisis, por ejemplo: cantidad de sucesos, costos u otra medición de impacto.

- Se selecciona el período de tiempo en que se van a analizar los resultados obtenidos.
- Se hace un listado de los elementos desde la izquierda hacia la derecha sobre el eje horizontal, de modo que disminuya la magnitud de la unidad de medición. Las categorías que contienen los elementos menores pueden combinarse en una categoría denominada «otros». Esta categoría se coloca en el extremo derecho del eje.
- Se construyen dos ejes verticales, uno en cada extremo del eje horizontal. La escala del eje izquierdo debería estar calibrada en la unidad de medición y su altura debería ser igual a la suma de las magnitudes de todos los elementos. La escala sobre el eje derecho debe tener la misma altura y calibrarse de 0 a 100%.
- Se dibuja, encima de cada elemento, un rectángulo cuya altura representa la magnitud de la unidad de medición para ese elemento.
- Se construye la curva de frecuencia acumulada, sumando las magnitudes de cada elemento, de izquierda a derecha.
- Se usa el diagrama de Pareto para identificar los elementos más importantes para la mejora de la calidad (pp.29-30).

En la

Figura 5 Representación gráfica del diagrama Pareto, se presenta un ejemplo de cómo debería lucir un diagrama de Pareto para priorizar las causas de un problema, con base en las descripciones anteriores:

Figura 5 Representación gráfica del diagrama Pareto



Nota: Instituto Uruguayo de Normas Técnicas (UNIT)

Histogramas

Un histograma es un gráfico de barras que muestra la distribución estadística que presentan los datos. En el eje horizontal se representa el rango (valor máximo – valor mínimo) posible de valores que abarca la variable, dividido en un número determinado de intervalos, que dependerá del número de datos que se tienen de la variable. En el eje vertical se representa la frecuencia o número de datos que existen en cada intervalo (Cuatrecasas Arbós, 2012, págs. 593-594).

Dependiendo de la distribución estadística de los datos o la variable estadística pueden aparecer histogramas gaussianos, exponenciales, etc., lo que facilitaría su análisis por ser distribuciones muy conocidas (Cuatrecasas Arbós, 2012, pág. 594).

Según (Gutiérrez Pulido & de la Vara Salazar, 2009) comúnmente el histograma se obtiene a partir de la tabla de frecuencias. Para obtener ésta, primero se divide el rango de variación de los datos en cierta cantidad de intervalos que cubren todo el rango, y después se determina cuántos datos caen en cada intervalo. Se recomienda que el número de intervalos o clases sea de 5 a 15. Para decidir un valor entre este rango existen varios criterios; por ejemplo, uno de ellos dice que el número de clases debe ser aproximadamente igual a la raíz cuadrada del número de datos. Otro criterio, conocido como la regla de Sturges, señala que el número de clases es igual a $1 + 3.3 \cdot \log_{10}(\text{número de datos})$ (p.24).

Un Histograma según (Gutiérrez Pulido & de la Vara Salazar, 2009) ayuda a ver la tendencia central de los datos, facilita el entendimiento de la variabilidad y favorece el pensamiento estadístico, ya que de un solo vistazo se logra tener una idea acerca de la capacidad de un proceso, se evitan tomar decisiones solo apoyándose en la media y se detectan datos raros y formas especiales de la distribución de los datos. Estos detalles de la interpretación del histograma los se verán con mayor profundidad a continuación (p.25).

Interpretación del histograma

Cuando un histograma se construye de manera correcta, es resultado de un número suficiente de datos (de preferencia más de 100), y éstos son representativos del estado del proceso durante el periodo de interés; entonces, se recomienda considerar los siguientes puntos en la interpretación del histograma (Gutiérrez Pulido & de la Vara Salazar, 2009, págs. 25-28).

1. Observar la tendencia central de los datos: Localizar en el eje horizontal o escala de medición las barras con mayores frecuencias.

2. Estudiar el centrado del proceso: Para ello, es necesario apoyarse en el punto anterior y observar la posición central del cuerpo del histograma con respecto a la calidad óptima y a las especificaciones.

3. Examinar la variabilidad del proceso: Consiste en comparar la amplitud de las especificaciones con el ancho del histograma. Para considerar que la dispersión no es demasiada, el ancho del histograma debe caber de forma holgada en las especificaciones.

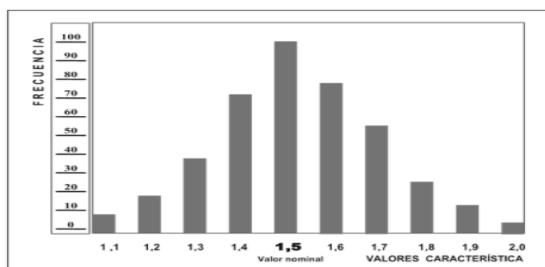
4. Analizar la forma del histograma: al observar un histograma considerar que la forma de distribución de campana es la que más se da en salidas de proceso y tiene características similares a la distribución normal.

5. Datos raros o atípicos: una pequeña cantidad de mediciones muy extremas o atípicas son identificadas con facilidad mediante un histograma, debido a que aparecen una o más barras pequeñas bastante separadas o aisladas del resto.

6. Estratificar: en ocasiones, en el histograma no se observa ninguna forma particular pero existe mucha variación y, en consecuencia, la capacidad del proceso es baja. Cuando los datos proceden de distintas máquinas, proveedores, lotes, turnos u operadores, puede encontrarse información valiosa si se hace un histograma por cada fuente (estratificar), con lo que se podrá determinar cuál es la máquina o el proveedor más problemático (Gutiérrez Pulido & de la Vara Salazar, 2009, pág. 28).

En la Figura 6 Ejemplo de histograma se aprecia uno:

Figura 6 Ejemplo de histograma



Nota: Lluís Cuatrecasas Arbós

Muestreo de aceptación

Acorde con (Rodríguez J. J., 2013) la inspección de materias primas, productos semielaborados o elaborados, forma parte importante de la calidad de un producto. Cuando el plan de muestreo es la aceptación o el rechazo de un producto, el procedimiento de inspección que se utilizan se llama muestreo por aceptación.

El método de muestreo por aceptación es un método de eficacia probada que se utiliza para decidir si se acepta o se rechaza un lote de producción determinado (p13).

El muestreo por aceptación es útil cuando:

- La prueba es destructiva.
- El costo de una inspección al 100% es muy alto.
- La inspección de muchos artículos y la tasa de errores de inspección es lo suficientemente alta para una inspección al 100% (Rodríguez J. J., 2013, pág. 13).

Tipos de muestreo de aceptación

Muestreo de aceptación por atributos.

En el plan de muestreo por atributos (n, c), se inspeccionan muestras aleatorias de n unidades, tomadas de lotes de tamaño N , y se observa el número de unidades defectuosas d en las muestras, tomando la decisión:

- Si el número de unidades defectuosas d es menor o igual que c , se acepta el lote.
- Si el número de unidades defectuosas d es mayor que c , se rechaza el lote.

Según el número de etapas, los planes de muestreo por aceptación se clasifican en muestreos simples, dobles, múltiples, secuenciales y continuos (Rodríguez J. J., 2013).

Muestro simple.

En el plan de muestreo simple consiste en extraer una muestra aleatoria de tamaño n , e inspeccionarla sobre la base de aceptación o rechazo para encontrar c o menos unidades defectuosas.

- Si en la muestra se encuentran c o menos unidades defectuosas, el lote es aceptado.
- Si en la muestra hay más de c unidades defectuosas, el lote es rechazado.

Muestreo doble.

Un plan de muestreo doble tiene dos etapas. En la primera etapa, se selecciona una muestra inicial y se toma una decisión basada en la información de esta muestra. Esta decisión puede llevar a tres alternativas:

- Aceptar el lote
- Rechazar el lote
- Tomar una segunda muestra y combinar la información de ambas muestras para decidir sobre la aceptación o el rechazo del lote.

Un plan de muestreo doble está definido por N : tamaño del lote; n_1 : tamaño de la primera muestra; c_1 : número de aceptación para la primera muestra; n_2 : tamaño de la segunda muestra y c_2 : número de la aceptación para las dos muestras.

Muestreo múltiple

Un plan de muestreo múltiple es una ampliación de concepto de muestreo doble a varias fases, en el que pueden necesitarse más de dos muestras para llegar a tomar una decisión con el lote. Los tamaños de la muestra suelen ser menores que en un muestreo simple o doble.

Muestreo secuencial

Un plan de muestreo secuencial es una ampliación del muestreo múltiple a un número elevado de fases (teóricamente infinito), en el que se van seleccionando unidades del lote de una en una y según la inspección de cada unidad, se toma la decisión de aceptar, rechazar el lote o seleccionar otra unidad para seguir inspeccionando.

Las líneas de aceptación/rechazo se calculan a partir de dos puntos específicos, que definen el plan de muestreo:

- El nivel de calidad aceptable (NCA) corresponde a que los productos deben ser aceptados con una alta probabilidad de aceptación del lote, siendo esta normalmente del 95%.
- El nivel de calidad rechazable (NCR) es aquel donde el producto debe ser aceptado con una probabilidad baja que se puede fijar en un 10%.

Muestreo continuo

El muestreo continuo se utiliza cuando el flujo del producto es continuo y no es factible formar lotes. En este tipo de muestreo se especifican dos parámetros: la frecuencia de control f y un número i , que representa las unidades sucesivas sin defectos.

La frecuencia f se expresa como $1/10$, $1/20$, $1/X$, etc. e i es un número como 20 ó 50.

Cuando se inicia la inspección, el producto se revisa al 100% hasta una cantidad de i unidades libres de defectos. En este momento, uno de cada X es inspeccionado (Rodríguez J. J., 2013, págs. 15-17).

Muestreo de aceptación por variables.

En los planes de muestreo de aceptación por variables, se toma una muestra aleatoria del lote y se mide una característica de calidad (longitud, peso, etc.). Con las mediciones se calcula un estadístico, que generalmente está en función de la media, la desviación estándar muestral, las especificaciones, y el valor de este estadístico se compara con un valor crítico, para aceptar o rechazar (Rodríguez J. J., 2013, pág. 20).

Diagrama de Gantt

El diagrama de Gantt será usado como una herramienta para la planeación del proyecto una vez que ya se ha seleccionado cuál es la propuesta más factible. En tal sentido, servirá para indicarle a la organización cuáles son las actividades que deben efectuarse y en qué tiempo deberá realizarse cada una de ellas. Del mismo modo, será útil para proyectar la investigación con cada uno de sus entregables (en el marco metodológico), con el fin de llevar un adecuado seguimiento y cumplimiento de las fechas pactadas.

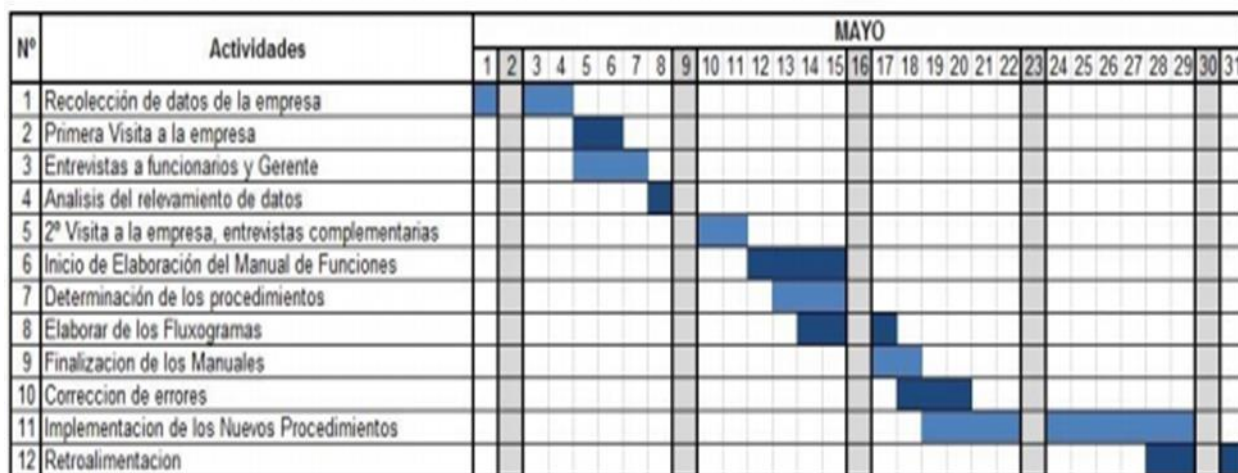
Según (Díaz, 2005) un diagrama de Gantt consiste en una representación gráfica de la extensión de las actividades del proyecto sobre dos ejes: en el eje vertical se disponen las tareas del proyecto y en el horizontal se representa el tiempo (p.83).

Cada actividad se representa mediante un bloque rectangular cuya longitud indica su duración; la altura carece de significado. La posición de cada bloque en el diagrama indica los instantes de inicio y finalización de las tareas a que corresponden.

Se acostumbra rellenar de otro color los bloques correspondientes a tareas de camino crítico (Díaz, 2005, p. 83).

El procedimiento anterior explicado se puede observar gráficamente en la Figura 7 Ejemplo de Diagrama de Gantt:

Figura 7 Ejemplo de Diagrama de Gantt



Nota: Karen Handl

Metodología 5S

Como parte de las soluciones al problema de la empresa, se propondrá el uso de la metodología conocida como 5S. Tal y como es señalado por (Evans & Lindsay, 2008):

Las 5S se derivan de los términos japoneses: *seiri* (clasificar), *seiton* (poner en orden), *seiso* (brillar), *seiketsu* (estandarizar) y *shitsuke* (sostener). Definen un sistema para la organización y estandarización del lugar de trabajo. Clasificar se refiere al hecho de garantizar que cada elemento de un lugar de trabajo esté en el lugar apropiado, o bien, se identifica como innecesario y se elimina. Poner en orden significa arreglar los materiales y el equipo de modo que sea fácil encontrarlos y utilizarlos. Brillar se refiere a un área de trabajo limpia. Esto no sólo es importante para la seguridad, sino que, al limpiar el área de trabajo, los problemas de mantenimiento, como fugas de aceite, se pueden identificar antes de que cause problemas. Estandarizar significa formalizar los procedimientos y prácticas para crear consistencia y asegurarse de que todos los pasos se realizan en forma correcta. Por último, sostener significa mantener el proceso funcionando a través de las estructuras de capacitación, comunicación y organización (p.521).

Las 5s, según (Hernández Matías & Vizán Idoipe, 2013) resume los principios básicos y su implementación en cinco pasos o fases, que se explican en las próximas líneas:

Eliminar (Seiri)

La primera de las 5S significa clasificar y eliminar del área de trabajo todos los elementos innecesarios o inútiles para la tarea que se realiza. La pregunta clave es: “¿es esto útil o inútil?”. Consiste en separar lo que se necesita de lo que no y controlar el flujo de cosas para evitar estorbos y elementos prescindibles que originen despilfarros como el incremento de manipulaciones y transportes, pérdida de tiempo en localizar cosas, elementos o materiales obsoletos, falta de espacio, etc. En la práctica, el procedimiento es muy simple ya que consiste en usar unas tarjetas rojas para identificar elementos susceptibles de ser prescindibles y se decide si hay que considerarlos como un desecho.

Ordenar (Seiton)

Consiste en organizar los elementos clasificados como necesarios, de manera que se encuentren con facilidad, definir su lugar de ubicación identificándolo para facilitar su búsqueda y el retorno a su posición inicial. La actitud que más se opone a lo que representa seiton, es la de “ya lo ordenaré mañana”, que acostumbra a convertirse en “dejar cualquier cosa en cualquier sitio”. La implantación del seiton comporta:

- Marcar los límites de las áreas de trabajo, almacenaje y zonas de paso.
- Disponer de un lugar adecuado, evitando duplicidades; cada cosa en su lugar y un lugar para cada cosa.

Limpieza e inspección (Seiso)

Seiso significa limpiar, inspeccionar el entorno para identificar los defectos y eliminarlos, es decir, anticiparse para prevenir defectos. Su aplicación comporta:

- Integrar la limpieza como parte del trabajo diario.
- Asumir la limpieza como una tarea de inspección necesaria.
- Centrarse tanto o más en la eliminación de los focos de suciedad que en sus consecuencias.
- Conservar los elementos en condiciones óptimas, lo que supone reponer los elementos que faltan (tapas de máquinas, técnicas, documentos, etc.), adecuarlos para su uso más eficiente (empalmes rápidos, reubicaciones, etc.), y recuperar aquellos que no funcionan (relojes, utillajes, etc.) o que están reparados “provisionalmente”. Se trata de dejar las cosas como “el primer día”.

Estandarizar (Seiketsu)

La fase de seiketsu permite consolidar las metas una vez asumidas las tres primeras “S”, porque sistematizar lo conseguido asegura unos efectos perdurables. Estandarizar supone seguir un método para ejecutar un determinado procedimiento de manera que la organización y el orden sean factores fundamentales. Un estándar es la mejor manera, la más práctica y fácil de trabajar para todos, ya sea con un documento, un papel, una fotografía o un dibujo. El principal enemigo del seiketsu es una conducta errática, cuando se hace “hoy sí y mañana no”, lo más probable es que los días de incumplimiento se multipliquen.

Para implantar una limpieza estandarizada, el procediendo puede basarse en tres pasos:

- Asignar responsabilidades sobre las 3S primeras. Los operarios deben saber qué hacer, cuándo, dónde y cómo hacerlo.
- Integrar las actividades de las 5S dentro de los trabajos regulares.

- Chequear el nivel de mantenimiento de los tres pilares. Una vez se han aplicado las 3S y se han definido las responsabilidades y las tareas a hacer, hay que evaluar la eficiencia y el rigor con que se aplican.

Disciplina (Shitsuke)

Shitsuke se puede traducir por disciplina y su objetivo es convertir en hábito la utilización de los métodos estandarizados y aceptar la aplicación normalizada. Su aplicación está ligado al desarrollo de una cultura de autodisciplina para hacer perdurable el proyecto de las 5S. Este objetivo la convierte en la fase más fácil y más difícil a la vez. La más fácil porque consiste en aplicar regularmente las normas establecidas y mantener el estado de las cosas. La más difícil porque su aplicación depende del grado de asunción del espíritu de las 5S a lo largo del proyecto de implantación (Hernández Matías & Vizán Idoipe, 2013, págs. 38-41).

Asimismo, existe un indicador clave para sustentar el diagnóstico de la investigación; como ha sido formulado en los objetivos específicos, se estudiarán los índices de productividad actuales para ver cómo un inadecuado manejo del mantenimiento esta incidiendo sobre ellos. Dado a que de los resultados de la productividad total no pueden tomarse decisiones con profundidad, lo que se aplicará son productividades parciales. De seguida, se parte definiendo el concepto de productividad y productivida parcial, así como su forma de calcularlo.

Mantenimiento Productivo Total (TPM)

Según (Matías & Idoipe, 2013), es un conjunto de técnicas orientadas a eliminar las averías a través de la participación y motivación de todos los empleados. La idea fundamental es que la mejora y buena conservación de los activos productivos es una tarea de todos, desde los directivos hasta los ayudantes de los operarios (p.41).

Objetivo del TPM

El objetivo del TPM (mantenimiento productivo total) es asegurar que el equipo de fabricación se encuentre en perfectas condiciones y que continuamente produzca componentes de acuerdo a los estándares de calidad en un tiempo de ciclo adecuado. La idea fundamental es que la mejora y buena conservación de los activos productivos es una tarea de todos, desde los directivos hasta los ayudantes de los operarios.

El *lean manufacturing* exige que cada máquina esté lista para empezar a trabajar en cualquier momento en respuesta a los requerimientos de los clientes (Carreras & García, 2010, pp. 139-140).

Existen tres tipos de mantenimiento, continuando con lo que indican los autores se van a definir.

Mantenimiento planificado.

El mantenimiento rutinario y periódico, basado en valoraciones correctas de las condiciones del equipo, debe ser planificado en función de las prioridades y los recursos actuales y futuros. El mantenimiento planificado eficiente y efectivo en cuanto al coste, requiere la estrecha colaboración de todos los departamentos implicados (Carreras & García, 2010, p. 141).

Mantenimiento preventivo.

La finalidad del mantenimiento preventivo es la reducción del número de paradas derivadas de averías. En su planteamiento tradicional, el mantenimiento preventivo se basa en paradas programadas para realizar una inspección detallada y para sustituir las piezas desgastadas este mantenimiento, el inconveniente de este mantenimiento además de parar la producción, es que el trabajo de inspección puede causar desajustes, desequilibrios, o incluso averías (Carreras & García, 2010, p. 143).

Mantenimiento predictivo.

Según (Carreras & García, 2010) el mantenimiento predictivo consiste en la detección y diagnóstico de averías antes de que estas se produzcan, con el fin de programar paradas para reparaciones en los momentos oportunos. En otras palabras, sirve para diagnosticar las condiciones del equipo cuando está en marcha y determinar cuándo requiere mantenimiento (p.143).

Las actividades esenciales para realizar TPM

Hay cinco actividades de un total de doce que se pueden identificar, que son fundamentales para que el programa tenga éxito.

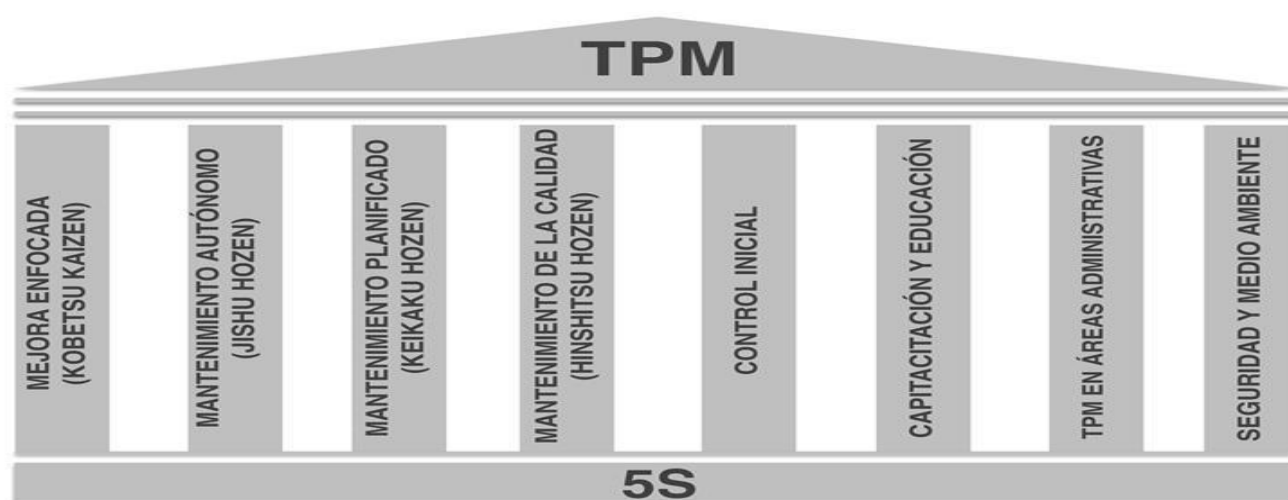
El programa debe ser implementado teniendo muy en cuenta las características de la industria, el método de producción, el estado del equipo y los problemas que son más habituales.

Estas actividades son:

1. Mejorar la efectividad de cada equipo. Seleccionar un equipo o familia de equipos y formar un Grupo de Tarea para hacer el análisis de su funcionamiento y llevar a cabo la eliminación de las Seis Grandes Perdidas logrando con ello el mejoramiento de su efectividad.
2. Implantar la mantención autónoma por los operadores. Promover que se realicen trabajos de mantención por parte de pequeños grupos de terreno.
3. Implantar un buen sistema de administración de la mantención que tenga bajo control todas las funciones como planificación, programación, abastecimiento de repuestos, herramientas, manuales de taller, etc. Y que establezca trabajos periódicos de mantención preventiva o sintomática.
4. Definir e implementar programas de capacitación para mejorar los conocimientos y destrezas de operadores y personal de mantención.
5. Establecer un sistema para diseñar y producir equipos o componentes que permita llevar a la práctica las mejoras que se propongan en confiabilidad, mantenibilidad y ciclo económico de vida (Park, 2001, p. 265).

Figura 8 Pilares del TPM se refleja lo siguiente:

Figura 8 Pilares del TPM



Nota: CDI Lean

Pasos para la implementación del TPM

El paso previo a la implantación del TPM en una planta es la creación de un ambiente adecuado para ello; en Japón esto supone alcanzar tres objetivos denominados 3Y, según la fonética nipona: *yakuki*, *yaduude*, *yoruba*.

- *Yakuki*: motivación o cambio de actitud de la persona involucrada en el proyecto.
- *Yaruude*: competencia, habilidad o destreza para desarrollar las tareas asignadas.
- *Yoruba*: entorno de trabajo propicio y en ningún caso hostil (Carreras & García, 2010, p. 149).

Paso 1: Volver a situar la línea en su estado inicial.

Volver a situar la línea en su estado inicial quiere decir dejar la línea en las condiciones en las que nos la entregó el proveedor la primera vez de su puesta en marcha, es decir, una línea limpia, sin manchas de aceite, grasa, polvo, etc.

Paso 2: Eliminar las fuentes de suciedad y las zonas de difícil acceso.

Las fuentes de suciedad (fugas de aire o de aceite, caídas de componentes, virutas de metal, etc.), hay que considerarlas como causas de mal funcionamiento de los equipos, aunque está claro que unas repercutirán más que otras en el rendimiento de las instalaciones.

Paso 3: Aprender a inspeccionar el equipo.

Para el proceso de implementación del TPM es fundamental que la parte productiva poco a poco se vaya encargando de más tareas propias de mantenimiento, hasta llegar a trabajar de forma autónoma. Para ello, hay que formar a los operarios de la línea de producción en el funcionamiento de las máquinas.

Paso 4: Mejora.

En este paso los operarios de producción realizan las tareas de TPM de forma autónoma, se hacen cargo de las herramientas necesarias y proponen mejoras en las máquinas que afecten a nuevos diseños de la línea (Carreras & García, 2010, págs. 149-153).

Indicadores de mantenimiento

Disponibilidad total.

Según (Carreras & García, 2010) Es sin duda el indicador más importante en mantenimiento, y por supuesto, el que más posibilidades de 'manipulación' tiene. Si se calcula correctamente, es muy sencillo: es el cociente de dividir el n° de horas que un equipo ha estado disponible para producir y el n° de horas totales de un periodo, la fórmula es la siguiente:

Figura 9 Fórmula de disponibilidad

$$\text{Disponibilidad} = \frac{\text{Horas totales} - \text{Horas de parada por mantenimiento}}{\text{Horas totales}}$$

Nota: Carreras & García.

Continuando con el autor anterior Carreras & García (2010), en plantas que estén dispuestas por líneas de producción en las cuales la parada de una máquina supone la paralización de toda la línea, es interesante calcular la disponibilidad de cada una de las líneas, y después calcular la media aritmética.

En plantas en las que los equipos no estén dispuestos por líneas, es interesante definir una serie de equipos significativos, pues es seguro que calcular la disponibilidad de absolutamente todos los equipos será largo, laborioso y no nos aportará ninguna información valiosa. Del total de equipos de la planta, se deben seleccionar aquellos que tengan alguna entidad o importancia dentro del sistema productivo.

Una vez obtenida la disponibilidad de cada uno de los equipos significativos, debe calcularse la media aritmética, para obtener la disponibilidad total de la planta. La fórmula es la siguiente (p50):

Figura 10 Fórmula de disponibilidad total

$$\text{Disponibilidad Total} = \frac{\sum \text{Disponibilidad de equipos significativos}}{\text{Número de equipos significativos}}$$

Nota: Carreras & García.

Disponibilidad por averías.

Intervenciones no programadas. La disponibilidad por avería no tiene en cuenta, pues, las paradas programadas de los equipos (Carreras & García, 2010, pág. 50).

Figura 11 Fórmula disponibilidad avería

$$\text{Disponibilidad Avería} = \frac{\text{Horas totales} - \text{Horas de parada por avería}}{\text{Horas totales}}$$

Nota: Carreras & García

La disponibilidad por avería no tiene en cuenta, pues, las paradas programadas de los equipos. Igual que en el caso anterior, es conveniente calcular la media aritmética de la disponibilidad por avería, para poder ofrecer un dato único (Carreras & García, 2010, p. 50).

MTBF (mid time between failure, tiempo medio entre fallos).

Nos permite conocer la frecuencia con que suceden las averías:

Figura 12 Fórmula MTBF

$$\text{MTBF} = \frac{\text{Número de horas totales del periodo del tiempo analizado}}{\text{Número de averías}}$$

Nota: Carreras & García

MTTR (mid time to repair, tiempo medio de reparación).

Permite conocer la importancia de las averías que se producen en un equipo, considerando el tiempo medio hasta su solución:

Figura 13 Fórmula MTTR

$$\text{MTTR} = \frac{\text{Número de horas de paro por avería}}{\text{Número de averías}}$$

Nota: Carreras & García

Índice de Mantenimiento Programado.

Porcentaje de horas invertidas en realización de Mantenimiento Programado sobre horas totales.

Figura 14 Fórmula índice de mantenimiento programado

$$IMP = \frac{\text{Horas dedicadas a mantenimiento programado}}{\text{Horas totales a mantenimiento programado}}$$

Nota: Carreras & García

Índice de Mantenimiento Correctivo.

Porcentaje de horas invertidas en realización de Mantenimiento Correctivo sobre horas totales (Carreras & García, 2010, pág. 51).

Figura 15 Formúla índice de mantenimiento correctivo

$$IMC = \frac{\text{Horas dedicadas a mantenimiento correctivo}}{\text{Horas totales a mantenimiento correctivo}}$$

Nota: Carreras & García

Comparación de los costos y justificación.

Relación Beneficio-Costo.

Para (Horne & John M., 2010) el índice de rentabilidad o relación beneficio-costo “es el valor presente de los flujos de efectivo netos futuros respecto del desembolso inicial de efectivo. El índice se puede expresar como lo visualizado en la Figura 16 Fórmula Beneficio Costo:

Figura 16 Fórmula Beneficio Costo

$$PI = \frac{\sum_{t=1}^n \frac{A_t}{(1+k)^t}}{A_0}$$

Nota: James C. Van Horne

Mientras el índice de rentabilidad se 1,00 o mayor, la propuesta de inversión será aceptable” (p.152-153).

CAPÍTULO III. MARCO METODOLÓGICO

Dentro del presente apartado, se detalla y especifica la manera en que es realizado el presente proyecto y cada uno de los aspectos influyentes que deben seguirse para resolver el problema que ha sido planteado. Por ejemplo, se muestran los puntos como el enfoque y el diseño que sigue la investigación. Se establece el lugar y el tipo de muestreo a realizar, así como las variables de estudio ligada a cada uno de los objetivos específicos, entre otros aspectos importantes como el cronograma y un presupuesto que indica los recursos a invertir (Hernández, Fernández, & Baptista, 2014).

Enfoque

El enfoque cualitativo se guía por áreas o temas significativos de investigación. Los estudios cualitativos pueden desarrollar preguntas antes, durante o después de la recolección de datos y el análisis. Con frecuencia estas actividades sirven, primero para descubrir cuáles son las preguntas de investigación más importantes, y después para perfeccionarlas y responderlas. La acción indagatoria es dinámica en ambos sentidos: entre los hechos y su interpretación, y resulta un proceso más circular en el que la secuencia no siempre es la misma, pues varía con cada estudio (Hernández, Fernández, & Baptista, Metodología de la investigación, 2014, p. 7).

El enfoque cuantitativo representa un conjunto de procesos, es secuencial y probatoria, por lo que se no puede eludir ninguno de sus pasos. El orden es riguroso, pero sí se puede redefinir alguna fase. Parte de una idea que va acotándose y, una vez delimitada, se derivan objetivos y preguntas de investigación, se revisa la bibliografía y se construye un marco o una perspectiva teórica. De las preguntas se establecen hipótesis y se determinan variables. Posteriormente, se traza un plan para probarlas (diseño) y se miden las variables en un determinado contexto. Las mediciones obtenidas se analizan utilizando métodos estadísticos y se extrae una serie de conclusiones en relación con las hipótesis (Hernández, Fernández, & Baptista, Metodología de la investigación, 2014, p. 4).

(Hernández, Fernández, & Baptista, Metodología de la investigación, 2014) resume el enfoque mixto como aquel que se utiliza evidencia de datos numéricos, verbales, textuales, visuales, simbólicos y de otras clases, para entender problemas en las ciencias (p. 534).

La presente investigación rige bajo un enfoque cuantitativo debido a que está basada en un proceso secuencial, deductivo, probatorio y objetivo. Se dice que es secuencial, ya que lleva un orden cronológico y estructurado. Como se ha efectuado hasta el momento, se parte de la generación de una idea, luego se plantea el problema (en este caso en Equipos y Mantenimiento Pedro Sobalbarro Sánchez S.A.), para sustentarlo en un marco teórico. Una vez realizada esta sección, se miden las variables por medio de la recolección de datos, que van a ser analizados para finalmente buscarle una solución que permita mejorar el plan de mantenimiento actual.

Diseño

Investigación exploratoria

Se emplean cuando el objetivo consiste en examinar un tema poco estudiado o novedoso (Hernández, Fernández, & Baptista, Metodología de la investigación, 2014, p. 91).

Investigación descriptiva

Busca especificar propiedades y características importantes de cualquier fenómeno que se analice. Describe tendencias de un grupo o población (Hernández, Fernández, & Baptista, Metodología de la investigación, 2014, p. 92).

Investigación correlacional

Asocian variables mediante un patrón predecible para un grupo o población (Hernández, Fernández, & Baptista, Metodología de la investigación, 2014, p. 93).

Investigación explicativa

Pretenden establecer las causas de los sucesos o fenómenos que se estudian (Hernández, Fernández, & Baptista, Metodología de la investigación, 2014, p. 95).

Para el desarrollo del estudio actual se utilizarán los alcances descriptivo y explicativo. El primero, ya que se pretende describir el proceso de análisis, esto para aumentar el entendimiento y conocer detalladamente las partes de este. A su vez, se utilizará el alcance explicativo para exponer punto por punto las causas que están afectando al proceso. Además, se recogerá información de manera independiente en cada subproceso, para luego de esto obtener un mayor análisis que permita sacar conclusiones sobre qué está afectando, que solo se está haciendo mantenimiento preventivo.

Muestra de la Investigación

Según (Hernández, Fernández, & Baptista, Metodología de la investigación, 2014) es un subgrupo de la población de interés sobre el cual se recolectará datos, y que tiene que definirse y delimitarse de antemano con precisión, además de que debe ser representativo de la población (p.173).

La unidad de muestreo para el desarrollo de este proyecto es el numero de fallas de los equipos de la empresa, pues la deficiencia de estos son los que se van a medir para conocer el tiempo que se esta perdiendo y generando costos.

Por otra parte, se realizarán entrevistas al personal encargado y al supervisor del área, con el fin de identificar las actividades críticas, esto también servirá como punto de partida para estandarizar el método, mediante la creación de uno mas adecuado que permita disminuir las mudas del proceso.

Con la intención de establecer los mantenimientos, se debe capacitar y motivar a los operarios de la importancia de los TPM, para ello se necesita la colaboración del encargado de mantenimiento, este tiene la tarea de dar seguimiento, corregir y motivar al operario para trabajar bajo la metodología de los mantenimientos productivos para evitar los paros de los equipos.

Muestra probabilística

En las muestras probabilística, todos los elementos de la población tiene la misma posibilidad de ser escogidos para la muestra y se obtienen definiendo las características de la población y el tamaño de la muestra, y por medio de una selección aleatoria o mecánica de las unidades de muestreo/análisis (Hernández, Fernández, & Baptista, Metodología de la investigación, 2014, p. 175).

Aleatorio sistemático

Se selecciona un punto de partida y luego se elige cada k-ésimo elemento cálculo del tamaño de muestra.

Para el cálculo de los tiempos es importante resaltar que el estudio es para una actividad ya existente, lo que se desea con la toma de tiempo es conocer la situación actual, esto permitirá sacar un análisis con sus respectivas conclusiones. Luego de esto se van a plantear las mejoras para reducir el tiempo en al menos 1 día.

Para calcular el tamaño de la muestra es necesario sacar tiempos con anterioridad, estos van a ser la muestra preliminar, entre mayor sea la muestra más acertado será el resultado. Preliminarmente se iniciará con una muestra de 30 fallos, luego de esto se tabularán los resultados para sacar la respectiva muestra que se necesita aplicar finalmente, para ello se utilizará la fórmula mostrada en la Figura 17 Cálculo de la muestra.

Figura 17 Cálculo de la muestra

$$n = \left(\frac{40 \sqrt{n' \sum x^2 - \sum (x)^2}}{\sum x} \right)^2$$

Nota: Manual de tiempos y movimientos de ingeniería.

Donde:

n= Tamaño de la muestra que deseamos calcular

n' = Numero de observaciones preliminares

40= Constante para un nivel de confianza de 94,45%

Una vez realizado el cálculo respectivo, se procede a encontrar la desviación estándar de los tiempos para conocer la variabilidad como se indica en la Figura 18. Desviación estándar.

Figura 18. Desviación estándar

$$s = \sqrt{\frac{\sum T^2 - \frac{(\sum T)^2}{M}}{M - 1}}$$

Nota: Manual de tiempos y movimientos de ingeniería.

Donde:

S= Desviación estándar

T= Tiempo

M= Muestra

Variables

A continuación, se presenta en la tabla las variables para cada uno de los objetivos específicos que han sido establecidos en el capítulo uno. Luego se define, apegando a la teoría su conceptualización, para posteriormente ser operacionalizada con el uso de indicadores, los cuales son clave para determinar su forma de medición. Y por último, se concretan cuáles van a ser los instrumentos y su forma de aplicación dentro de la investigación.

En la Tabla 2 Variables se muestran dichas variables por cada uno de los objetivos planteados, así como su respectivo indicador para medir las mejoras y saber si fue posible alcanzar las metas o proyecciones establecidas, así como la instrumentación necesaria para lograrlo.

Tabla 2 Variables

Objetivo	Variable	Conceptual	Operacional	Instrumental
Describir el plan de mantenimiento de la empresa con el que cuentan actualmente.	Plan de mantenimiento	Según (Matías & Idoipe, 2013), es un conjunto de técnicas orientadas a eliminar las averías a través de la participación y motivación de todos los empleados (p.41).	$\frac{\text{Disponibilidad de equipos significativos}}{N \text{ de equipos significativos}}$	Informes
Identificar los indicadores de mantenimiento de la empresa.	Paros de máquinas	"Los paros pueden ser clasificados en forzados y no forzados , y en programados y no programados" (Lluís & Francesca, 2010, p. 217).	$\frac{\text{Tiempo de paro}}{\text{Tiempo total proceso}}$	Hoja de información.
Identificar los indicadores de mantenimiento de la empresa.	Mantenimiento programado	El mantenimiento rutinario y periódico, basado en valoraciones correctas de las condiciones del equipo, debe ser planificado en función de las prioridades y los recursos actuales y futuros(Carreras & García, 2010, p. 141).	$\frac{\text{Horas mantenimiento programado}}{\text{Horas totales mantenimiento}}$	Uso de registros.

	Mantenimiento correctivo	Es la serie de actividades que se requiere efectuar en las propiedades o activos de una empresa cuando dejan de proporcionar el servicio para el cual fueron diseñados (Medrano Márquez & González Ajuech, 2017)	$\frac{\text{Horas mantenimiento correctivo}}{\text{Horas totales mantenimiento correctivo}}$	Uso de registros.
	Tasa fallos por hora	La tasa de fallo $\lambda(t)$ es un estimador de la fiabilidad y se expresa frecuentemente en "avería/hora" (Lluís & Francesca, 2010).	$\frac{\text{cantidad de fallas}}{\text{tiempo de operación}}$	Hoja de información.
Evaluar las causas de los problemas detectados en la compañía.	Costo de prevención de errores.	"Son aquellos costos en que incurre una empresa, destinados a evitar, prevenir errores, fallas, desviaciones y/o defectos, durante cualquier etapa del proceso productivo y administrativo" (Burgos, García, et al., 1994, p.173).	$\frac{\text{Costo de Prevención}}{\text{Costo de mante. correctivo}}$	Informes.

	Jornadas perdidas	Proporción entre las horas perdidas por bajas laborales y las horas trabajadas (Lluís & Francesca, 2010).	$\frac{N \text{ de Jornadas pérdidas} \times 1000}{\text{Horas trabajadas}}$	Uso de registros.
Establecer el costo beneficio del proyecto.	Costos de evaluación	Para (Horne & John M., 2010) el índice de rentabilidad o relación beneficio-costo “es el valor presente de los flujos de efectivo netos futuros respecto del desembolso inicial de efectivo.	$\frac{\text{Costos de evaluación}}{\text{Costo totales del proyecto}}$	Hojas de información.

Nota: Alejandra Zelaya.

Instrumentos

Los instrumentos contemplan una parte muy importante en la investigación ya que a través de ellos es que cada una de las variables que se deriva de los objetivos puede ser medida eficientemente. Cada uno de ellos ha sido expresado brevemente en la tabla anterior, no obstante, se procede a definirlos de manera individual y ampliar su utilidad, es decir, por qué han sido seleccionados y la manera de cómo van a ser aplicados. Lo anterior explicado se puede observar en la Tabla 3 Instrumentos.

Tabla 3 Instrumentos

Indicador	Herramienta	Recursos	Beneficios esperados
$\frac{\text{Disponibilidad de equipos significativos}}{N \text{ de equipos significativos}}$	Informes mensuales de la disponibilidad del equipo.	Analista de la investigación, equipo de cómputo, historial de horas extras.	Conocer el porcentaje de disponibilidad de equipos.
$\frac{\text{Horas mantenimiento programado}}{\text{Horas totales mantenimiento}}$	Horas de un mes (registros recopilados).	Analista de la investigación, equipo de cómputo..	Estipular el porcentaje de horas en mantenimiento programado.
$\frac{\text{Horas mantenimiento correctivo}}{\text{Horas totales mantenimiento correctivo}}$	Horas de un mes (registros recopilados).	Analista de la investigación, equipo de cómputo.	Establecer el porcentaje de horas en mantenimiento correctivo.
$\frac{\text{Costo de Prevención}}{\text{Costo de mante. correctivo}}$	Informes, registros.	Analista de la investigación, equipo de cómputo.	Determinar los costos de mantenimiento.
$\frac{N \text{ de Jornadas pérdidas} \times 1000}{\text{Horas trabajadas}}$	Informes, registros.	Analista, equipo de cómputo.	Reducir el tiempo de jornadas pérdidas.
$\frac{\text{cantidad de fallas}}{\text{tiempo de operación}}$	Hoja de Información.	Analista de la investigación, equipo de cómputo.	Disminuir el tiempo de paro de fallas..
$\frac{\sum_{t=1}^n \frac{A_1}{(1+k)^t}}{A_0}$	Lluvia de ideas para la determinación de beneficios y costos	Reportes, analista de la investigación, equipo de cómputo.	Comprobar la viabilidad del proyecto.

$FF_0 + \frac{FF_1}{(1+k)}$ $+ \frac{FF_2}{(1+k)^2}$ $FF + VT$	Registros de producción y administración para el cálculo de flujos netos de efectivo.	Reportes, analista de la investigación, equipo de cómputo	Comprobar la viabilidad del proyecto.
$\frac{A_1}{(1+r)} + \frac{A_2}{(1+r)^2}$ $+ \dots \frac{A_n}{(1+r)^n}$	Registros de producción y administración para el cálculo de flujos netos de efectivo.	Reportes, analista de la investigación, equipo de cómputo	Comprobar la viabilidad del proyecto.
$\frac{\text{Costos de evaluación}}{\text{Costo totales del proyecto}}$	Hojas de información	Analista de la investigación, equipo de cómputo, historial de costos, reportes.	Conocer la viabilidad del proyecto.

Nota: Alejandra Zelaya.

Procesos para la recolección de datos

Con la información recolectada en la toma de tiempos mediante la utilización del software Minitab, se procederá a sacar el promedio con su respectiva desviación estándar, esto permitirá conocer el comportamiento del proceso.

Figura 19 Ecuación de cálculo de la muestra

$$n = \left(\frac{40 \sqrt{n' \sum x^2 - \sum (x)^2}}{\sum x} \right)^2$$

Nota: Manual de tiempos y movimientos de ingeniería

Donde:

n= Tamaño de la muestra que deseamos calcular

40= Constante de la fórmula

$\sum x^2$ = Sumatoria de x^2 cantidad de muestras

$\sum x$ = Sumatoria de muestras

Una vez obtenidos los resultados, se procede a delimitar las causas que están afectando el proceso mediante un diagrama de Ishikawa, así como la magnitud del problema por medio de diagramas de Pareto. De esta manera se delimitan los principales problemas que presenta el proceso; luego de eso, se procede a diseñar las mejoras que faciliten la mitigación de los puntos críticos del problema.

Se utilizará para analizar la información Excel, que permite realizar funciones estadísticas y gráficas. También, el software minitab, encargado de analizar, graficar y crear los diagramas de Pareto, Ishikawa, realizar los cálculos de la muestra, desviación estándar, entre otras funciones. Por último, el programa Visio, este permite crear los diagramas de flujos, mapeo de procesos, diagrama de procesos y cualquier otro diseño que se necesite realizar.

Recolección de la información

Para la recolección de información se llevarán a cabo; entrevistas a los operarios encargados del proceso y el supervisor, ya que son los involucrados en el problema y las personas que conocen las deficiencias del proceso, facilitando ideas y ayudando a encontrar los puntos críticos.

Se recolectarán tiempos como se habló en el punto de la muestra de la investigación, en la que se hace referencia a esto.

Por otro lado, se van a realizar Gembas, esto con ayuda del personal de la empresa, para obtener diferentes puntos de vistas e ideas que permitan mejorar el proceso.

Fuentes primarias.

Proporcionan datos de primera mano, pues se trata de documentos que contienen los resultados de estudios, como libros, antologías, artículos, monografías, tesis y disertaciones, documentos oficiales, etcétera (Hernández, Fernández, & Baptista, Metodología de la investigación, 2014, pág. 108).

Las fuentes primarias se refieren a todas las ayudas obtenidas en revistas, libros, los cuales brindan conocimiento al investigador para desarrollar las habilidades pertinentes que faciliten obtener información y la aplicación de las herramientas adecuadamente.

Fuentes secundarias.

Son listas, compilaciones y resúmenes de referencias o fuentes primarias publicadas en un área de conocimiento en particular, en las cuales se comentan sobre artículos, libros, tesis, disertaciones y otros documentos especializados (Hernández, Fernández, & Baptista, Metodología de la investigación, 2014, pág. 109).

Entrevistas.

Facilitan la obtención de la información, para el desarrollo del estudio actual se entrevistará a los expertos, al supervisor del área, a los operarios encargados del proceso para obtener información que sería difícil de ver sin tener tanto conocimiento en las operaciones.

Método de análisis

Una vez que los datos se han recolectado, es fundamental analizarlos apropiadamente sin desestimar el valor de ninguna interpretación. Esto servirá para generar las conclusiones y recomendaciones respectivas para el problema que se está estudiando. En esta sección, se va a describir cada uno de los métodos a emplear para efectuar este proceso, además de las características de los mismos y fórmulas a manejar para los datos de cada variable.

Diagramas ingenieriles

Para analizar en su totalidad el plan de mantenimiento (que constituye el primer objetivo específico), una vez que se han hecho las observaciones respectivas, se procederá a crear distintos tipos de diagramas, tales como: el mapeo de procesos, diagrama de proceso, diagrama de flujo, el diagrama de Ishikawa y Pareto, así como histogramas.

Microsoft Visio

Este método posee la versatilidad de crear un inmenso número de diagramas de forma profesional, rápida y organizada, sin importar el nivel de dificultad de cada uno de ellos. Ya que al mismo tiempo posee una gran variedad de plantillas que pueden ajustarse a las diferentes necesidades del usuario. Se usará para poner en marcha la mayor cantidad de los diagramas anteriormente mencionados.

Microsoft Excel

Este programa computacional famosamente conocido dentro del paquete de Office, permitirá el desarrollo de diferentes cálculos que pueden resultar complejos y que por ende, facilitan ampliamente su formulación ahorrando gran cantidad de tiempo. Esta herramienta va a ser usada para resolver entre otras estimaciones, el valor en la parte de evaluación económica del proyecto, ya que se calcularán los índices de beneficio/costo, el valor actual neto y la tasa interna de retorno.

Minitab

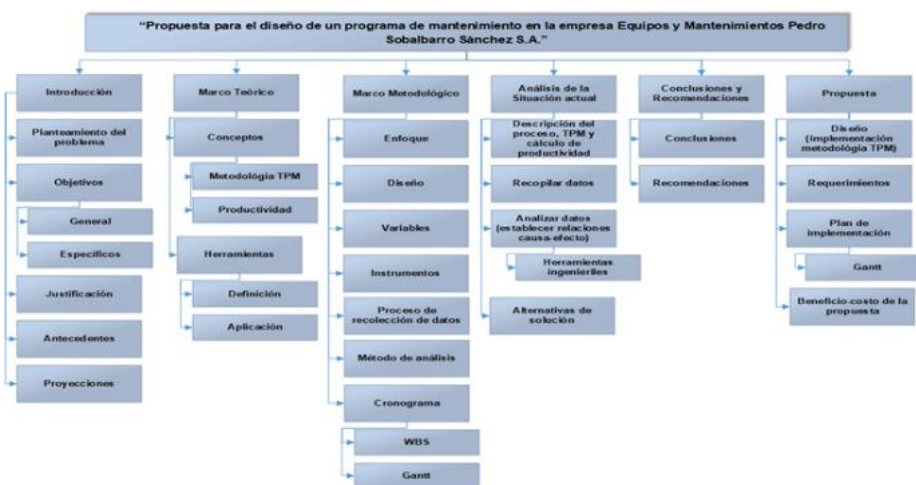
Constituye un software para la realización de múltiples cálculos estadísticos. Será aplicado al proyecto para procesar cierta información de manera expedita para una prueba conocida como chi cuadrado (relación de asociación entre dos variables). Por otra parte, este será el medio para la creación de los diagramas de Pareto.

Cronograma

El cronograma se presentará de dos formas distintas; la primera de ellas es a través de una Estructura de Descomposición de Trabajo (EDT) o Work Breakdown Structure (WBS), en la que se detalla lo abarcado en cada uno de los seis entregables de la investigación.

Esto es representado por medio de la Figura 21 Diagrama de Gantt.

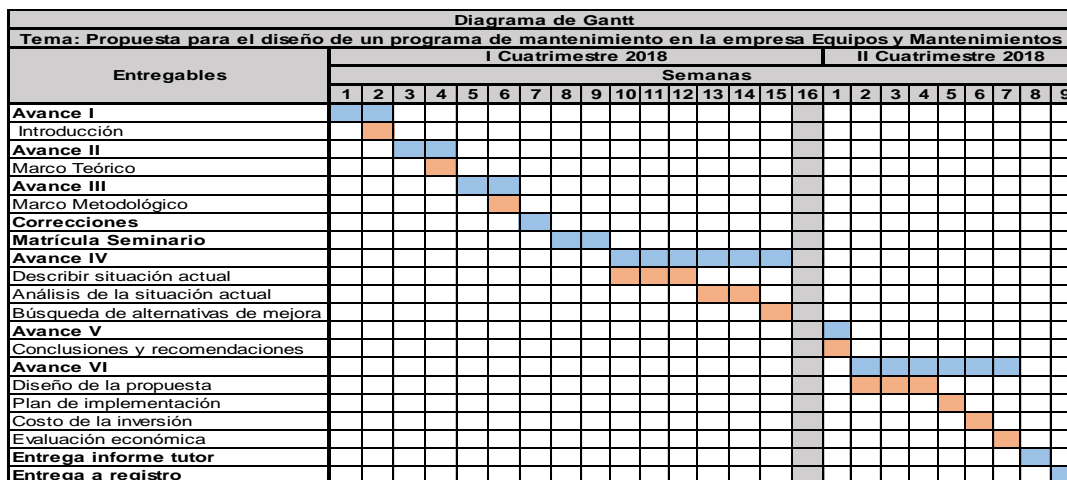
Figura 20 WBS de la investigación



Nota: Alejandra Zelaya.

Segundo, con la utilización de un diagrama de Gantt (Figura 21 Diagrama de Gantt), se reflejará de forma corta y resumida, la duración total de la investigación (seccionado en dos partes; primero la fase del establecimiento de los objetivos hasta llegar a la metodología del proyecto y segundo, el diagnóstico y diseño del estudio) Por su parte, se aproximará la semana de entrega de cada uno de los avances en forma secuencial para su adecuado cumplimiento.

Figura 21 Diagrama de Gantt



Nota: Alejandra Zelaya

CAPÍTULO IV ANÁLISIS DE RESULTADOS

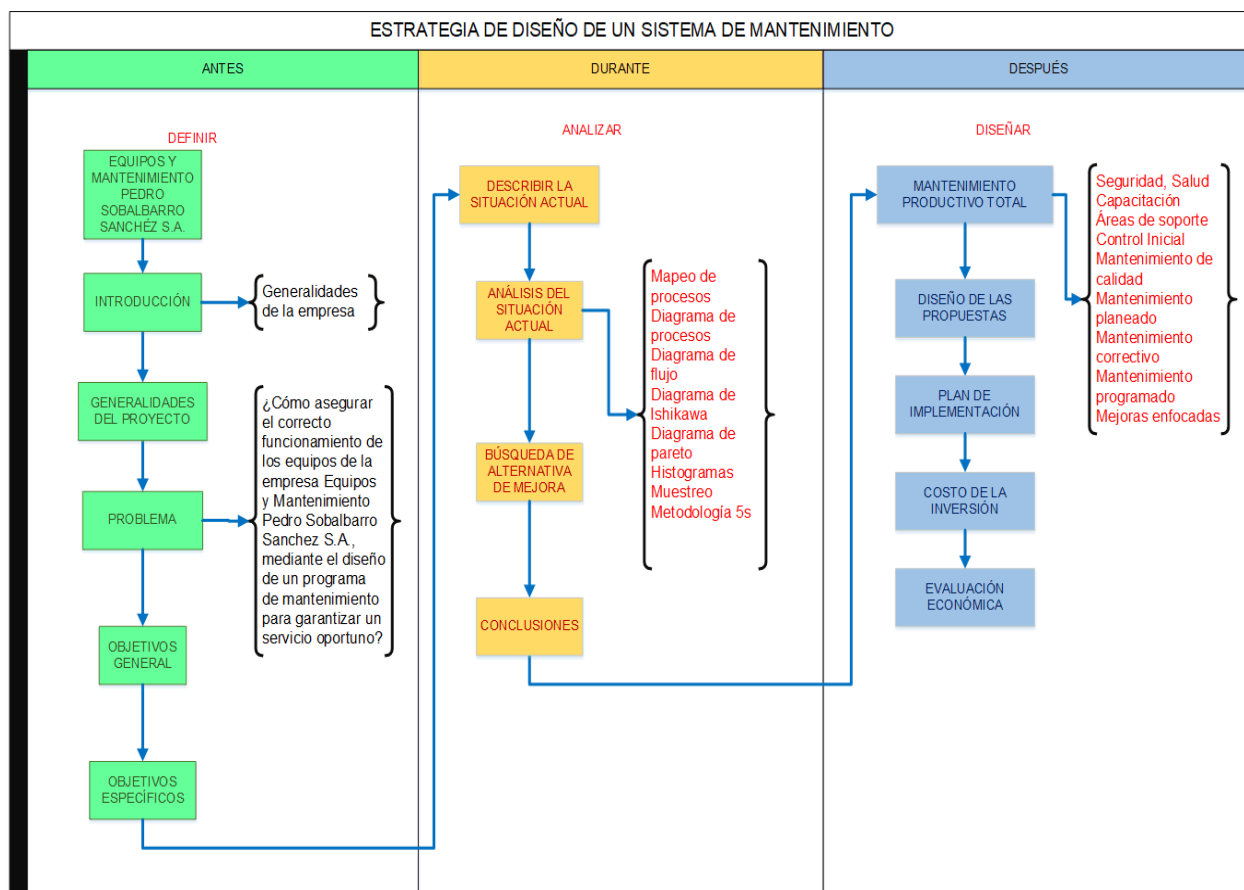
En este capítulo se desarrollará todo el análisis numérico, estadístico e ingenieril de la situación actual de la compañía, con la finalidad de encontrar los puntos críticos, deficiencias del proceso y por supuesto tener un estudio total de este que facilite la mejora del plan de mantenimiento con el que cuenta la empresa actualmente.

Para ello se diseña una estrategia, mostrada en la Figura 22 Estrategia de diseño de un sistema de mantenimiento; esta indica el camino más acorde para el cumplimiento de los objetivos. Por otra parte, se establecen las herramientas por utilizar para mejorar la calidad de los datos obtenidos.

La estrategia mostrada en la Figura 22 Estrategia de diseño de un sistema de mantenimiento, se encuentra dividida en tres etapas: antes, durante y después, a su vez, dentro de cada etapa se define la fase de la metodología que se debe utilizar. En el antes, se define el problema, luego de eso se responde a la pregunta si ¿es medible y significativo?, con la idea de saber si el rumbo trazado es el correcto. Una vez terminada esta fase, se prosigue al diseño, esta es tal vez una de las etapas más importantes del desarrollo de cualquier proyecto, ya que aquí se investigan todas las posibles causas, así como la magnitud de que afecta al problema.

Por otro lado, se realiza la recolección de los datos por medio de análisis estadísticos, que permitan obtener calidad y aceptación en la información. Por último, se procede a la fase final en la cual se diseñan las mejoras del proceso, mediante un mantenimiento productivo total. La cual incluye un desglose de áreas identificadas en la estrategia mostrada a continuación.

Figura 22 Estrategia de diseño de un sistema de mantenimiento



Nota: Alejandra Zelaya

Mapeo de Procesos

El mapeo de procesos muestra gráficamente, por medio de símbolos, cuáles son las actividades que se llevan a cabo dentro de una organización o un proceso de tal manera que todo aquel que lo lea, sea capaz de comprender el alcance y/o llevar a cabo el proceso.

Está relacionado con el SIPCP, debido a que si una empresa quiere funcionar eficientemente es necesario identificar y gestionar las numerosas actividades relacionadas entre sí, cuyos objetivos es transformar los elementos de entrada en resultados (Peña, 2013, pág. 125).

En el mapeo de procesos se detallan cómo son las subactividades que permiten desarrollar la voz del cliente en el proceso como tal, con el objetivo de identificar los puntos relacionados directamente con la mejora en la problemática del proceso.

A continuación se presenta en la Figura 23 Mapeo de procesos de la empresa:

Figura 23 Mapeo de procesos



Nota: Alejandra Zelaya

Diagrama de Procesos

El diagrama de proceso, muestra los diferentes puntos, así como la secuencia de actividades que deben seguir la empresa para el análisis de toda la información con el fin de descubrir y eliminar ineficiencias. Tener clara esta información es vital, ya que esto refleja el Departamento de mantenimiento se encuentra afectado por las demoras que generan las intervenciones. En la Figura 24 Diagrama de Procesos se explican de manera detallada los pasos completos para el alquiler del equipo y la maquinaria. En primera instancia se recibe una solicitud del equipo o maquinaria por parte del cliente, con esta solicitud el encargado verifica la disponibilidad de los equipos solicitados, si se tiene la disponibilidad se genera la cotización y se le envía al cliente. En caso de que el cliente esté interesado en el equipo se pasará siguiente proceso.

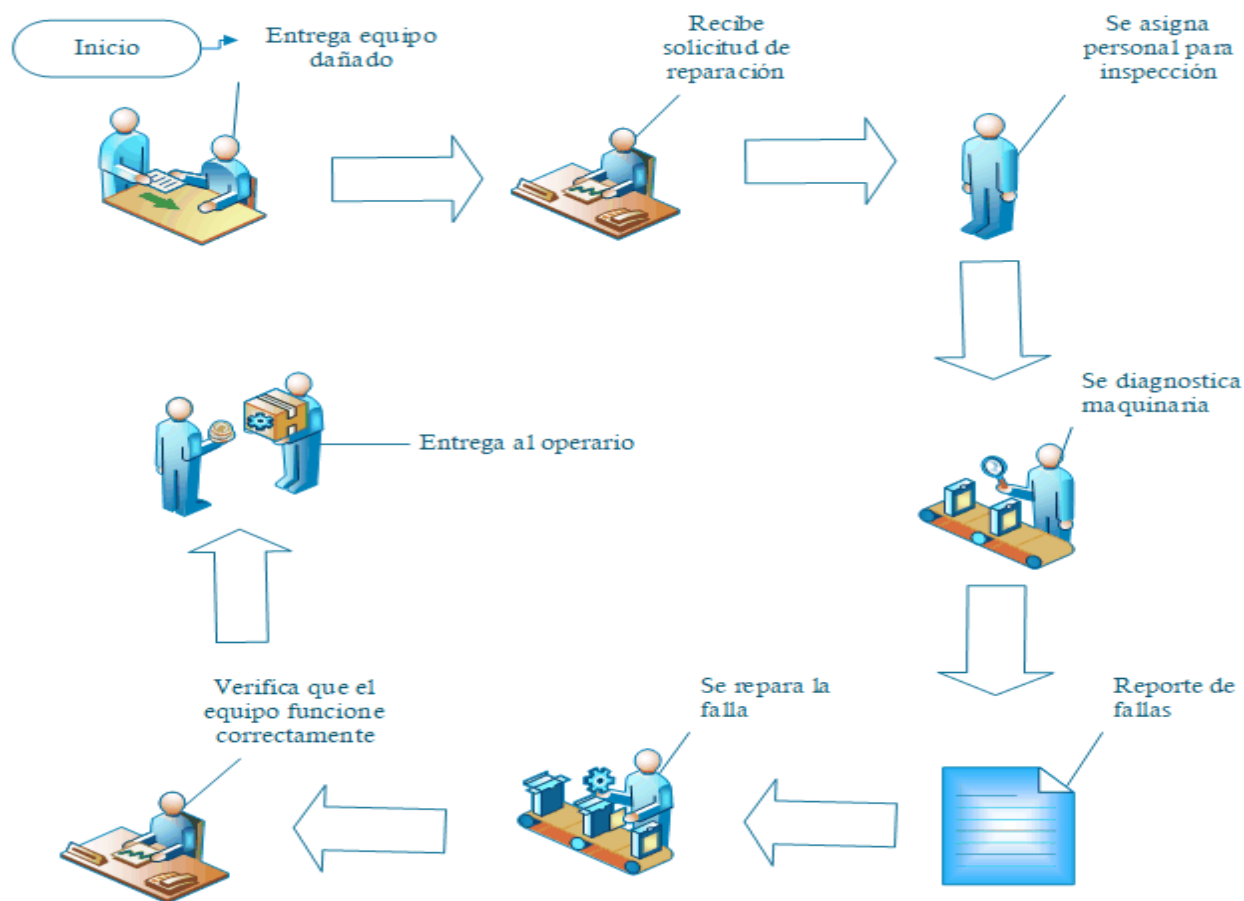
En el cierre comercial se acuerdan con el cliente las condiciones comerciales del alquiler y se establecen los plazos en que serán utilizados los equipos.

Una vez conformados todos los procesos anteriores, se verifica el estado mecánico del equipo, se ingresa a taller en caso de no estar en las condiciones que solicita la obra; además, se coordinan el o los operadores necesarios para la operación del mismo esto para los equipos especiales que lo requieren. Luego se procede al despacho de los equipos y herramientas a obra y aquí es cuando los supervisores coordinan con el transporte.

La facturación del alquiler de los equipos se realiza a través del sistema O4B, donde se cobra ya sea por hora, día o mes y luego se procede al cobro.

Por ultimo se realiza una encuesta de servicio a los clientes para obtener información para mejorar el servicio en una próxima oportunidad.

Figura 24 Diagrama de Procesos



Nota: Alejandra Zelaya

Diagrama de Flujo

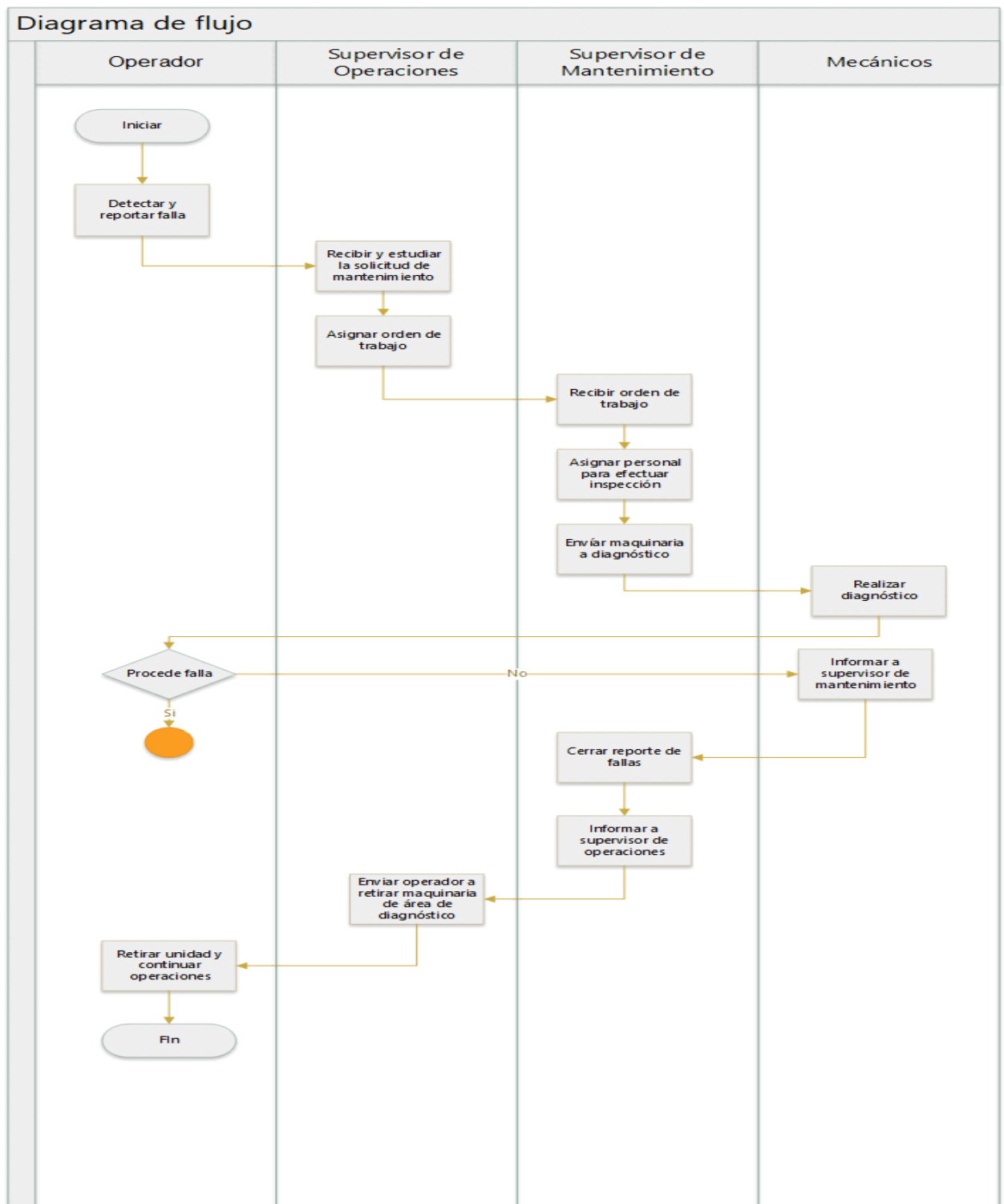
En la Figura 25 Diagrama de flujo mantenimiento se procede a explicar de una manera más detallada los pasos que se deben dar dentro del departamento, para brindar el mantenimiento a los equipos y maquinaria.

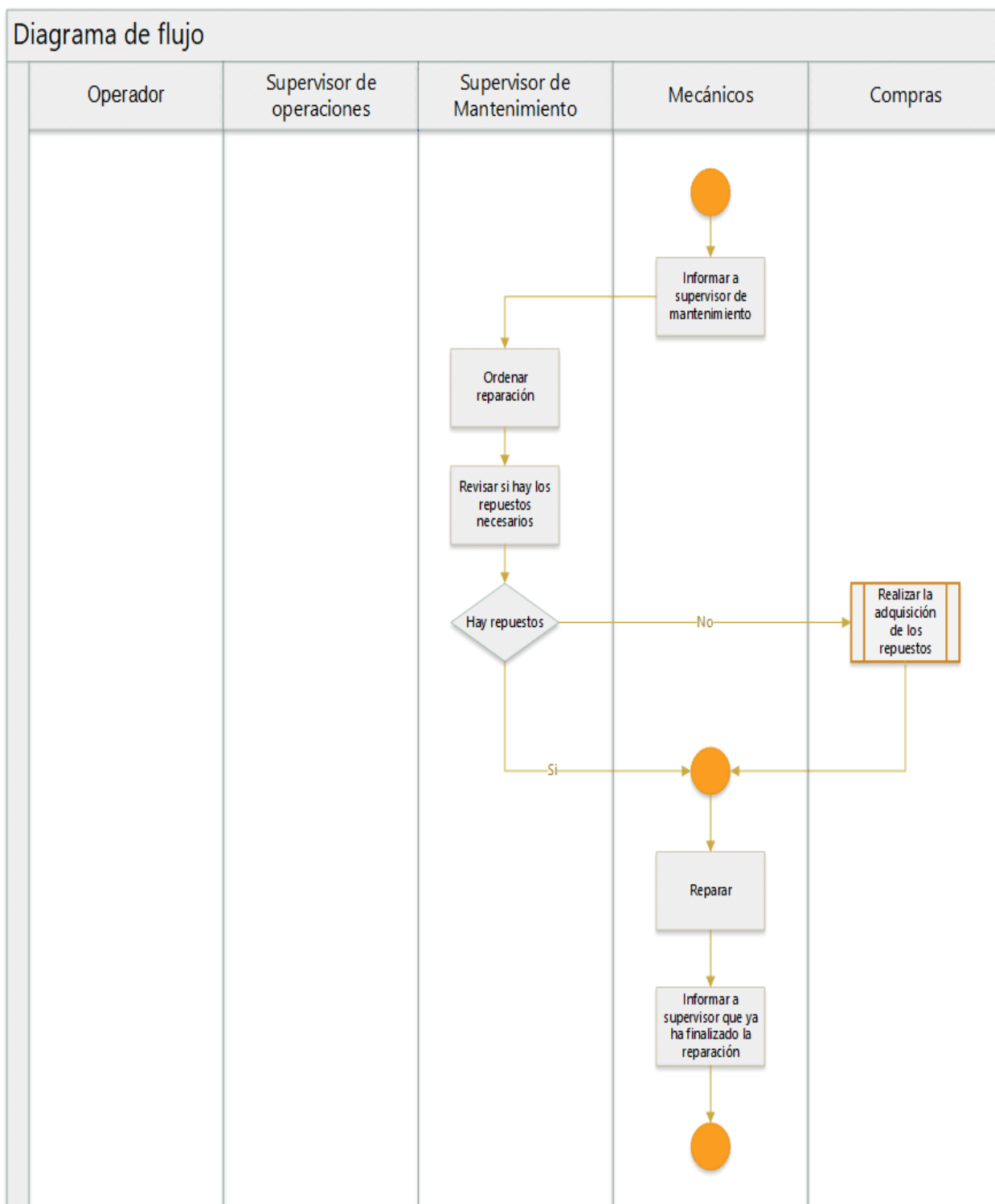
Primero, se recibe la solicitud de mantenimiento correctivo del equipo o maquinaria a través de una orden de trabajo, se estudia teniendo en cuenta la especialidad requerida. Asimismo, se asigna la orden de trabajo a los mecánicos.

Luego se procede a realizar el diagnóstico de la falla que presenta el equipo o maquinaria para determinar la posibilidad de de corregir en el sitio de ubicación de este. El diagnóstico se efectúa según la descripción del problema descrita por el usuario, sin embargo si no esta muy clara la información, el técnico se contacta directamente con el operario.

El técnico solicita la compra de repuestos, en caso de que no haya en *stock*; de lo contrario, los toma para proceder con la reparación del equipo o maquinaria. Una vez reparado se devuelve para que sea de nuevo utilizado; si presenta una falla mayor que no tiene solución, se desecha y si funciona correctamente, se archiva de manera manual el mantenimiento correctivo realizado.

Figura 25 Diagrama de flujo mantenimiento





Nota: Alejandra Zelaya.

Datos Relevantes

Clasificación ABC de productos

En ocasiones,

...una pieza puede ser crítica para un sistema si su ausencia provoca una pérdida significativa. En este caso, sin importar la clasificación de la pieza, es posible mantener existencias suficientemente altas para evitar que se agote. Una forma de asegurar un control más estrecho es asignar a esta pieza una A o una B, clasificándola en una categoría aun cuando su volumen de dólares no garantice su inclusión (Chase, Jacobs, & Alquilano, 2009, pág. 570) .

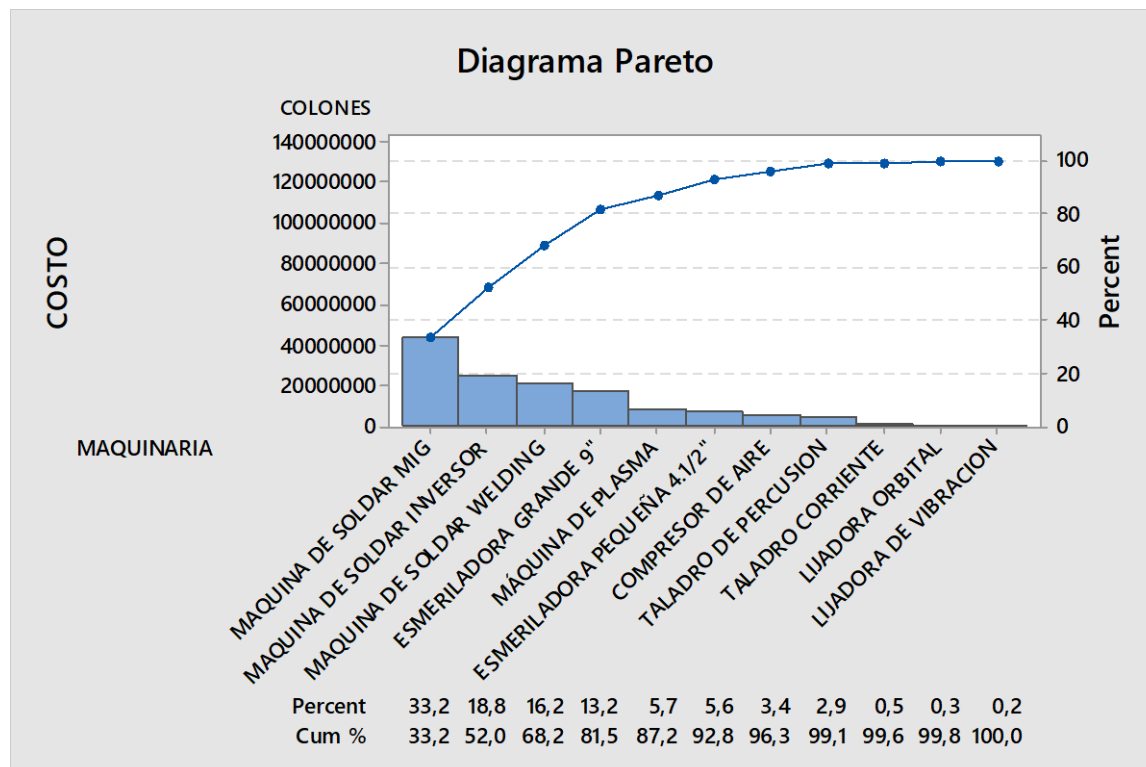
Una vez realizado el análisis de la empresa, lo siguiente es realizar el listado de cada uno de la maquinaria y equipo especial para posteriormente realizar el análisis de cada uno de los mismos. En la Tabla 4 Diagrama ABC Maquinaria Eléctrica, se puede observar un diagrama ABC de la maquinaria que representan la mayor parte del valor del inventario midiéndose su uso en dinero y la rotación.

Tabla 4 Diagrama ABC Maquinaria Eléctrica

Diagrama ABC							
#	Maquinaria	Costo Alquiler por mes	Rotación	Resultado	% Relativo	% Acumulado	Clasificación
1	Máquina de Soldar Mig	€299.755,97	145,00	€43.464.614,93	33,25%	33,25%	A
2	Máquina de Soldar Inversor	€15.082,88	1.629,00	€24.570.009,08	18,79%	52,04%	A
3	Máquina de Soldar Welding	€54.197,01	390,00	€21.136.832,39	16,17%	68,21%	A
4	Esmeriladora Grande 9"	€10.946,00	1.582,00	€17.316.572,00	13,25%	81,46%	B
5	Máquina de Plasma	€158.951,17	47,00	€7.470.705,00	5,71%	87,17%	B
6	Esmeriladora Pequeña 4+1/2"	€5.753,00	1.282,00	€7.375.346,00	5,64%	92,81%	B
7	Compresor de Aire	€26.927,00	167,00	€4.496.809,00	3,44%	96,25%	C
8	Taladro de Percusión	€20.542,69	182,00	€3.738.768,99	2,86%	99,11%	C
9	Taladro Corriente	€5.414,40	110,00	€595.584,43	0,46%	99,57%	C
10	Lijadora Orbital	€2.972,00	120,00	€356.640,00	0,27%	99,84%	C
11	Lijadora Vibración	€2.321,00	90,00	€208.890,00	0,16%	100,00%	C
Total				€130.730.771,83			

Nota: Alejandra Zelaya.

Figura 26 Diagrama Pareto Maquinaria Eléctrica



Nota: Alejandra Zelaya

A partir de los datos de la Tabla 4 Diagrama ABC Maquinaria Eléctrica y la Figura 26 Diagrama Pareto Maquinaria Eléctrica, se puede observar que de las once familias de maquinaria eléctrica, tres corresponden al 68% de los que tienen el mayor costo por alquiler por hora y rotación. Estos A son: máquina de soldar mig, máquina de soldar inversora y máquina de soldar welding.

La maquinaria que representa el 25 % serían los B, esmeriladora grande de 9", máquina de plasma y esmeriladora pequeña 4+1/2". Estos son los que mayor rotación tienen pero su costo de alquiler no es elevado.

El 7% restante sería la maquinaria C, compresor de aire, taladro de percusión, taladro corriente, lijadora orbital y lijadora de vibración.

A partir de los datos de la Tabla 5 Diagrama ABC Equipo Especial y la Figura 27 Diagrama Pareto Equipo Especial, se puede observar que de las once familias de equipo especial, tres corresponden al 80% de los que tienen el mayor costo por alquiler por hora y rotación. Estos A son: grúa de camión, montacargas y plataformas.

La maquinaria que representa el 12% serian los B, telehandler, camión y microbús. Estos son los que mayor rotación tiene pero su costo de alquiler no es elevado.

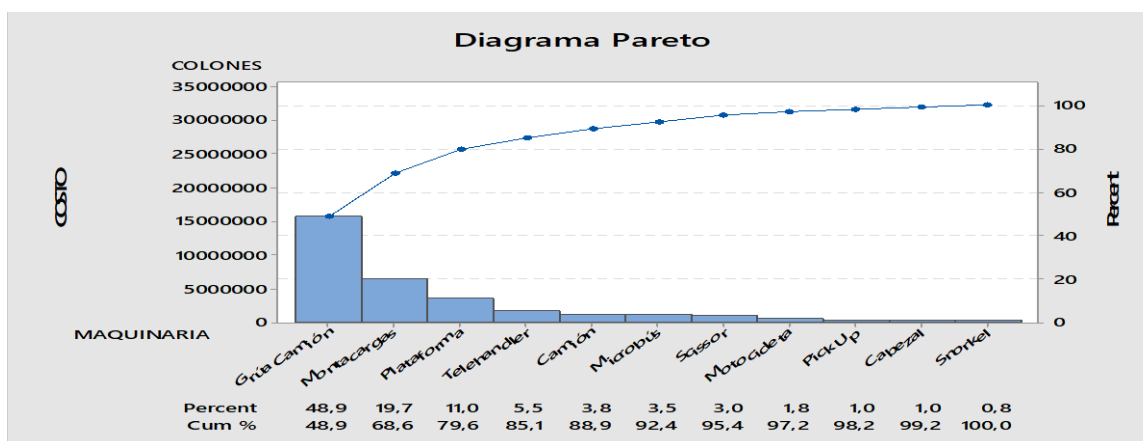
El 8% restante sería la maquinaria C, scissor, motocicleta, pick up, cabezal y snorkel.

Tabla 5 Diagrama ABC Equipo Especial

Diagrama ABC							
#	Maquinaria	Costo Alquiler por mes	Rotación	Resultado	% Relativo	% Acumulado	Clasificación
1	Grúa Camión	€20.000,00	788,00	€15.760.000,00	48,91%	48,91%	A
2	Montacargas	€29.240,00	217,00	€6.345.080,00	19,69%	68,60%	A
3	Plataforma	€4.858,00	730,00	€3.546.340,00	11,00%	79,60%	A
4	Telehandler	€13.000,00	136,00	€1.768.000,00	5,49%	85,09%	B
5	Camión	€1.134,00	1.087,00	€1.232.658,00	3,83%	88,91%	B
6	Microbús	€1.746,00	644,00	€1.124.424,00	3,49%	92,40%	B
7	Scissor	€4.333,00	220,00	€953.260,00	2,96%	95,36%	C
8	Motocicleta	€460,00	1.272,00	€585.120,00	1,82%	97,18%	C
9	Pick Up	€1.706,00	191,00	€325.846,00	1,01%	98,19%	C
10	Cabezal	€4.646,94	70,00	€325.286,12	1,01%	99,20%	C
11	Snorkel	€7.000,00	37,00	€259.000,00	0,80%	100,00%	C
Total				€32.225.014,12			

Nota: Alejandra Zelaya

Figura 27 Diagrama Pareto Equipo Especial



Nota: Alejandra Zelaya

Descripción de la Situación Actual

Para tener clara la magnitud del funcionamiento de los equipos, se procede a mostrar y explicar una serie de gráficos que evidencian los problemas que le causa a la compañía, debido a que no se cuenta con un plan de mantenimiento. Como primer paso se realizó un estudio de la disponibilidad, la utilización, el mantenimiento y subutilización de la maquinaria, con la información de históricos de enero del 2017 a marzo del 2018.

Se incluyeron los equipos de mayor participación en la empresa, los cuales son los siguientes:

- Compresor de aire
- Esmeriladora grande 9"
- Esmeriladora pequeña 4+1/2"
- Lijadora orbital
- Lijadora vibración
- Máquina de plasma
- Máquina de soldar inversor
- Máquina de soldar mig
- Máquina de soldar welding
- Taladro corriente
- Taladro de percusión

Para efectos de este análisis, se utilizarán las siguientes clasificaciones: el inventario, es toda la maquinaria con la que se dispone; la maquinaria utilizada es toda la que se alquiló, la cantidad de mantenimiento efectuado y el *stock* de los equipo. Se procederá a analizar esta información por medio de gráficos.

Compresores de aire

Tabla 6 Movimientos de compresores

Mes	Inventario	Maquinaria utilizada	Mantenimiento	Stock	% Utilización	% Mantenimiento	% Subutilización	Total
ene-17	19	10	2	7	53%	11%	37%	100%
feb-17	19	6	0	13	32%	0%	68%	100%
mar-17	19	5	0	14	26%	0%	74%	100%
abr-17	19	7	1	11	37%	5%	58%	100%
may-17	19	5	0	14	26%	0%	74%	100%
jun-17	19	6	0	13	32%	0%	68%	100%
jul-17	19	5	0	14	26%	0%	74%	100%
ago-17	19	5	2	12	26%	11%	63%	100%
sep-17	19	6	0	13	32%	0%	68%	100%
oct-17	19	6	0	13	32%	0%	68%	100%
nov-17	19	7	0	12	37%	0%	63%	100%
dic-17	19	7	2	10	37%	11%	53%	100%
ene-18	19	8	1	10	42%	5%	53%	100%
feb-18	19	8	0	11	42%	0%	58%	100%
mar-18	19	8	0	11	42%	0	58%	100%
Promedio total	19	6,6	0,5	11,9	35%	3%	62%	100%

Nota: Alejandra Zelaya

La Tabla 6 Movimientos de compresores, muestra de forma general como se movieron los 19 compresores durante los 15 meses analizados, de los cuales en promedio el 35% se alquiló, el 3% estuvo en mantenimiento y el 62% restante se mantuvo en *stock*. Este 62% sin alquilar en dinero representa una pérdida de €320.431,30 en promedio por mes.

Tabla 7 Máximos y Mínimos compresores

Máximo de utilización	10
Máximo de mantenimiento	2
Mínimo de utilización	5
Mínimo de mantenimiento	0

Nota: Alejandra Zelaya

La Tabla 7 Máximos y Mínimos compresores, indica que el máximo de utilización promedio por mes es de 10 compresores y el mínimo es de 2 compresores. Con respecto al mantenimiento, el máximo promedio por mes es de 2 y el mínimo es 0.

Figura 28 Gráfico Movimientos de compresores



Nota: Tabla 6 Movimientos de compresores

De acuerdo con la

Figura 28 Gráfico Movimientos de compresores se puede evidenciar lo descrito en las tablas antes mencionadas. Los compresores no son de alta demanda, más del 50% se mantiene en *stock*; la tendencia que presenta el mantenimiento es cada 2 o 3 meses. Este tipo de equipo se tiene subutilizado, ello se evidencia en el abc realizado, ya que es un equipo categoría C para la compañía.

Esmeriladora grande 9”

Tabla 8 Movimientos esmeriladora grande 9”

Mes	Inventario	Maquinaria utilizada	Mantenimiento	Stock	% Utilización	% Mantenimiento	% Subutilización	Total
ene-17	101	62	39	0	61%	39%	0%	100%
feb-17	102	78	24	0	76%	24%	0%	100%
mar-17	102	78	24	0	76%	24%	0%	100%
abr-17	102	87	15	0	85%	15%	0%	100%
may-17	107	86	21	0	80%	20%	0%	100%
jun-17	112	88	24	0	79%	21%	0%	100%
jul-17	125	91	34	0	73%	27%	0%	100%
ago-17	125	81	44	0	65%	35%	0%	100%
sep-17	125	92	33	0	74%	26%	0%	100%
oct-17	125	95	30	0	76%	24%	0%	100%
nov-17	130	85	45	0	65%	35%	0%	100%
dic-17	130	75	55	0	58%	42%	0%	100%
ene-18	130	78	52	0	60%	40%	0%	100%
feb-18	130	86	44	0	66%	34%	0%	100%
mar-18	130	93	37	0	72%	28%	0%	100%
Promedio total	118,4	83,7	34,7	0,0	71%	29%	0%	100%

Nota: Alejandra Zelaya

La Tabla 8 Movimientos esmeriladora grande 9”, en cuanto al inventario evidencia que se hicieron adquisiciones en los meses de mayo, junio, julio, noviembre del 2017 para aumentar el inventario de 101 a 130. De los cuales en promedio por mes, el 71% se alquiló, el 29% estuvo en mantenimiento y el 0% restante se mantuvo en *stock*.

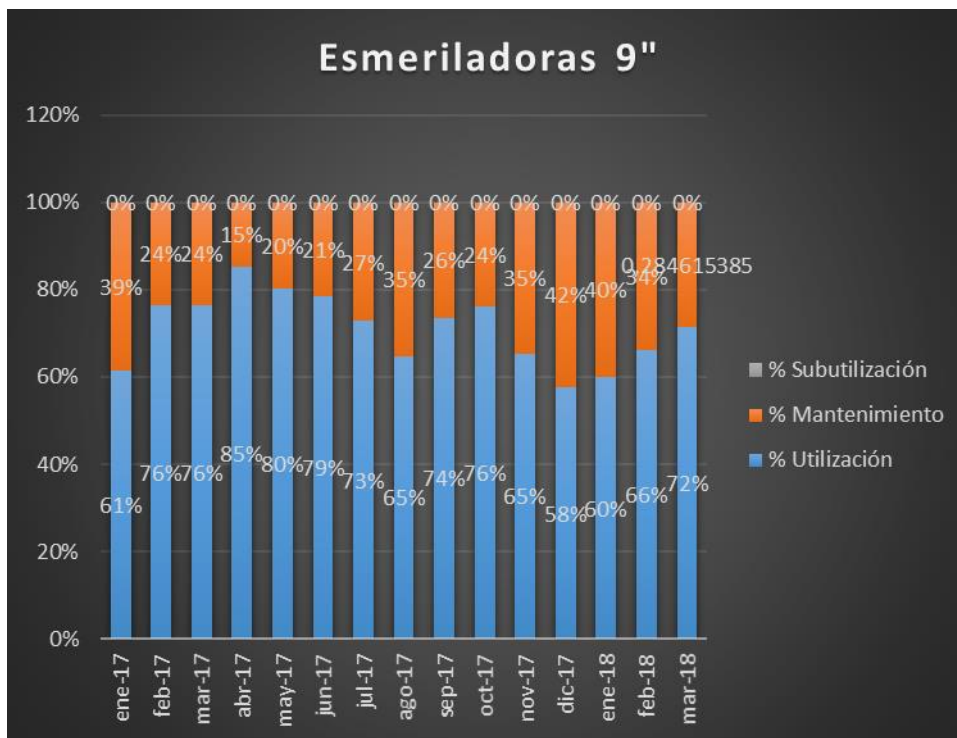
Tabla 9 Máximos y Mínimos esmeriladora grande 9”

Máximo de utilización	95
Máximo de mantenimiento	55
Mínimo de utilización	62
Mínimo de mantenimiento	15

Nota: Alejandra Zelaya

Asimismo, en la Tabla 9 Máximos y Mínimos esmeriladora grande 9”, se indica que el máximo de utilización promedio por mes es de 95 y el mínimo es de 62 esmeriladoras grandes 9”. Con respecto al mantenimiento, el máximo promedio por mes es de 55 y el mínimo es 15.

Figura 29 Gráfico Movimientos de esmeriladora grande 9"



Nota: Tabla 8 Movimientos esmeriladora grande 9"

Con base en la Figura 29 Gráfico Movimientos de esmeriladora grande 9", se denota que las esmeriladoras son de mucha rotación, pues en los meses estudiados hubo un 0% en *stock*, si no estaban en alquiler se encontraban en mantenimiento; el nivel de mantenimiento promedio es el 29%. Todos los meses se les da mantenimiento a las esmeriladoras, ya que al no haber en *stock* solo se les realiza el correctivo.

Esmeriladora pequeña 4+1/2”

Tabla 10 Movimientos esmeriladora 4+1/2”

Mes	Inventarai	Maquinaria utilizada	Mantenimiento	Stock	% Utilización	% Mantenimiento	% Subutilización	Total
ene-17	85	68	17	0	80%	20%	0%	100%
feb-17	85	40	45	0	47%	53%	0%	100%
mar-17	85	33	52	0	39%	61%	0%	100%
abr-17	85	45	40	0	53%	47%	0%	100%
may-17	92	50	42	0	54%	46%	0%	100%
jun-17	97	60	37	0	62%	38%	0%	100%
jul-17	107	75	32	0	70%	30%	0%	100%
ago-17	117	88	29	0	75%	25%	0%	100%
sep-17	117	65	52	0	56%	44%	0%	100%
oct-17	117	79	38	0	68%	32%	0%	100%
nov-17	117	75	42	0	64%	36%	0%	100%
dic-17	117	69	48	0	59%	41%	0%	100%
ene-18	117	82	35	0	70%	30%	0%	100%
feb-18	117	66	51	0	56%	44%	0%	100%
mar-18	117	68	49	0	58%	42%	0%	100%
Promedio total	104,8	64,2	40,6	0,0	61%	39%	0%	100%

Nota: Alejandra Zelaya

La Tabla 10 Movimientos esmeriladora 4+1/2”, respectivamente al inventario se demuestra que se hicieron compras en los meses de mayo, junio, julio, agosto del 2017 para aumentar el inventario de 85 a 117. En promedio por mes, el 61% se alquiló, el 39% estuvo en mantenimiento y el 0% restante se mantuvo en stock.

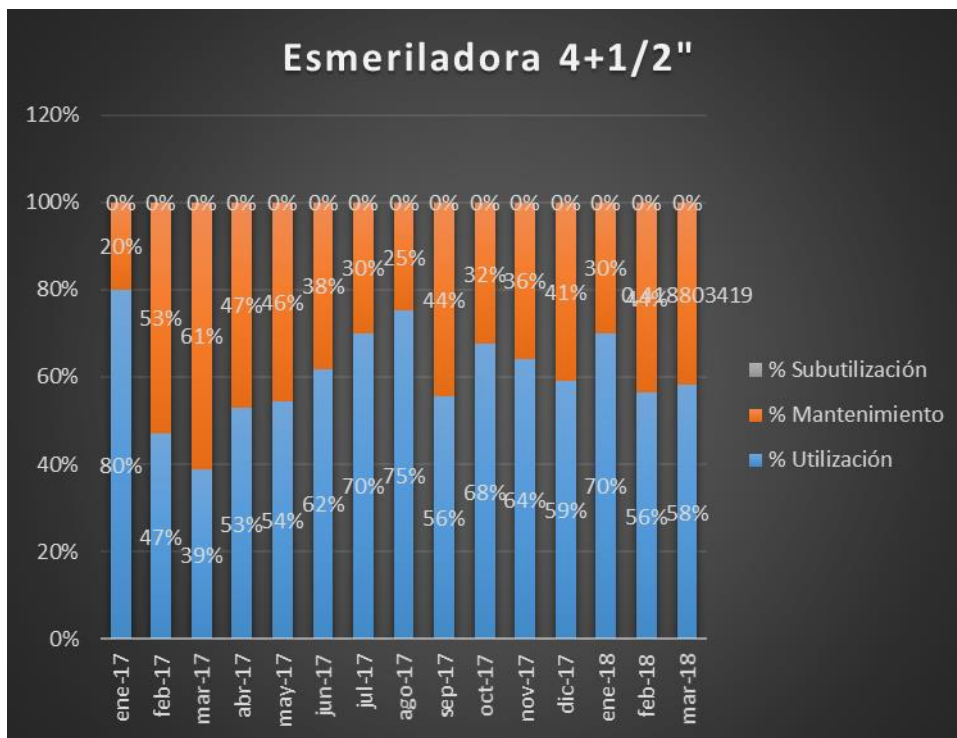
Tabla 11 Máximos y Mínimos esmeriladora grande 4+1/2”

Máximo de utilización	88
Máximo de mantenimiento	52
Mínimo de utilización	33
Mínimo de mantenimiento	17

Nota: Alejandra Zelaya

Del mismo modo, en la Tabla 11 Máximos y Mínimos esmeriladora grande 4+1/2”, se indica que el máximo de utilización promedio por mes es de 88 y el mínimo es de 33. Con respecto al mantenimiento, el máximo promedio por mes es de 52 y el mínimo es 17.

Figura 30 Gráfico Movimientos de esmeriladora grande 4+1/2”



Nota: Tabla 10 Movimientos esmeriladora 4+1/2”

Con base en la Figura 30 Gráfico Movimientos de esmeriladora grande 4+1/2”, se manifiesta que las esmeriladoras 4+1/2” son de mucha rotación, al igual que las grandes 9”, hubo un 0% en *stock*, si no estaban en alquiler se encontraban en mantenimiento, y el nivel de mantenimiento promedio es el 39%. Todos los meses se les da mantenimiento a las esmeriladoras, ya que al no haber en *stock* solo se les realiza mantenimiento correctivo.

Lijadora orbital

Tabla 12 Movimientos lijadora orbital

Mes	Inventarai	Maquinaria utilizada	Mantenimiento	Stock	% utilización	%mantenimiento	% subutilización	total
ene-17	8	5	1	2	63%	13%	25%	100%
feb-17	8	5	3	0	63%	38%	0%	100%
mar-17	8	5	2	1	63%	25%	13%	100%
abr-17	8	6	2	0	75%	25%	0%	100%
may-17	8	6	0	2	75%	0%	25%	100%
jun-17	8	6	2	0	75%	25%	0%	100%
jul-17	8	8	0	0	100%	0%	0%	100%
ago-17	8	8	0	0	100%	0%	0%	100%
sep-17	10	4	6	0	40%	60%	0%	100%
oct-17	10	6	2	2	60%	20%	20%	100%
nov-17	14	8	6	0	57%	43%	0%	100%
dic-17	14	8	1	5	57%	7%	36%	100%
ene-18	14	8	0	6	57%	0%	43%	100%
feb-18	19	11	3	5	58%	16%	26%	100%
mar-18	19	11	5	3	58%	26%	16%	100%
Promedio total	10,9	7,0	2,2	1,7	67%	20%	14%	100%

Nota: Alejandra Zelaya

Según la Tabla 12 Movimientos lijadora orbital en cuanto al inventario, se evidencia que se hicieron adquisiciones en los meses de setiembre, noviembre del 2017 y febrero del 2018 para aumentar el inventario de 8 a 19. De los cuales en promedio por mes, el 67% se alquiló, el 20% estuvo en mantenimiento y el 14% restaste se mantuvo en *stock*. Este 14% sin alquilar en dinero representa una pérdida de ₡ 11 067,00 en promedio por mes.

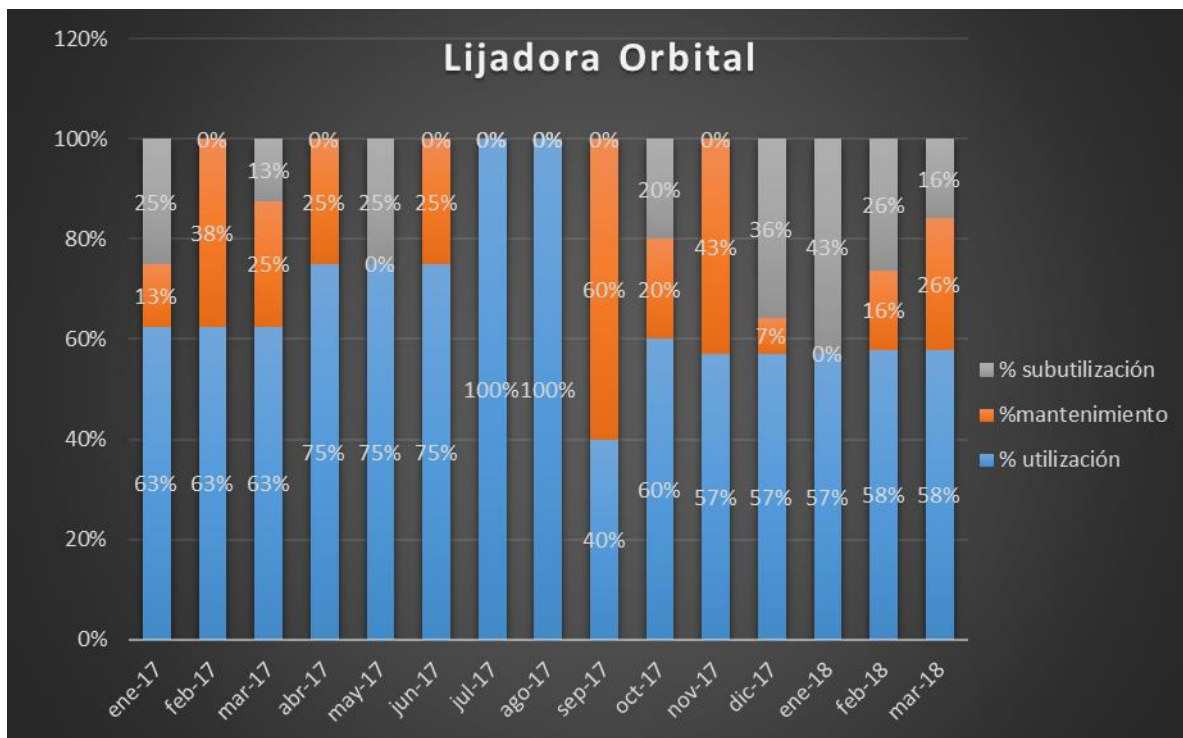
Tabla 13 Máximos y Mínimos lijadora orbital

Máximo de utilización	11
Máximo de mantenimiento	6
Mínimo de utilización	4
Mínimo de mantenimiento	0

Nota: Alejandra Zelaya

Igualmente, en la Tabla 13 Máximos y Mínimos lijadora orbital, se indica que el máximo de utilización promedio por mes es de 11 y el mínimo es de 4. Con respecto al mantenimiento, el máximo promedio por mes es de 6 y el mínimo es 0.

Figura 31 Gráfico Movimientos lijadora orbital



Nota: Tabla 12 Movimientos lijadora orbital

Conforme la Figura 31 Gráfico Movimientos lijadora orbital, se puede comprobar lo descrito en las tablas antes mencionadas. Se puede observar que su rotación es alta y está en la categoría C según el abc realizado; su mantenimiento en el mes de setiembre es del 60% lo cuál es bastante comparado con los otros meses. De igual modo, este equipo que se encuentra en *stock* no permite que se le dé otro tipo de mantenimiento que no sea correctivo.

Lijadora vibración

Tabla 14 Movimientos lijadora vibración

Mes	Inventarai	Maquinaria utilizada	Mantenimiento	Stock	% Utilización	% Mantenimiento	% Subutilización	Total
ene-17	5	4	1	0	80%	20%	0%	100%
feb-17	5	5	0	0	100%	0%	0%	100%
mar-17	5	5	0	0	100%	0%	0%	100%
abr-17	5	5	0	0	100%	0%	0%	100%
may-17	5	4	1	0	80%	20%	0%	100%
jun-17	5	2	3	0	40%	60%	0%	100%
jul-17	5	4	1	0	80%	20%	0%	100%
ago-17	5	4	1	0	80%	20%	0%	100%
sep-17	5	3	2	0	60%	40%	0%	100%
oct-17	5	3	2	0	60%	40%	0%	100%
nov-17	9	4	5	0	44%	56%	0%	100%
dic-17	9	6	3	0	67%	33%	0%	100%
ene-18	9	5	4	0	56%	44%	0%	100%
feb-18	9	7	2	0	78%	22%	0%	100%
mar-18	9	5	4	0	56%	44%	0%	100%
Promedio total	6,3	4,4	1,9	0,0	72%	28%	0%	100%

Nota: Alejandra Zelaya

Acorde con la Tabla 14 Movimientos lijadora vibración, en cuanto al inventario, se evidencia que se efectuó una compra en el mes de noviembre del 2017 para aumentar el inventario de 5 a 9. De los cuales en promedio por mes, el 72% se alquiló, el 28% estuvo en mantenimiento y el 0% restaste se mantuvo en *stock*.

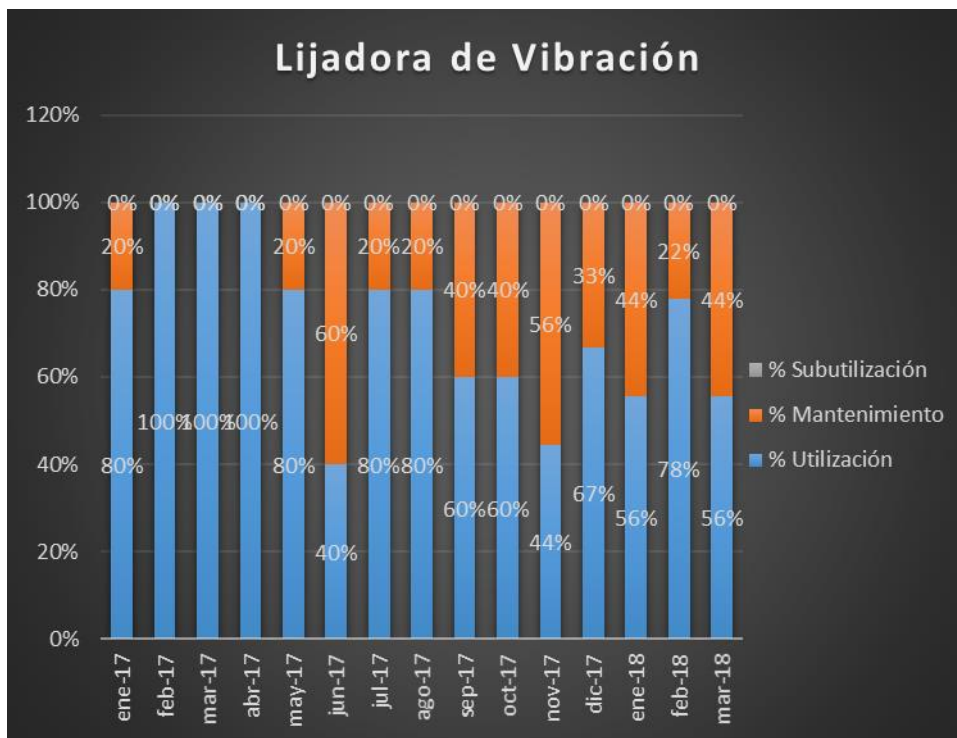
Tabla 15 Máximos y Mínimos lijadora vibración

Máximo de utilización	7
Máximo de mantenimiento	5
Mínimo de utilización	2
Mínimo de mantenimiento	0

Nota: Alejandra Zelaya

También, en la Tabla 15 Máximos y Mínimos lijadora vibración, se indica que el máximo de utilización promedio por mes es de 7 y el mínimo es de 2. Con respecto al mantenimiento, el máximo promedio por mes es de 5 y el mínimo es 0.

Figura 32 Gráfico Movimientos lijadora vibración



Nota: Tabla 14 Movimientos lijadora vibración

En la Figura 32 Gráfico Movimientos lijadora vibración, se puede observar que su rotación es alta; de la misma manera que las lijadoras orbitales, está en la categoría C, según el abc realizado; su mantenimiento en el mes de junio y noviembre es del 60% lo cuál es bastante comparado con los otros meses. Se puede notar que en los meses de febrero, marzo, y abril del 2017 todas las lijadoras estuvieron en alquiler; de igual modo, de este equipo nada se encuentra en *stock* y esto no permite que se le dé otro tipo de mantenimiento que no sea correctivo.

Máquina Plasma

Tabla 16 Movimientos máquina plasma

Mes	Inventarao	Maquinaria utilizada	Mantenimiento	Stock	% utilización	%mantenimiento	% subutilización	total
ene-17	5	4	1	0	80%	20%	0%	100%
feb-17	5	5	0	0	100%	0%	0%	100%
mar-17	5	5	0	0	100%	0%	0%	100%
abr-17	5	5	0	0	100%	0%	0%	100%
may-17	5	5	0	0	100%	0%	0%	100%
jun-17	5	1	3	1	20%	60%	20%	100%
jul-17	5	4	1	0	80%	20%	0%	100%
ago-17	5	5	0	0	100%	0%	0%	100%
sep-17	5	5	0	0	100%	0%	0%	100%
oct-17	5	5	0	0	100%	0%	0%	100%
nov-17	5	5	0	0	100%	0%	0%	100%
dic-17	5	5	0	0	100%	0%	0%	100%
ene-18	5	4	1	0	80%	20%	0%	100%
feb-18	5	3	2	0	60%	40%	0%	100%
mar-18	5	3	2	0	60%	40%	0%	100%
Promedio total	5,0	4,3	0,7	0,1	85%	13%	1%	100%

Nota: Alejandra Zelaya

La Tabla 16 Movimientos máquina plasma, en cuanto al inventario, se evidencia que no se confeccionaron compras, por lo que siempre han tenido 5 máquinas plasmas durante el periodo analizado. En promedio por mes, el 85% se alquiló, el 13% estuvo en mantenimiento y el 1% restaste se mantuvo en *stock*. Este 1% sin alquilar en dinero representa una pérdida de ₡ 211.110,00 en promedio por mes.

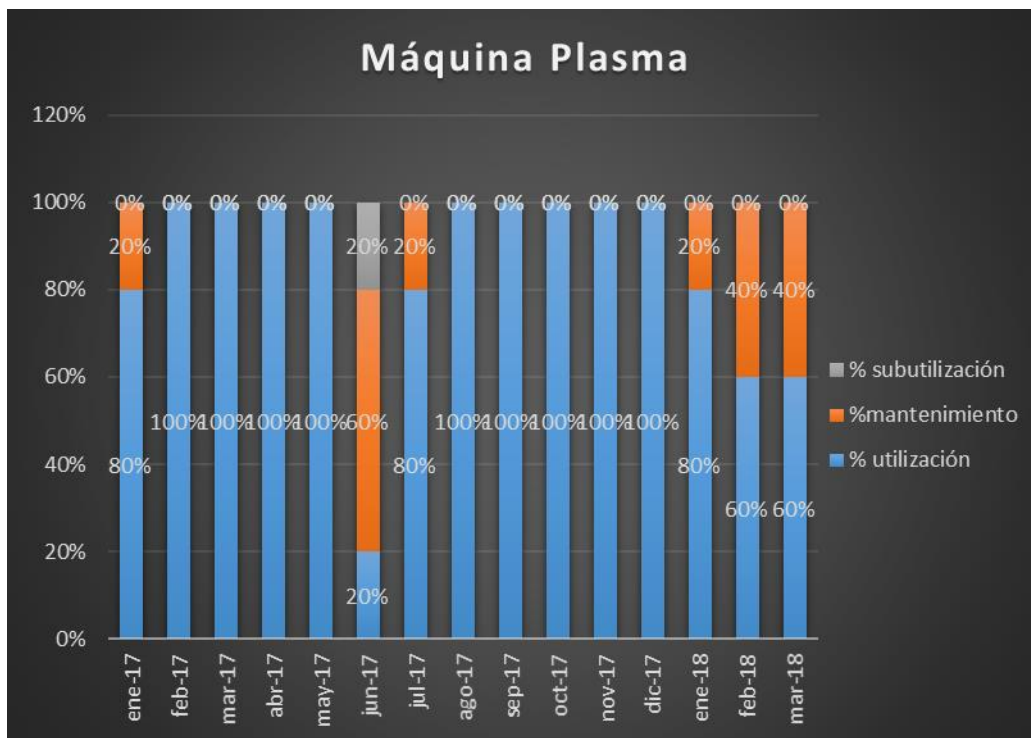
Tabla 17 Máximos y Mínimos máquina de plasma

Máximo de utilización	5
Máximo de mantenimiento	3
Mínimo de utilización	1
Mínimo de mantenimiento	0

Nota: Alejandra Zelaya

De la misma manera, en la Tabla 17 Máximos y Mínimos máquina de plasma, se indica que el máximo de utilización promedio por mes es de 5 y el mínimo es de 1. Con respecto al mantenimiento, el máximo promedio por mes es de 3 y el mínimo es 0.

Figura 33 Gráfico Movimientos máquinas de plasma



Nota: Tabla 16 Movimientos máquina plasma

En la Figura 33 Gráfico Movimientos máquinas de plasma, se puede observar que su rotación es alta, su mantenimiento en el mes de febrero y marzo es del 40% lo cual es bastante semejante a los otros meses. Se puede notar que la mayoría de los meses todas las máquinas plasma estuvieron en alquiler, cada 4 a 5 meses se le da mantenimiento a las máquinas cuando presentan fallas.

Máquina Inversora

Tabla 18 Movimientos máquina inversora

Mes	Inventarai	Maquinaria utilizada	Mantenimiento	Stock	% utilización	%mantenimiento	% subutilización	total
ene-17	130	80	50	0	62%	38%	0%	100%
feb-17	130	90	40	0	69%	31%	0%	100%
mar-17	131	90	38	3	69%	29%	2%	100%
abr-17	131	93	35	3	71%	27%	2%	100%
may-17	141	93	47	1	66%	33%	1%	100%
jun-17	156	98	58	0	63%	37%	0%	100%
jul-17	167	100	67	0	60%	40%	0%	100%
ago-17	183	100	83	0	55%	45%	0%	100%
sep-17	183	120	63	0	66%	34%	0%	100%
oct-17	184	135	49	0	73%	27%	0%	100%
nov-17	184	147	37	0	80%	20%	0%	100%
dic-17	184	154	30	0	84%	16%	0%	100%
ene-18	187	110	77	0	59%	41%	0%	100%
feb-18	187	117	70	0	63%	37%	0%	100%
mar-18	187	100	87	0	53%	47%	0%	100%
Promedio total	164,3	108,5	55,4	0,5	66%	34%	0%	100%

Nota: Alejandra Zelaya

De acuerdo con la Tabla 18 Movimientos máquina inversora, en cuanto al inventario, se evidencia que en promedio cada 2 meses se produjeron compras, el inventario aumentó de 130 a 187. En promedio por mes, el 66% se alquiló, el 34% estuvo en mantenimiento y el 0% restaste se mantuvo en stock.

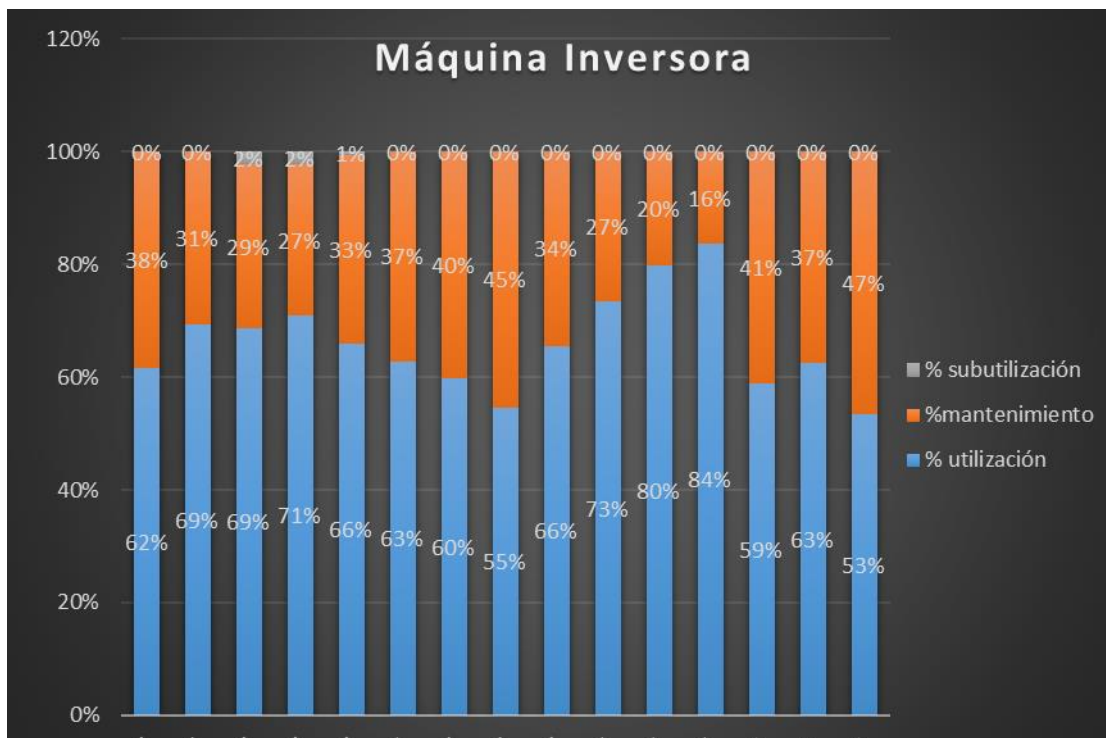
Tabla 19 Máximos y Mínimos máquinas inversoras

Máximo de utilización	154
Máximo de mantenimiento	87
Mínimo de utilización	80
Mínimo de mantenimiento	30

Nota: Alejandra Zelaya

Igualmente, en la Tabla 19 Máximos y Mínimos máquinas inversoras, se indica que el máximo de utilización promedio por mes es de 154 y el mínimo es de 80. Con respecto al mantenimiento, el máximo promedio por mes es de 87 y el mínimo es 30.

Figura 34 Gráfico Movimientos máquinas inversoras



Nota: Tabla 18 Movimientos máquina inversora

En la Figura 34 Gráfico Movimientos máquinas inversoras, se puede observar que su rotación es alta, su mantenimiento es constante y, a través del periodo analizado, representa que este es del 34% lo cual es constante durante los meses. Se puede notar que la mayoría de los meses todas las máquinas plasma estuvieron en alquiler y el 100% se mantiene en alquiler o en mantenimiento.

Máquinas mig

Tabla 20 Movimientos máquina mig

Mes	Inventarai	Maquinaria utilizada	Mantenimiento	Stock	% utilización	%mantenimiento	% subutilización	total
ene-17	10	8	2	0	80%	20%	0%	100%
feb-17	10	7	0	3	70%	0%	30%	100%
mar-17	10	7	0	3	70%	0%	30%	100%
abr-17	10	7	0	3	70%	0%	30%	100%
may-17	10	8	0	2	80%	0%	20%	100%
jun-17	10	8	1	1	80%	10%	10%	100%
jul-17	10	8	0	2	80%	0%	20%	100%
ago-17	10	9	1	0	90%	10%	0%	100%
sep-17	10	9	0	1	90%	0%	10%	100%
oct-17	10	9	0	1	90%	0%	10%	100%
nov-17	10	9	0	1	90%	0%	10%	100%
dic-17	10	9	0	1	90%	0%	10%	100%
ene-18	12	10	2	0	83%	17%	0%	100%
feb-18	12	8	0	4	67%	0%	33%	100%
mar-18	12	8	3	1	67%	25%	8%	100%
Promedio total	10,4	8,3	0,6	1,5	80%	5%	15%	100%

Nota: Alejandra Zelaya

La Tabla 20 Movimientos máquina mig, en cuanto al inventario, se evidencia que hasta el mes de enero del 2018 se produjeron compras, el inventario pasó de 10 a 12. En promedio por mes, el 80% se alquiló, el 5% estuvo en mantenimiento y el 15% restante se mantuvo en *stock*. Este 1% sin alquilar en dinero representa una pérdida de ¢ 404 085,00 en promedio por mes.

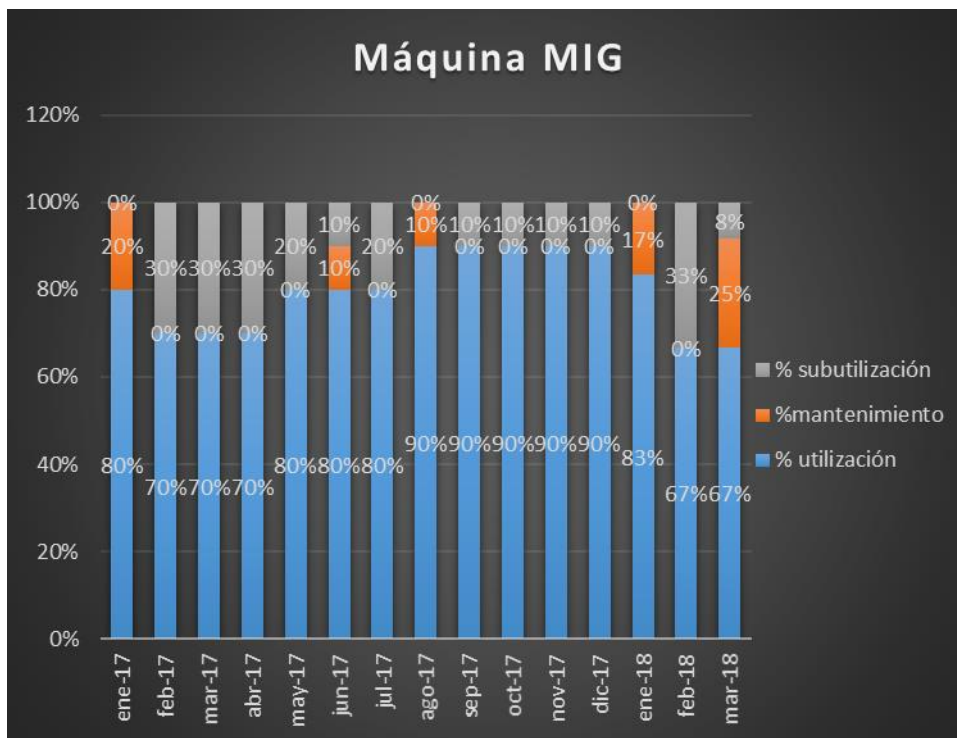
Tabla 21 Máximos y Mínimos máquinas mig

Máximo de utilización	10
Máximo de mantenimiento	3
Mínimo de utilización	7
Mínimo de mantenimiento	0

Nota: Alejandra Zelaya

De acuerdo con la Tabla 21 Máximos y Mínimos máquinas mig, se indica que el máximo de utilización promedio por mes es de 10 y el mínimo es de 7. Con respecto al mantenimiento, el máximo promedio por mes es de 3 y el mínimo es 0.

Figura 35 Gráfico movimientos máquinas mig



Nota: Tabla 20 Movimientos máquina mig

En la Figura Figura 35 Gráfico movimientos máquinas mig, se puede observar que su rotación es alta, su mantenimiento se presenta de 4 a 5 meses y los otros meses en promedio hay un 5% en mantenimiento. Se puede notar que la mayoría de los meses todas las máquinas plasma estuvieron en alquiler.

Máquinas welding

Tabla 22 Movimientos máquinas welding

Mes	Inventarai	Maquinaria utilizada	Mantenimiento	Stock	% utilización	%mantenimiento	% subutilización	total
ene-17	61	8	1	52	13%	2%	85%	100%
feb-17	61	1	0	60	2%	0%	98%	100%
mar-17	61	2	2	57	3%	3%	93%	100%
abr-17	61	0	1	60	0%	2%	98%	100%
may-17	61	0	1	60	0%	2%	98%	100%
jun-17	61	8	2	51	13%	3%	84%	100%
jul-17	61	9	2	50	15%	3%	82%	100%
ago-17	61	2	0	59	3%	0%	97%	100%
sep-17	61	0	2	59	0%	3%	97%	100%
oct-17	61	2	3	56	3%	5%	92%	100%
nov-17	61	1	3	57	2%	5%	93%	100%
dic-17	61	0	2	59	0%	3%	97%	100%
ene-18	61	1	0	60	2%	0%	98%	100%
feb-18	61	3	3	55	5%	5%	90%	100%
mar-18	61	0	1	60	0%	2%	98%	100%
Promedio total	61,0	2,5	1,5	57,0	4%	3%	93%	100%

Nota: Alejandra Zelaya

La Tabla 22 Movimientos máquinas welding, en cuanto al inventario, evidencia que no se confeccionaron compras, por lo que siempre han tenido 61 máquinas welding durante el periodo analizado. En promedio por mes, el 4% se alquiló, el 3% estuvo en mantenimiento y el 93% restante se mantuvo en stock. Este 93% sin alquilar en dinero representa una pérdida de ₡ 4 788 570, 00 en promedio por mes.

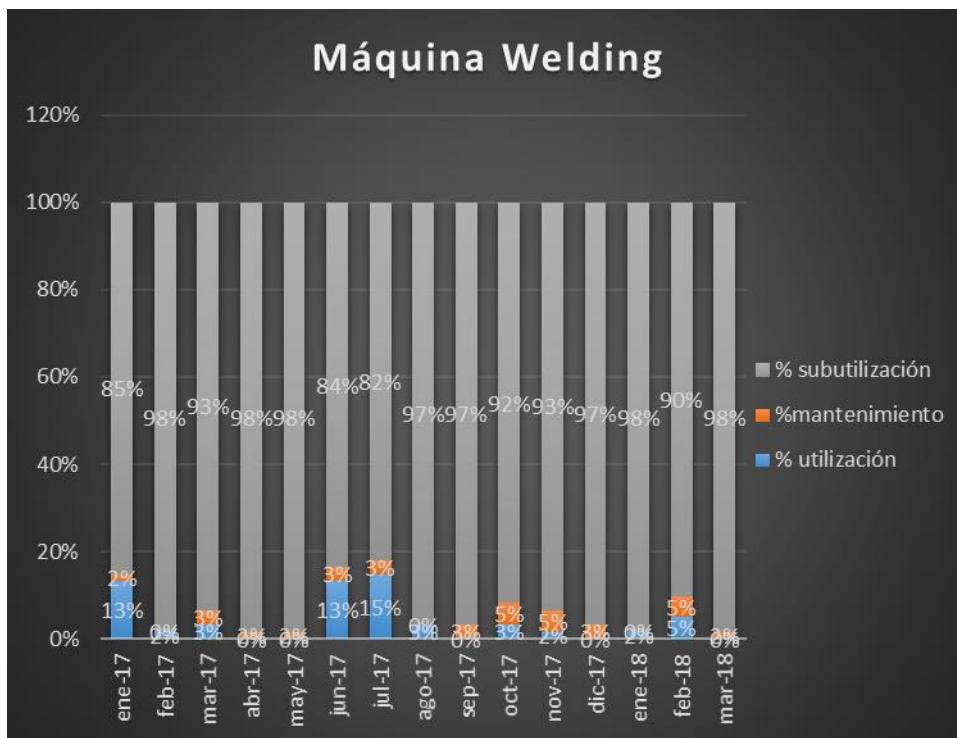
Tabla 23 Máximos y Mínimos máquinas welding

Máximo de utilización	9
Máximo de mantenimiento	3
Mínimo de utilización	0
Mínimo de mantenimiento	0

Nota: Alejandra Zelaya

Según la Tabla 23 Máximos y Mínimos máquinas welding, se indica que el máximo de utilización promedio por mes es de 9 y el mínimo es de 0. Con respecto al mantenimiento, el máximo promedio por mes es de 3 y el mínimo es 0.

Figura 36 Gráfico movimientos máquinas welding



Nota: Tabla 22 Movimientos máquinas welding

De acuerdo con la Figura 36 Gráfico movimientos máquinas welding se puede evidenciar lo descrito en las tablas antes mencionadas. Las máquinas mig no son de alta demanda, solo el 4% se alquila; sin embargo, casi todos los meses se les está dando mantenimiento. Este tipo de equipo se tiene subutilizado, esto se evidencia en el abc realizado, ya que es un equipo categoría C para la compañía.

Taladro Corriente

Tabla 24 Movimientos taladro corriente

Mes	Inventarai	Maquinaria utilizada	Mantenimiento	Stock	% utilización	%mantenimiento	% subutilización	total
ene-17	23	16	7	0	70%	30%	0%	100%
feb-17	23	16	7	0	70%	30%	0%	100%
mar-17	23	19	4	0	83%	17%	0%	100%
abr-17	23	17	6	0	74%	26%	0%	100%
may-17	23	17	6	0	74%	26%	0%	100%
jun-17	23	14	9	0	61%	39%	0%	100%
jul-17	23	19	4	0	83%	17%	0%	100%
ago-17	23	19	4	0	83%	17%	0%	100%
sep-17	23	16	7	0	70%	30%	0%	100%
oct-17	23	21	2	0	91%	9%	0%	100%
nov-17	23	20	3	0	87%	13%	0%	100%
dic-17	23	19	4	0	83%	17%	0%	100%
ene-18	23	21	2	0	91%	9%	0%	100%
feb-18	23	20	3	0	87%	13%	0%	100%
mar-18	23	21	2	0	91%	9%	0%	100%
Promedio total	23,0	18,3	4,7	0,0	80%	20%	0%	100%

Nota: Alejandra Zelaya

La Tabla 24 Movimientos taladro corriente, en cuanto al inventario, evidencia que no se confeccionaron compras, por lo que siempre han tenido 23 taladros corrientes durante el periodo analizado. En promedio por mes, el 80% se alquiló, el 20% estuvo en mantenimiento y el 0% restante se mantuvo en *stock*.

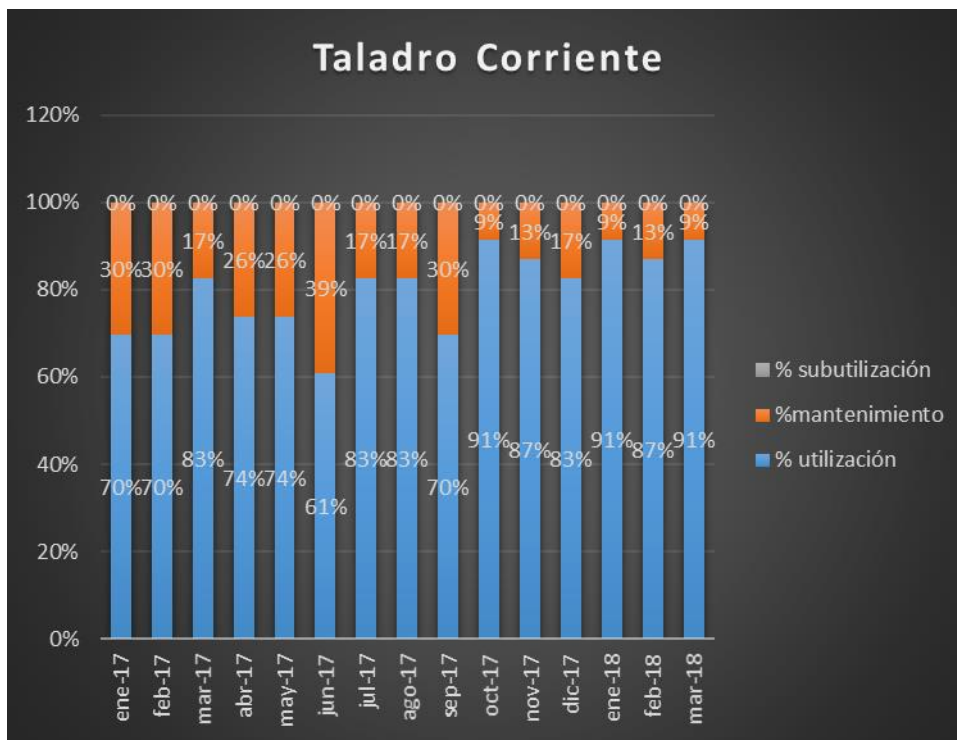
Tabla 25 Máximos y Mínimos taladro corriente

Máximo de utilización	21
Máximo de mantenimiento	9
Mínimo de utilización	14
Mínimo de mantenimiento	2

Nota: Alejandra Zelaya

Según la Tabla 25 Máximos y Mínimos taladro corriente, se indica que el máximo de utilización promedio por mes es de 21 y el mínimo es de 14. Con respecto al mantenimiento, el máximo promedio por mes es de 9 y el mínimo es 2.

Figura 37 Gráfico movimientos taladro corriente



Nota: Tabla 24 Movimientos taladro corriente

En la Figura 37 Gráfico movimientos taladro corriente, se puede observar que su rotación es alta, su mantenimiento es constante; asimismo, a través del periodo analizado, representa el 34%. Se puede notar que la mayoría de los meses todas los taladros corrientes estuvieron en alquiler y el 100% se mantiene en alquiler o en mantenimiento.

Taladro Percusión

Tabla 26 Movimientos taladro percusión

Mes	Inventarao	Maquinaria utilizada	Mantenimiento	Stock	% utilización	%mantenimiento	% subutilización	total
ene-17	28	26	2	0	93%	7%	0%	100%
feb-17	28	26	2	0	93%	7%	0%	100%
mar-17	28	26	2	0	93%	7%	0%	100%
abr-17	28	27	1	0	96%	4%	0%	100%
may-17	28	26	2	0	93%	7%	0%	100%
jun-17	28	26	2	0	93%	7%	0%	100%
jul-17	28	26	2	0	93%	7%	0%	100%
ago-17	28	27	1	0	96%	4%	0%	100%
sep-17	29	27	1	1	93%	3%	3%	100%
oct-17	29	27	2	0	93%	7%	0%	100%
nov-17	29	27	2	0	93%	7%	0%	100%
dic-17	29	28	1	0	97%	3%	0%	100%
ene-18	29	27	2	0	93%	7%	0%	100%
feb-18	29	27	2	0	93%	7%	0%	100%
mar-18	29	27	2	0	93%	7%	0%	100%
Promedio total	28,5	26,7	1,7	0,1	94%	6%	0%	100%

Nota: Alejandra Zelaya

La Tabla 26 Movimientos taladro percusión, en cuanto al inventario, evidencia que se efectuó una compra en el mes de setiembre del 2017, el inventario aumentó de 28 a 29 durante el periodo analizado. En promedio por mes, el 94% se alquiló, el 6% estuvo en mantenimiento y el 0% restante se mantuvo en stock.

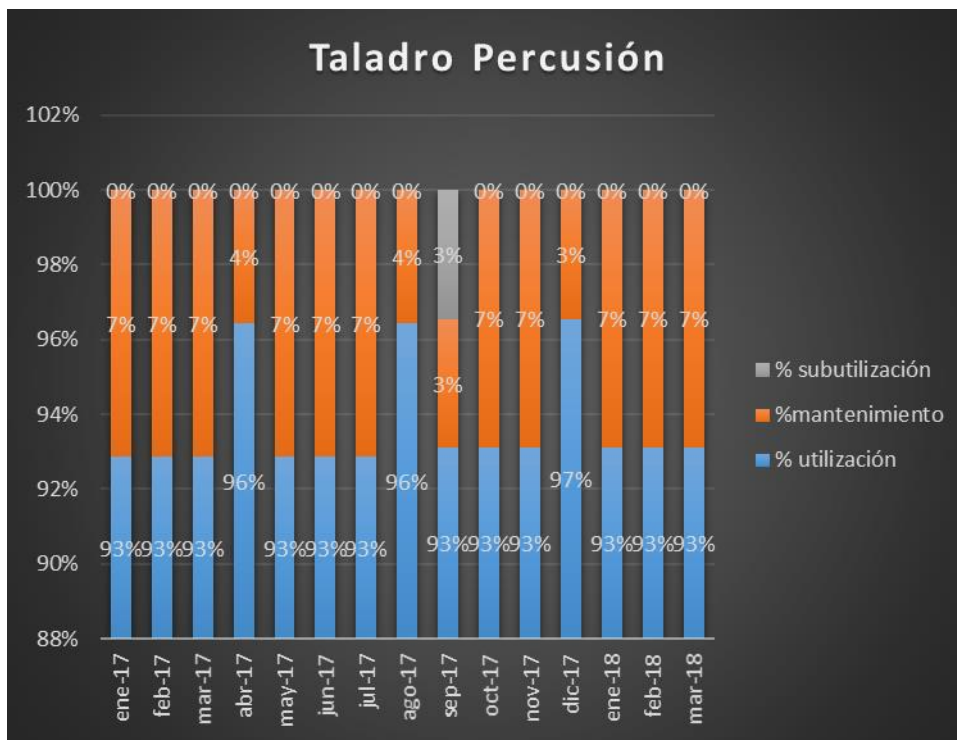
Tabla 27 Máximos y Mínimos taladro percusión

Máximo de utilización	28
Máximo de mantenimiento	2
Mínimo de utilización	26
Mínimo de mantenimiento	1

Nota: Alejandra Zelaya

Según la Tabla 27 Máximos y Mínimos taladro percusión, indica que el máximo de utilización promedio por mes es de 28 y el mínimo es de 26. Con respecto al mantenimiento, el máximo promedio por mes es de 2 y el mínimo es 1.

Figura 38 Gráfico movimientos taladro percusión



Nota: Tabla 26 Movimientos taladro percusión

En la Figura 38 Gráfico movimientos taladro percusión, se puede observar que su rotación es alta, su mantenimiento es constante a través del periodo analizado; representa el del 34% lo cual es constante durante meses. Se puede notar que durante la mayoría de los meses, todos los taladros corrientes estuvieron en alquiler y el 100% se mantiene en alquiler o en mantenimiento.

Análisis de causas

Diagrama ishikawa

El diagrama Ishikawa busca enlistar las causas que generan el problema de faltantes en la materia prima y el producto terminado. Estas causas se dividen en las 6M que se tienen a continuación. El diagrama se encuentra en la Figura 39 Diagrama de Ishikawa.

Para la elaboración del diagrama

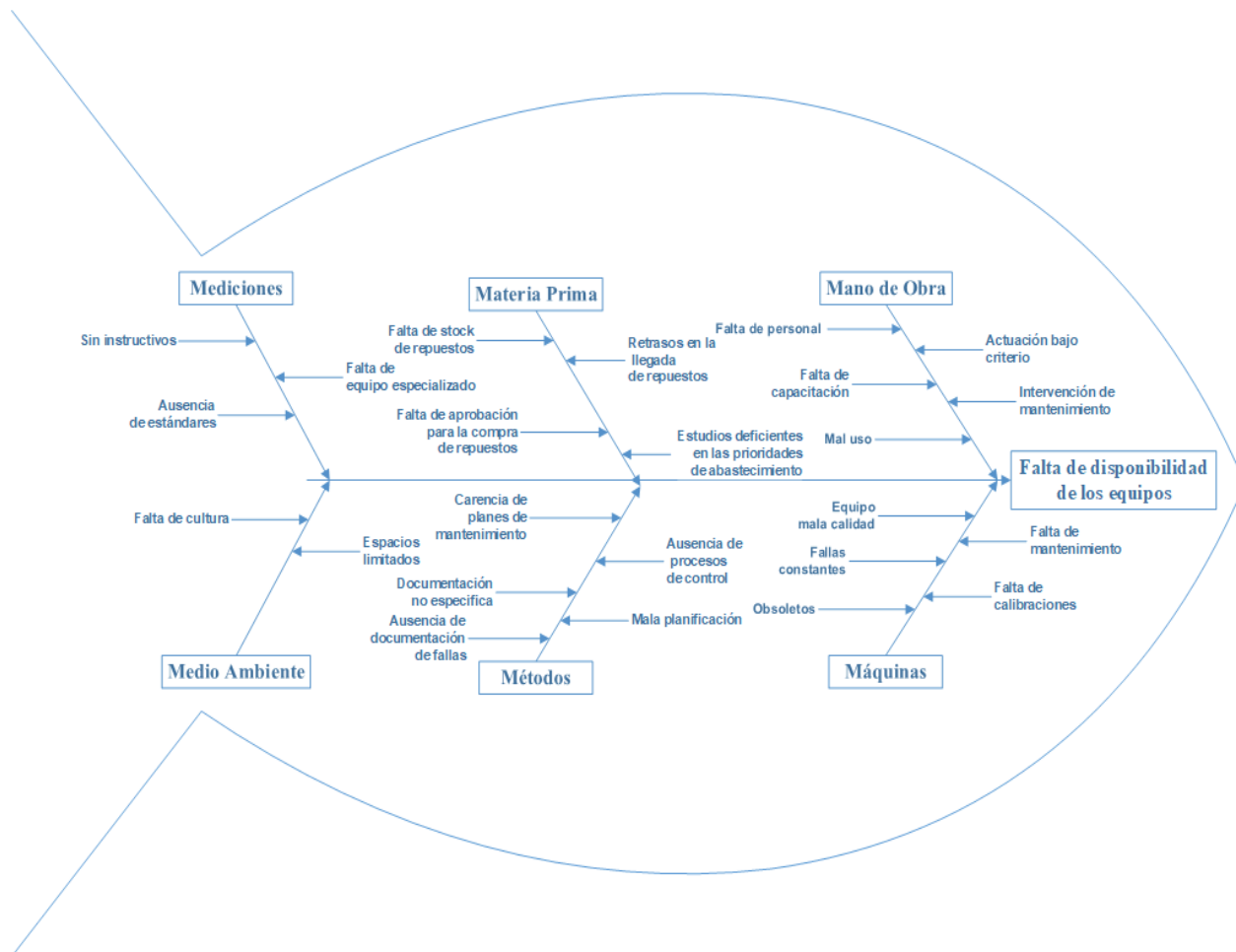
...es posible proceder de dos formas: con la primera se trata de enlistar todos los problemas identificados, tipo “lluvia de ideas”, y de esta manera intentar jerarquizar cuáles son principales y cuáles son sus causas; la otra forma consiste en identificar las ideas principales y ubicarlas directamente en los “huesos primarios” y después comenzar a identificar causas secundarias, que se ubicaran en los “huesos pequeños”, que se desprenderán todos de las ramas principales (Romero Bermúdez & Díaz Camacho, 2010, pág. 3).

Según lo destacado anteriormente, se enlistan las causas obtenidas mediante una lluvia de ideas para determinar las que influyen de mayor manera en el efecto; a continuación se tienen las causas que generan el problema o el efecto de falta de disponibilidad de equipos en la empresa. Para las mediciones se determinó, que la maquinaria no cuenta con instructivos ni estándares de medición y falta de equipo especializado para diagnósticar las fallas. En cuanto a la materia prima, se determinó la falta de repuestos, falta de aprobación de compra, estudios deficientes en las prioridades de abastecimiento y retrasos en la llegada de repuestos.

La mano de obra carece de personal para brindar mantenimiento, falta capacitación, hay un mal uso de la herramienta, la actuación es bajo criterio y se intervienen los mantenimientos. En el caso del medio ambiente no hay cultura del buen uso de la maquinaria ni de la importancia de los tipos de mantenimiento.

Para los métodos la carencia de planes de mantenimiento, no existe documentación específica, hay ausencia de procesos de control y de documentación de fallas además de mala planificación. Y por último, la maquinaria cuenta con equipos de mala calidad, hay fallas constantes, maquinaria obsoleta, hace falta mantenimiento y calibraciones.

Figura 39 Diagrama de Ishikawa



Nota: Alejandra Zelaya

El análisis de las causas consta de un estudio para determinar cuáles son las causas que generan el mayor impacto y las que se deben de atacar primordialmente; se realizó una encuesta a los colaboradores de la empresa. Este estudio inicia por el cálculo de la muestra, luego se genera la encuesta, se tabulan los resultados y se concluye con un diagrama de Pareto.

Tamaño de muestra

Se realizó una encuesta a los colaboradores para medir cuáles son las causas que afectan la disponibilidad de los equipos; para esta se tomó el tamaño de muestra mediante la fórmula de población infinita. El cálculo de la muestra es el siguiente de la Figura 40 Fórmula Población Infinita.

Figura 40 Fórmula Población Infinita

$$n = \frac{Z^2 p(1-p)}{m^2}$$

Nota: Walter López Moreno

n = Muestra

Z = Valor de la distribución de Gauss

P = Proporción de individuos que poseen la característica.

Q = 1-p

m = Error que se prevé cometer.

Para calcular la muestra en las poblaciones finitas, se puede utilizar la fórmula de proporciones Figura 41 Cálculo de Muestras Poblaciones Finitas.

Figura 41 Cálculo de Muestras Poblaciones Finitas

$$n = \frac{Z_a^2 \cdot N \cdot p \cdot q}{i^2(N-1) + Z_a^2 \cdot p \cdot q}$$

Nota: Walter López Moreno

N= Población

Z = Valor de la distribución de Gauss

P = Proporción de individuos que poseen la característica.

Q = 1-p

i = Error que se prevé cometer.

Figura 42 Cálculo de la muestra

$$n = \frac{1.64^2 * 59 * 0.05 * 0.95}{0.05^2 * (59 - 1) + 1.64^2 * 0.05 * 0.95} = 28$$

Nota: Alejandra Zelaya.

Tabla 28 Tabla Cálculo

Cálculo de la muestra	
Tamaño de Población	59
Nivel de confianza Z	1,64
Proporción	0,05
Q proporción restante	0,95
error estimado	0,05
denominador fórmula	7,54
numerado fórmula	0,27
Tamaño de muestra	27,63

Tabla 29 Encuesta de Causas

Causa	Probable	Frecuente	Recurrente
Sin instructivos	x		
Ausencia de estándares	x		
Falta de equipo especializado		x	
Falta de stock de repuestos			x
Falta aprobación de compras		x	
Retrasos en la llegada de repuestos		x	
Estudios deficientes en las prioridades de abastecimiento		x	
Falta de personal para mantenimiento			x
Falta de capacitación	x		
Mal uso de los equipos	x		
Actuación bajo criterio	x		
Intervención de mantenimiento			x
Falta de Cultura	x		
Espacios limitados	x		
Carencia de planes de mantenimiento			x
Documentación específica	x		
Ausencia de procesos de control	x		
Mala planificación de la solicitud		x	
Equipo de mala calidad		x	
Fallas constantes			x
Equipos Obsoletos		x	
Falta de mantenimiento			x
Falta de calibración	x		

Criterio	
1	PROBABLE
2	FRECUENTE
3	RECURRENTE

Nota: Alejandra Zelaya

Tabla 30 Compilación datos encuesta

Causa	Total
Falta de personal para mantenimiento	86
Intervención de mantenimiento	75
Falta de mantenimiento	70
Fallas constantes	66
Falta de stock de repuestos	57
Carencia de planes de mantenimiento	52
Estudios deficientes en las prioridades de abastecimiento	22
Retrasos en la llegada de repuestos	17
Equipo de mala calidad	15
Falta de Cultura	15
Equipos Obsoletos	14
Mala planificación de la solicitud	13
Falta de calibración	10
Falta de equipo especializado	10
Falta de capacitación	9
Falta aprobación de compras	8
Ausencia de procesos de control	7
Actuación bajo criterio	7
Ausencia de estándares	6
Mal uso de los equipos	6
Espacios limitados	5
Sin instructivos	5
Documentación específica	4

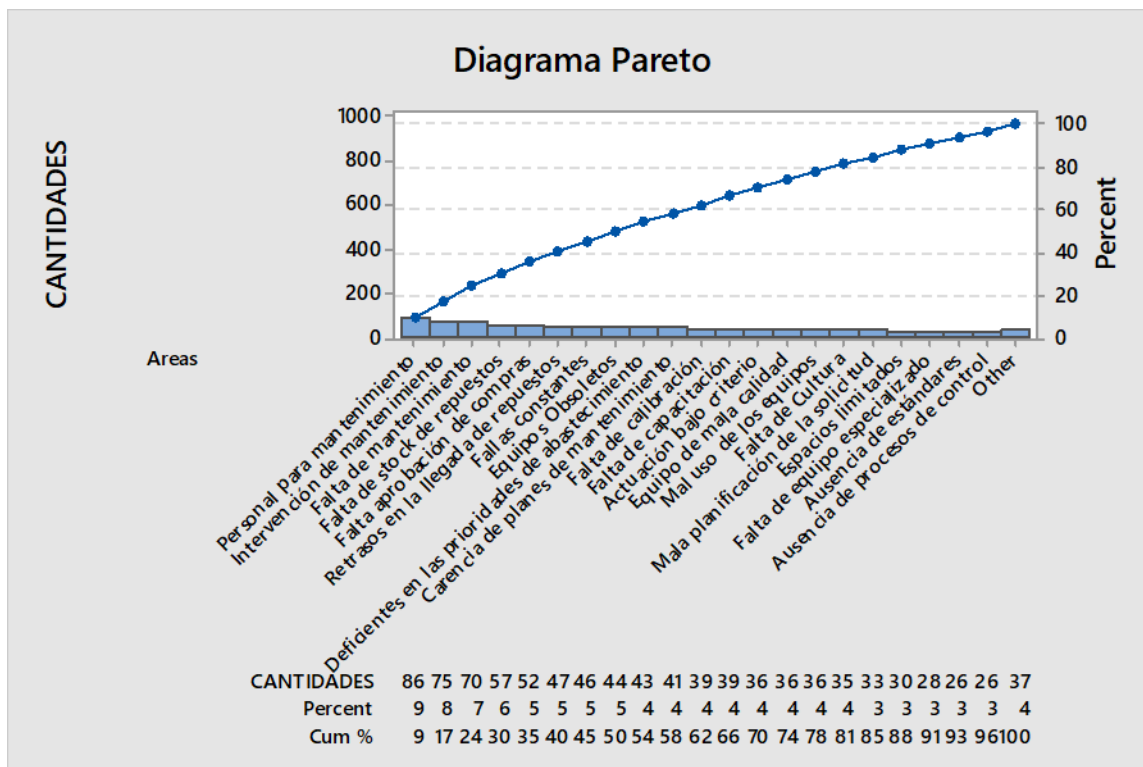
Nota: Alejandra Zelaya

Diagrama de Pareto

El diagrama de Pareto:

...consiste en un método gráfico para determinar cuáles son los problemas más importantes de una determinada situación y por consiguiente, las prioridades de intervención. Permite identificar los factores o problemas más importantes en función de la premisa de que pocas causas producen la mayor parte de los problemas y muchas causas carecen de importancia relativa (Arnoletto, 2006, pág. 63).

Figura 43 Diagrama de Pareto



Nota: Alejandra Zelaya

En el diagrama de Pareto se tiene que el 80% de las causas del problema es la mano de obra, la maquinaria y los materiales. Por lo cual se puede concluir que lo que afecta por una parte es la falta de personal para realizar los mantenimientos y no tener intervenciones, la mala calidad de la maquinaria que ocasiona fallas constantes, la falta y retrasos de la llegada de repuestos, la deficiencia en las prioridades de abastecimiento y la carencia de planes de mantenimiento. Por ello estas causas se deben controlar para dar una solución al problema de falta de disponibilidad de equipos en la empresa.

Clasificación de variables

Las causas establecidas en el diagrama anterior se proceden a clasificar en asignables, no asignables, controlables, y no controlables, buscando determinar aquellas que se pueden eliminar.

Esto se encuentra en la Tabla 31 Clasificación de las causas donde se enlistan las causas definidas bajo en las 6M en el diagrama Ishikawa, que son la materia prima, los materiales, el medio ambiente, la mano de obra, las mediciones y los métodos.

Tabla 31 Clasificación de las causas

Clasificación	Causa	Asignable	No Asignable	Contrable	No controlable
Mediciones	Sin instructivos	X		X	
	Ausencia de estándares	X		X	
	Falta de equipo especializado	X		X	
Materia Prima	Falta de stock de repuestos	X		X	
	Falta aprobación de compras	X		X	
	Retrasos en la llegada de repuestos	X		X	
	Estudios deficientes en las prioridades de abastecimiento	X		X	
Mano de Obra	Falta de personal para mantenimiento	X		X	
	Falta de capacitación	X		X	
	Mal uso de los equipos	X		X	
	Actuación bajo criterio	X		X	
	Intervención de mantenimiento	X		X	
Medio Ambiente	Falta de Cultura	X		X	
	Espacios limitados	X		X	
Métodos	Carencia de planes de mantenimiento	X		X	
	Documentación específica	X		X	
	Ausencia de procesos de control	X		X	
	Mala planificación	X		X	
Máquinas	Equipo de mala calidad	X		X	
	Fallas constantes	X		X	
	Equipos Obsoletos	X		X	
	Falta de mantenimiento	X		X	
	Falta de calibración	X		X	

Nota: Alejandra Zelaya

En la tabla anterior se muestran las causas clasificadas en función de ser medidas y controladas y así dar solución al problema planteado de falta de capacidad instalada en la empresa.

Clasificación de las causas en plano mental, tecnológico y admirativo

A continuación en la Tabla 32 Clasificación de planos están las causas anteriores clasificadas según los planos mental, tecnológico y administrativo para determinar las áreas de mejora.

Tabla 32 Clasificación de planos

Causa	Mental	Tecnológico	Administrativo
Sin instructivos			X
Ausencia de estándares			X
Falta de equipo especializado		X	
Falta de stock de repuestos			X
Falta aprobación de compras			X
Retrasos en la llegada de repuestos			X
Estudios deficientes en las prioridades de abastecimiento			X
Falta de personal para mantenimiento			X
Falta de capacitación			X
Mal uso de los equipos		X	
Actuación bajo criterio			X
Intervención de mantenimiento			X
Falta de Cultura	X		
Espacios limitados		X	
Carencia de planes de mantenimiento			X
Documentación específica			X
Ausencia de procesos de control			X
Mala planificación			X
Equipo de mala calidad		X	
Fallas constantes		X	
Equipos Obsoletos		X	
Falta de mantenimiento			X
Falta de calibración		X	

Nota: Alejandra Zelaya

La tabla anterior muestra la clasificación de las causas según los planos donde se tiene el plano mental que se interpreta como el pensamiento del personal de la empresa y se obtiene que no hay una cultura para aplicar planes de mantenimiento ni un buen uso del equipo.

El plano tecnológico se refiere a avances tecnológicos, en cuanto a este se carece de equipo especializado para realizar diagnóstico de las fallas, el mal uso de los equipos, espacios limitados, la maquinaria que se compra es de mala calidad, se dan fallos constantes, trabajan con equipos obsoletos y sin calibrar.

Por último, en el plano administrativo se encuentra la falta de instructivos, ausencia de estándares, falta de *stock* de repuestos, falta de aprobación de compras, retrasos en la llegada de repuestos, estudios ineficientes en las prioridades de abastecimiento, falta de personal para mantenimiento, falta de capacitación, actuación bajo criterio, intervención en mantenimiento, carencia de planes de mantenimiento, falta de documentación específica, ausencia de procesos de control, mala planificación y falta de mantenimiento.

TPM

De acuerdo con las entrevistas realizadas a los encargados de mantenimiento, la gerencia y los operarios, se determinó que actualmente la compañía no cuenta con un mantenimiento productivo total de manera estructurada y documentada. Equipos y Mantenimientos Pedro Sobalbarro Sánchez S.A., en el Departamento de mantenimiento cuenta con los siguientes mantenimientos:

Mantenimiento planificado

La compañía no cuenta con mantenimiento rutinario y periódico, que se base en valoraciones correctas de las condiciones del equipo, planificado en función de las prioridades y los recursos actuales y futuros.

Mantenimiento preventivo

Este mantenimiento es realizado mediante mediciones hechas a través del tiempo y obteniendo información que permita anticiparse a los hechos a través de una buena interpretación de resultados, el costo de este tipo de mantenimiento costoso debido al alto nivel de análisis que exige para su correcto funcionamiento pues el ideal es poder conocer cuáles son las causas de daños, averías y paradas para asimismo implementar estrategias a tiempo.

Debido a que la empresa no documentan los mantenimientos efectuados, no se realizan estos de manera predictiva para poder planificar con anterioridad y obtener los beneficios que brinda este tipo de mantenimiento.

Mantenimiento predictivo

La empresa no cuenta con ningún mantenimiento predictivo, ya que en la actualidad solo se realizan las intervenciones para los cambios correctivos cuando se da la falla o la falla es irreparable.

Mantenimiento correctivo

Se realiza cuando la maquinaria se daña por alguno de los defectos. Este tipo de mantenimiento es el único con el que se cuenta, ya que la mayoría de los equipos siempre esta en alquiler y no existe la suficiente maquinaria en *stock* para poder rotarla y brindar otro tipo de mantenimiento.

Pilares del TPM

Para la implementación del TPM es necesario contar con estos pilares debidamente desarrollados dentro de la compañía, por lo cual se procede a analizar los puntos que no cumple la organización para crear su debida estrategia correctiva.

5s Organización, orden y limpieza del puesto de trabajo.

La compañía no cuenta con estándares para monitorear constantemente las 5S, debido a que los operarios no solo se dedican a realizar mantenimiento a las máquinas; estas se acumulan en la bodega de manera desordenada, no hay el espacio suficiente para todas las maquinarias que se reciben por día.

Seguridad y entorno.

Este pilar es uno de los más importantes, sin embargo, no se cuenta con estudios de prevención de accidente.

La empresa actualmente utiliza todos los dispositivos de seguridad y el taller está diseñado bajo la normas del código eléctrico de Costa Rica. Adicionalmente, utilizan todo el equipo de protección especial como:

- Zapatos dieléctricos
- Escalera de fibra de vidrio
- Arnés para trabajos en altura superior al 1,8 metros.
- Extintores

- Se tiene establecido un protocolo de seguridad para la mantención de los equipos.

Mantenimiento áreas de soporte.

No se cuenta con ningún tipo de mantenimiento que permita tener una buena comunicación entre los involucrados, ello ocasiona errores durante las intervenciones. Esto se da porque el resto de los operadores desconocen las acciones realizadas a los equipos, pues no se les comunica a los compañeros.

Mantenimiento de calidad.

La organización actualmente no cuenta con ningún tipo de recursos para conocer el estado de los equipos, solamente se realizan los mantenimientos correctivos para volver a poner en funcionamiento las máquinas.

Mantenimiento autónomo.

Debido a que los operadores encargados del manejo de cada herramienta están en constante rotación, muchos no se encuentran debidamente capacitados y no conocen el estándar de cada intervención, ya sea de menor o mayor dificultad. Los operadores de mantenimiento son enseñados por un mecánico con gran experiencia y conocimiento de los métodos, al igual que los compañeros de Set Up los cuales reciben su entrenamiento por un compañero con altos conocimientos.

Por todo esto, es factible decir que en cuanto al mantenimiento autónomo, los operadores no se encuentran lo suficientemente entrenados para realizar sus actividades sin problemas.

Mejoras enfocadas.

Equipos y Mantenimientos Pedro Sobalbarro Sánchez S.A. no desarrolla procesos de mejora continua, cada problema que está afectando lo resuelven en el momento que se da, pero no se documenta.

Las 6 grandes pérdidas

El principal objetivo que busca el TPM, es erradicar las 6 grandes pérdidas, para ello se procede a analizar cómo se encuentra la empresa.

Averías.

Fallas inesperadas por falta de mantenimiento u otras causas; en cuanto al equipo, la mayoría de las ocasiones se detiene porque el que se compra no es de buena calidad y la falta de mantenimientos, lo cual es una avería no programada ante la cual no se puede estar preparado por ser una causa asignable.

Puesto a punto y ajuste.

Falta de operadores, pues se presentan más fallas de las que se pueden atender inmediatamente. Ausencia de materiales para realizar la intervención.

Micro paradas.

Son las paradas que no requieren de los operadores de mantenimiento, estas se dan por distracciones de los operadores.

Velocidad reducida.

Se producen por el desgaste de la máquina, falta de mantenimiento, para esto el personal de mantenimiento junto con el de mejora continua trabajan en un proyecto para mejorar la apertura y cierre de la prensa y aumentar la velocidad.

Rechazos en el arranque.

Tiempos perdidos: como a las máquinas solo se les hace mantenimiento correctivo sobre la falla que presentan, muchas de estas vuelven a fallar y eso requiere de una nueva intervención.

Rechazos de producción.

Cuando existe una mala comunicación entre los diferentes compañeros de mantenimiento, se producen errores que impiden el buen funcionamiento de las herramientas y se debe realizar una nueva intervención.

CAPÍTULO V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

La compañía cuenta únicamente con mantenimiento correctivo; se corrigen las averías o fallas solo cuando estas se presentan, por ende las maquinarias son impredecibles, poco fiables y su vida útil se acorta. No contar con un plan de mantenimiento impide el diagnóstico fiable de las causas que provocan la falla, pues se ignora si falló por mal trato, por abandono, por desconocimiento del manejo o por desgaste natural. Por ello, las averías se repiten una y otra vez.

Se determinó que la empresa no cuenta con indicadores de mantenimiento, tales como determinar cuánto tiempo los equipos están fuera de servicio, las existencias en bodega, cuánta carga de trabajo va a tener el personal de mantenimiento, si hay un aumento o disminución en el costo de las reparaciones, falta de recursos económicos en el momento que se deben adquirir repuestos debido a la falta de previsión de dichas fallas, entre otros.

De acuerdo con el análisis de las causas, se evidencia que en el departamento de mantenimiento que el 80% de las causas del problema corresponde a la falta de personal para cumplir con las labores básicas de mantenimiento correctivo y otra actividad adicional que surja durante el turno, lo cual genera el aumento del tiempo y la cantidad de máquinas detenidas simultáneamente. La falta y retrasos de la llegada de repuestos, la deficiencia en las prioridades de abastecimiento y la carencia de planes de mantenimiento.

En cuanto al análisis de los equipos, aquellos de mayor rotación corresponde a las esmeriladoras 9", esmeriladoras 4+1/2", lijadoras de vibración, máquinas plasma, máquinas inversoras, máquinas welding, taladro corriente y percusión. Durante los meses analizados, se determinó que hubo en promedio un 0% en *stock*, si no estaban en alquiler se encontraban en mantenimiento. Todos los meses se les debe dar mantenimiento a estos equipos, y al no haber en *stock*, solo se les realiza mantenimiento correctivo.

Se determinó que la empresa no brinda ningún tipo de capacitación enfocada principalmente a nuevas tecnologías que ayude a realizar un diagnóstico y reparación más eficiente, para aumentar el desempeño y las destrezas del personal de mantenimiento.

Se puede concluir que las condiciones actuales de operación de la empresa Equipos y Mantenimientos Pedro Sobalbarro Sanchez S.A., no son las adecuadas para garantizar un servicio de calidad, debido a que no cuenta con ningún tipo de Mantenimiento Productivo Total implementado que les permita evaluar su desempeño frente a la productividad en la ejecución de los trabajos.

Recomendaciones

Se recomienda la implementación del un plan de mantenimiento preventivo, que permita mantener un nivel de servicio determinado en los equipos, programando las intervencions de sus puntos vulnerables en el momento más oportuno. Se interviene, aunque el equipo no dé ningún síntoma de tener un problema.

Seguido de la implementación del mantenimiento preventivo, se sugiere establecer indicadores de mantenimiento que sean los adecuados para aportar información útil para mejorar los resultados del departamento y poder medir la evolución de los aspectos más importantes que definen o determinan la calidad de su trabajo.

Se debe crear un plan de capacitación que funcione como instructivo, para el entrenamiento de nuevos colaboradores. Esto asegura que todos sigan un estándar con el cual se disminuyan los errores del mantenimiento correctivo.

Es indispensable la creación de un manual que facilite los pasos, los involucrados y los recursos necesarios para el Sistema de Mantenimiento Productivo Total. Se debe llevar toda la documentación necesaria que permita mejorar progresivamente la implementación del TPM.

Por último, es necesario implementar de forma ordenada y continua las metodologías que permitan conocer la demanda de los equipos de mayor rotación, sólo de esta manera se conocerá cuáles cantidades son óptimas a mantener en bodega para poder implementar los diferentes tipos de mantenimiento sin dejar de satisfacer la demanda.

CAPÍTULO VI. PROPUESTA

En este apartado final, se desarrollan todas las propuestas que permitan el cumplimiento de los objetivos planteados, así como mejorar todos los males encontrados en el capítulo de diagnóstico. Para cubrir estos vacíos en el proceso se van a realizar las siguientes propuestas.

Asimismo, es necesaria la implementación de un plan de mantenimiento preventivo para la maquinaria de la empresa Equipos y Mantenimientos Pedro Sobalbarro Sánchez S.A.; para ello, se debe tener en cuenta las necesidades de cambio e implementación que esta requiere en cuanto a su estructura.

También, es necesario establecer indicadores de mantenimiento que permitan trabajos eficientes y que se puedan controlar y planificar las acciones llevadas a cabo en el mantenimiento para así reducir costes en mano de obra y paros de las máquinas.

Quizá el punto más importante es el diseño del mantenimiento productivo total, ya que este “trata de asegurar que el equipo de fabricación se encuentre en perfectas condiciones y que continuamente produzca componentes de acuerdo con los estándares de calidad en un tiempo de ciclo adecuado” (Rajadell & Sánchez, 2010).

A continuación, se muestra el desarrollo del diseño para el éxito del proyecto:

Sistema de Gestión del Mantenimiento Productivo Total

El sistema de TPM cubre, como principal objetivo, asegurar que los equipos se encuentren en las mejores condiciones, mediante los mantenimientos de calidad y constantes que permitan alargar la vida del equipo considerablemente.

El sistema incluye cada uno de estos factores que unidos conforman la perfecta implementación del TPM dentro de la compañía, es necesario ampliar cada elemento para su mejor entendimiento.

Fiabilidad

Según el autor (Sols, 2000) la fiabilidad se define como: “A mayor fiabilidad, menor mantenimiento correctivo necesario; el mantenimiento preventivo necesario (ámbito y frecuencia de ejecución) depende mayormente del tipo de sistema y sus perfiles de utilización.”

Es necesario contar con la capacidad de trabajar constantemente durante un periodo determinado sin detener el equipo para una intervención. Para esto, se debe contar con un adecuado mantenimiento preventivo, sin embargo la compañía no cuenta con ello, por lo cual no se indica el tiempo en el cual se debe realizar la intervención. Por lo que más adelante se desarrollará el pilar mantenimiento preventivo, donde se indicará cómo la empresa debe realizarlo.

También se deben realizar capacitaciones constantes a los técnicos pues, aunque se realicen las intervenciones en el tiempo adecuado, es importante que se hagan de la manera correcta en la cual se puede asegurar el buen funcionar durante un periodo adecuado hasta el siguiente mantenimiento.

Mantenibilidad

Según Creus Sole, (2005) se define como:

El conjunto de factores o elementos (medios de verificación, personal, tiempo empleado, calibración, documentación, repuestos, etc.) de que se dispone para realizar el mantenimiento de un sistema. La mantenibilidad está relacionada con la fiabilidad; cuanto más difícil sea realizar las tareas de mantenimiento (manuales defectuosos, equipo de difícil accesibilidad), tanto más probable será de que aparezcan nuevas averías y disminuya la fiabilidad del sistema (pág. 95).

Para aumentar la mantenibilidad, es necesario contar con las herramientas debidamente rotuladas para evitar tiempos muertos por repuestos o cualquier otro equipo perdido durante la intervención, además es necesario inculcar a los operadores una filosofía de mantenimiento constante en la cual están encargados de mantener libre de polvo y suciedad las diferentes máquinas.

- La capacitación de la filosofía de mantenimiento estará a cargo del gerente de mantenimiento.
- Esta capacitación tendrá una duración total de diez horas que serán comprendidas en los dos días de entrenamientos y realizadas en las instalaciones de la empresa.
- Al final de cada día se realizará una evaluación por parte del gerente de mantenimiento.

.En la Tabla 33 Plan de entrenamiento TPM se presenta un plan de entrenamiento para la introducción de la filosofía del TPM en el personal que labora en la empresa.

Tabla 33 Plan de entrenamiento TPM

PLAN DE ENTRENAMIENTO PARA TÉCNICOS Y SUPERVISORES	
Día 1	Día 2
Explicación del concepto TPM	Procedimientos de inspección de los equipos estacionarios
Tiempo de implementación del TPM	Situación actual del área de operaciones y mantenimiento
Pasos para la implementación del TPM	Proyección estratégica de la planta en 5 años
Objetivos de la empresa	Experiencias y resultados del TPM en otras empresas
Metas a mediano y largo plazo	Conseguir que los operadores se interesen y responsabilicen por su equipo
Maximización de la efectividad de los equipos	
Beneficios del TPM	

Nota: Alejandra Zelaya.

Logística del mantenimiento

Según Sacristán(s.f.) se define como:

Una estrategia técnica de gestión de las actividades de la ingeniería de planta que conduce a satisfacer las necesidades de fabricación y mantenimiento, poniendo a disposición los equipos de producción y los complementos necesarios para un mantenimiento y explotación eficaces (pág. 291).

Para alcanzar explotar las capacidades de las máquinas sin necesidad de constantes paros e intervenciones, es necesario que los operarios y el equipo de mantenimiento trabajen de una manera conjunta ayudándose mutuamente para alargar la vida del equipo, para ello se muestra en la Figura 44 Actividades en un sistema con TPM.

Figura 44 Actividades en un sistema con TPM

PLAN DE ACTIVIDADES EN UN SISTEMA DE MANTENIMIENTO TPM			
Actividad	Tipo	Personal Producción	Personal Mantenimiento
Producción	Preparación	X	
	Ajustes	X	
	Operación	X	
Mantenimiento Primer Nivel	Limpieza	X	
	Engrase	X	
	Reaprietes	X	
	Inspecciones diarias	X	
Mantenimiento Preventivo de Segundo Nivel	Inspecciones y MOC		X
	Operaciones de Seguridad y Normativa		X
	Grandes operaciones		X
Mantenimiento Correctivo	Averías reparables desde el puesto de trabajo	X	
	Averías no reparables desde el puesto de trabajo		X
Modificaciones y Mejoras	Operativas	X	
	Automatizaciones		X
	Reflotamientos y actualizaciones		X

Nota: Francisco Javier González Fernández.

Las actividades antes mencionadas se deben realizar de la siguiente manera, tal y como están descritas en la Tabla 34 Plan para el desarrollo de actividades del sistema de mantenimiento TPM:

Tabla 34 Plan para el desarrollo de actividades del sistema de mantenimiento TPM

Tipo	Desarrollo
Preparación Ajustes Operaciones	<p>Los operarios antes de empezar a trabajar deben preparar sus equipos en un tiempo no mayor a un minuto. Para ello se propone el uso de la metodología SMED.</p> <p>El método se desarrolla en cuatro etapas.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Ajustes internos y externos 2. Separación de los ajustes internos y externos 3. Transformación de ajustes internos en externos 4. Racionalización de todos los aspectos de la operación de ajuste.
Limpieza engrase Reaprietes Inspecciones diarias	<p>Los Pasos Básicos para el Desarrollo del Proyecto Limpieza y Lubricación son:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Conducir limpieza inicial como una inspección • Eliminar fuentes de contaminación y áreas inaccesibles • Establecer estándares de lubricación y limpieza • La inspección general con lista de chequeo, se le toma una fotografía a la maquinaria o equipo para que luego se observen los resultados del antes y el después. • La inspección autónoma, el operario ha desarrollado más habilidades de mantenimiento • Mejorar la administración del lugar de trabajo. • Participar en el mejoramiento de los equipos y de la calidad total.
Inspecciones y MOC Operaciones de Seguridad y Normativa Grandes operaciones	<ul style="list-style-type: none"> • Llevar a cabo un horario con tareas de inspeccion del mantemininio preventivo • Entrenar a todos los operadores , con rutinas diarias de tareas para mantenimiento preventivo. • Establecer políticas de salud ocupacional. • Ayudar a diagnosticar , desarrollar e implementar estrategias del mantenimiento preventivo.
Averías reparables desde el puesto de trabajo Averías no reparables desde el puesto de trabajo	<p>Las averías o labores de mantenimiento, en caso de ser resueltas en el puesto de trabajo se anotan en la ficha de mantenimiento de la máquina, indicando las horas de paro, los materiales utilizados y su coste.</p> <p>En el caso de que no se repare en el puesto de trabajo, se anota en la ficha del equipo la descripción de la tarea, la referencia del parte de trabajo y las horas de paro de la máquina.</p>
Operativas Automatizaciones Reflotamientos y actualizaciones	<p>Desarrollo de conocimiento sobre el funcionamiento de los equipos a través de los estándares de mantenimiento y las normas de limpieza</p> <p>Identificación de temas de seguridad necesarios en la empresa para que el personal sea entrenados</p>

Nota: Alejandra Zelaya.

Estas actividades planteadas muestran una propuesta de las acciones que deben realizar los colaboradores, dependiendo de su área de trabajo, así mejoran la mantenibilidad que va ligado con la confiabilidad de los equipos.

Estos aportes como la limpieza, ajustes que son fáciles de desarrollar por los involucrados generan gran ayuda, ya que si las máquinas se cuidan adecuadamente se evita tener que realizar mantenimientos por motivos innecesarios. Por otra parte, se eliminan algunas causas indirectas que pueden aumentar la rapidez con la que se debe realizar dicho mantenimiento.

Mantenimiento Productivo Total

Quizás la parte más importante de este proyecto es el desarrollo del TPM, ya que se busca mejorar la calidad del proceso, por medio de la eliminación de errores, tanto mecánicos como operativos y además de ello impactar otras áreas dentro de la compañía.

El TPM, no solamente se basa en mantenimientos y prevención de fallas, también ayuda e integra diversos puntos de la compañía. Beneficia al personal, ya que este incluye a todos los colaboradores, desde la alta gerencia hasta los mandos bajos, esto facilita la combinación de ideas y la resolución de problemas de una manera integrada.

Cuando el equipo es intervenido adecuadamente y en el tiempo justo, este tiene un aumento en su productividad, desempeño y disponibilidad, ya que los equipos siempre van a requerir de mantenimiento. Los equipos se deben detener para la labor, pero realizando un previo mantenimiento y un adecuado método se elimina la probabilidad de fallas durante el proceso de uso de las máquinas, lo cual disminuye la cantidad de equipos detenidos por mal manejo.

Además de esto, se mejora el proceso asegurando el funcionamiento óptimo, esto va de la mano de la disminución de los defectos, lo que a su vez aumenta la calidad. Por todo lo anteriormente mencionado, es vital la integración adecuada del TPM, ya que es una herramienta muy poderosa para la empresa, como se puede apreciar en Figura 45 Áreas de impacto del TPM.

Figura 45 Áreas de impacto del TPM

<u>PROCESO</u> Apoyo al jit asegurando el funcionamiento óptimo del equipo.	<u>GENTE</u> Incrementa la motivación de habilidades. Involucra apropiadamente a todos los niveles. Se vale de grupos pequeños internacionales.
<u>CALIDAD</u> Provee estrategias para lograr cero defectos.	<u>EQUIPO</u> Incrementa la disponibilidad y el desempeño. Reduce los costos mediante mejoras diseñadas. Aumenta el ciclo de vida.

Nota: Alejandra Zelaya

Para la integración del Mantenimiento Productivo Total, es fundamental tomar en cuenta objetivos, metas responsables para lograr integrar el sistema dentro de la organización, para ello se procede a explicarlo a continuación.

Objetivos del sistema TPM

Asegurar que el equipo de fabricación se encuentre en perfectas condiciones y que continuamente produzca componentes de acuerdo con los estándares de calidad en un tiempo de ciclo adecuado. La idea fundamental es que la mejora y buena conservación de los activos productivos sea una tarea de todos, desde los directivos hasta los ayudantes de los operarios. El lean manufacturing exige que cada máquina esté lista para empezar a trabajar en cualquier momento en respuesta a los requerimientos de los clientes (Rajadell & Sánchez, 2010, págs. 139-140).

Es necesario diseñar un sistema capaz de coordinar todas las funciones de la compañía y que a su vez busque alcanzar la excelencia. Es necesario cumplir con el objetivo mencionado, de esta manera asegura el buen funcionamiento de la empresa.

Los objetivos que persigue el mantenimiento productivo total son:

- Maximizar la eficacia global del equipo, lo cual conduce a la mejora de la eficacia global.
- Desarrollar un sistema de mantenimiento productivo para la vida útil del equipo.
- Implicar a todos los departamentos que planifican, diseñan, utilizan o mantienen los equipos en la implantación del TPM.
- Implicar a todos los empleados, desde la alta dirección hasta los trabajadores de los talleres.
- Promover el TPM a través de la motivación: actividades autónomas en pequeños grupos.

Las etapas establecidas para el cumplimiento de los objetivos del TPM, en el orden recomendado, son las siguientes:

1. Para el logro del primer objetivo se implementarán los ocho pilares de manera rápida y menos compleja, con el fin de que se genere un aumento progresivo en los índices de eficiencia global de los equipos en la empresa.

2. El segundo objetivo se establece en este proyecto, donde el objetivo es desarrollar el sistema de mantenimiento productivo total para los equipos.
3. Se constituirá una estructura organizacional de modo que las líneas directrices del TPM expresadas por la dirección se transmitan de modo eficaz hasta la base, y que las iniciativas y las acciones a nivel del terreno asciendan también rápidamente hasta los responsables.
4. La organización requiere de comités y grupos de trabajo, estos comités se desarrollarán en grupo interdisciplinarios para lograr el objetivo de promover la filosofía TPM.

Actividades necesarias para la eliminación de las 6 grandes pérdidas.

Existen 5 actividades que se deben aplicar para mitigar las 6 grandes pérdidas las cuales fueron analizadas en el capítulo anterior.

Estas actividades son:

1. **Mejorar la efectividad de cada equipo.** Es necesario formar equipos interdisciplinarios en los que existan colaboradores de diferentes labores dentro del departamento, con los cuales se puedan generar nuevas estrategias para eliminación de actividades innecesarias.

Se formarán grupos interdisciplinarios conocido como CFT (Cross Functional Team) de 5 personas, conformadas por los departamentos de ventas, administración y mantenimiento. Estas reuniones se desarrollarán una vez a la semana en sesiones de 30 a 60 min.

Funciones de cada miembro:

Es importante que cada miembro del equipo de trabajo conozca su rol y este sea bien definido con el propósito de que la realización del plan sea de manera eficiente.

- **Comunicación**

Una buena comunicación hace que el equipo tenga una buena retroalimentación y los conflictos se puedan resolver en el momento. Esto ayuda a mejorar la eficiencia. Es bueno que el líder promueva la comunicación para obtener todos los beneficios y así el objetivo y las actividades que deben hacer cada miembro sean entendidas y por lo tanto bien ejecutadas.

- **Liderazgo**

El equipo debe determinar su estructura interna y esta apuntar a tener un líder para la toma de decisiones, por lo tanto se recomienda que este defina un sistema ya sea por mayoría o por la opinión de este líder, para la solución de cada problema que se presentará y que actividades se deban realizar

2. **Implantar la mantención autónoma por los operadores.** Fomentar a los empleados encargados de la operación de los equipos que mantengan estos en buen estado, limpios, lubricados y no excediendo sus capacidades, lo que ponga en riesgo los mecanismos de las máquinas.

El desarrollo del pilar de Mantenimiento autónomo se hará bajo los pasos descritos en la metodología del TPM. La implementación total de este pilar es un proceso que puede tardar entre 3 y 5 años dependiendo de las condiciones iniciales en las que se encuentre la empresa.

En la Tabla 35 Pasos para implantar la mantención autónoma, se explicarán los pasos a seguir por los operadores para la realización del mantenimiento autónomo.

Tabla 35 Pasos para implantar la mantención autónoma

Paso	Desarrollo
Paso 1: Limpieza inicial	El primer paso que consiste en limpiar todo el polvo y basura de los equipo se realizará paralelamente a la implementación de la filosofía de las 5S en la planta de producción.
Paso 2: Medidas contra las fuertes averías	Próposito: -Eliminar y evitar accidentes o incidentes al ejecutar actividades de mantenimiento autónomo. -Eliminar pérdidas de tiempo al identificar rápidamente cuáles son los dispositivos de seguridad al personal, máquina y las alimentaciones a la máquina. Cuando realizar o revisar: -Cuando nuevos integrantes toquen las máquinas. -Cuando el equipo instalado sufra modificaciones por iniciativas. -Cuando no se conozcan todos los dispositivos de seguridad de Hombre / Máquina. -Cuando nuevos equipos se instalen en el área.

Paso	Desarrollo
Paso 3: Formulación de estándares de limpieza	<p>Se propuso los estándares que deben cumplir con los siguientes parámetros:</p> <ul style="list-style-type: none"> -Describir el procedimiento paso a paso para limpiar y ajustar el equipo y cada una de sus partes. -Registrar el tiempo que toma realizar cada procedimiento de limpieza e inspección en el equipo -Identificar las herramientas y utensilios necesarios para realizar las actividades de limpieza y ajuste. -El tiempo de limpieza e inspección deberá reducirse a medida que los operadores incrementan su nivel de habilidad.
Paso 4: Verificación Global	<p>En este paso se requiere de una inspección global de los equipos para reparar y detectar los defectos. Para esto se creó un concepto de inspecciones regulares en donde los responsables de cada proceso, con ayuda de las normas de limpieza previamente establecidas, realizaran una verificación general de su entorno.</p>
Paso 5: Verificación autónoma	<p>Se debe comunicar a los operarios que el quinto paso del proceso de implementación del pilar de MA es la verificación autónoma; es decir, tener un criterio para poder medir el rendimiento propio. En la sesiones de MA, antes de la revisión del líder de esa sesión, se realiza una inspección general antes de terminar la jornada y el propio operario es el que juzga su trabajo antes de presentarlo a sus compañeros.</p>
Paso 6: Estandarización	<p>De acuerdo con la teoría del TPM, se propone establecer un estándar de estándares que sea un formato unificado para documentar conocimientos específicos de los responsables de los procesos de tal forma que éstos perduren independientemente de la presencia o no de las personas.</p>

Nota: Alejandra Zelaya.

3. **Implantar un buen sistema de administración de la mantención.** No se cuenta con un sistema en bodegas que se encargue de abastecer las herramientas necesarias y los repuestos para evitar cualquier paro por falta de materiales. Es necesario la existencia del almacén para mantenimiento o una sección de insumos dentro de la empresa, identificando la figura responsable por parte de mantenimiento.

Acontinuación se enumeran los pasos a seguir para establecer un sistema adecuado para la administración de la mantención:

- Realizar un listado del repuesto existente y la organización del mismo.
- Listado de material necesario: combustibles, instrumentación, repuestos de las máquinas, entre otros.

- Listado ABC de materiales (materiales necesarios para ejecutar la función mantenimiento en no menos de un año).
 - Establecimiento de indicadores de indicadores máximos y mínimos de repuestos y maquinaria para tener en stock.
 - Se asignará un espacio para el almacenamiento de los repuestos y maquinarias.
4. **Definir e implementar programas de capacitación.** No se capacita el personal periódicamente, por lo que se debe hacer programas de capacitación.

Esta etapa es la más difícil de todas, ya que significa cambiar la mentalidad del recurso humano hacia un cambio basado en procesos controlados. Siempre existen personas en la empresa que se van a resistir al cambio, pero se debe ser insistentes y constantes en la concientización para lograr un cambio.

En esta etapa se debe capacitar a todo el personal sobre el tema de mantenimiento como una herramienta para mejorar las actividades de la empresa y hacerlos conscientes de lo que significa trabajar con un sistema de mantenimiento de calidad. Las capacitaciones requeridas se dividen en campaña educativa TPM, Eficiencia Global de Producción, cambio de actitud frente a las averías, 5'S y mantenimiento autónomo, mantenimiento preventivo y trabajo en equipo.

- Capacitaciones de la campaña educativa TPM.

En este grupo se encuentran las capacitaciones cuyo objetivo es la sensibilización y divulgación del sistema TPM, las cuales se dan en la etapa inicial del proceso de implementación.

- Capacitaciones con respecto a la Eficiencia Global de Producción.

Incluyen temas como Eficiencia Global de Producción, cálculo, importancia, relación con las seis grandes pérdidas, condiciones operativas de las máquinas.

- Capacitación del cambio de actitud frente a las averías.

Capacitación encaminada al cambio de la posición que tienen los operadores y técnicos de mantenimiento con respecto a la ocurrencia de averías en las máquinas. También trata temas como análisis de causa-raíz y análisis del modo de fallas y efectos.

- Sensibilización y capacitación en 5'S y mantenimiento autónomo.

Este grupo constituye el más amplio en cuanto temas de capacitación, ya que incluye la enseñanza y adiestramiento de mantenimiento requerido por los operarios para llevar a cabo un programa de TPM, en especial las actividades de la filosofía de las 5'S y mantenimiento autónomo. En este tipo de capacitaciones se encuentran limpieza, lubricación, diseño y mejoramiento de estándares, inspecciones generales y verificaciones.

- Capacitación del mantenimiento preventivo dirigidos a operadores y técnicos de mantenimiento.

En general se incluyen todas las capacitaciones que los operadores requieren para dar una respuesta eficiente a los programas de mantenimiento preventivo y autónomo de la maquinaria, equipo, herramientas y elementos periféricos. Incluye el manejo de los formatos de mantenimiento preventivo.

Este grupo de capacitaciones también puede incluir refuerzos básicos de electricidad, mecánica, neumática e hidráulica; así como lógica secuencial y condiciones operativas de las máquinas, los cuales deben hacer parte de la formación previa de los operadores y técnicos de mantenimiento.

- Enseñanza y entrenamiento en técnicas de comunicación para el grupo de trabajo.

Desde la preparación del TPM hasta su implementación y constante evaluación, se requiere permanentemente el trabajo en equipo; para ello resulta de gran utilidad brindar a los grupos de trabajo talleres, conferencias y ejercicios que requieran y fortalezcan el trabajo en equipo como pilar fundamental para la eficiente realización del trabajo y el logro de los objetivos del mantenimiento.

Estas 6 capacitaciones en primera instancia se realizarán el primer mes que se empieza con la implementación de la filosofía TPM. Luego se les volverán a dar cada dos meses. En la Figura 46 Cronograma de capacitaciones se detallará como se van a realizar las capacitaciones antes mencionadas.

Figura 46 Cronograma de capacitaciones

CRONOGRAMA DE CAPACITACIONES												
TIPO CAPACITACIÓN	MESES											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Capacitaciones de la campaña educativa TPM.	■						■					
Capacitaciones con respecto a la Eficiencia Global de Producción.	■		■				■		■			
Capacitación del cambio de actitud frente a las averías.	■				■		■					■
Sensibilización y capacitación en 5S y mantenimiento autónomo	■		■				■		■			
Capacitación del mantenimiento preventivo dirigidos a operadores y técnicos de mantenimiento	■				■		■					■
Enseñanza y entrenamiento en técnicas de comunicación para el grupo de trabajo	■		■				■		■			

Nota: Alejandra Zelaya.

5. **Establecer un sistema para diseñar y producir equipos o componentes.** Debido a que la empresa brinda servicio de alquilar mantenimiento no es posible desarrollar un sistema para diseñar y producir equipos o componentes, ya que lo que se hace es que se compran los repuestos de fábrica. Se fabrican piezas hechizass cuando no se consiguen las originales o cuando se deben de importar pero el tiempo de importación es muy prolongado e inidcan que siempre es mejor la pieza original.

Encargado del sistema TPM

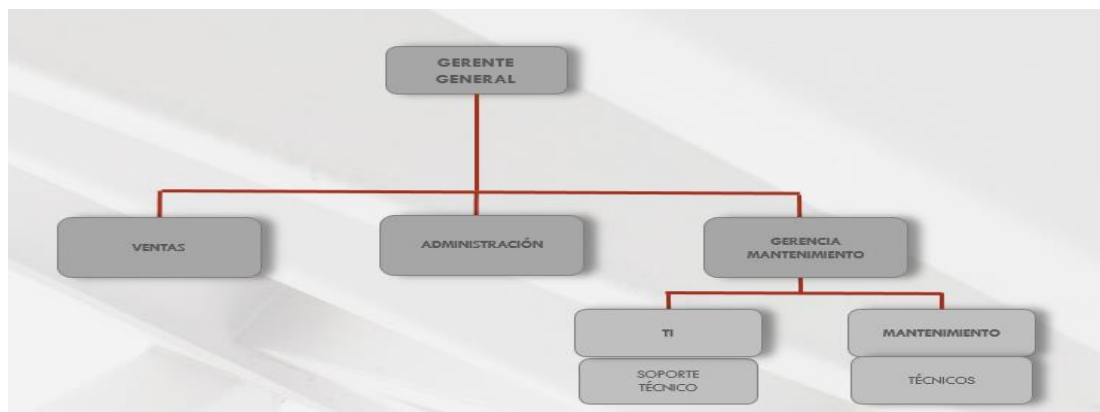
Como en todo proyecto, se debe tener un responsable que dirija al grupo de trabajo; por la magnitud del sistema TPM, es necesario involucrar tanto los mandos bajos como los altos para llegar al éxito. En Figura 47 Organigrama se muestra el organigrama planteado para el sistema de TPM, para ello es necesario que cada sección trabaje en conjunto y apoyándose mutuamente para alcanzar el objetivo final.

El organigrama de la empresa cuenta con un gerente general, un agente de ventas, un ingeniero electromecánico que tiene bajo su mando dos técnicos electromecánicos, un encargado de TI, un encargado de inventarios y gestor de equipos y mentenimiento.

Estos están a cargo de operadores de mantenimiento, en todos estos se centra el proyecto. Debido a la gran cantidad de personal es obligatorio tomar 6 meses de tiempo para la implementación del TPM.

El ingeniero electromecánico es la principal guía para la aplicación del proyecto, ya que en él se centra la responsabilidad de guiar y motivar a sus colaboradores mediante charlas en las cuales debe explicarles la necesidad de la empresa de adoptar esta filosofía.

Figura 47 Organigrama



Nota: Alejandra Zelaya.

Requerimientos para la implementación del TPM.

Previamente a la implementación es necesario contar con un ambiente adecuado; según los japoneses, se debe contar con:

Yakuri.

Es primordial motivar al personal, dejar claro que se requiere alcanzar el cambio para mejorar a nivel organizacional, como facilitar las labores que realizan los operadores; por otra parte, es necesario incentivar a involucrarse a los altos mandos de la compañía con la idea de facilitar el desarrollo del TPM. Siempre es ideal dejar en manos de cada jefe de departamento la motivación de sus colaboradores, esto porque ellos son la figura de autoridad dentro de estos y es necesario no romper con la línea de respeto dentro de la compañía.

Para alcanzar el objetivo de implementar el TPM que se propone, se siguieron los pasos de la etapa de motivación, de la siguiente manera:

1. Se anunciará formalmente la decisión de introducir el TPM: se realizará una reunión con todo el personal de la planta anunciando el deseo de la implementación de la metodología del TPM como respuesta a los problemas encontrados en la planta.

2. Educación introductoria sobre TPM y campaña de publicidad: se realizarán reuniones introductorias sobre cada pilar antes de iniciar su estudio.
3. Crear una organización para promoción interna del TPM: el gerente asumirá la responsabilidad de seguir la ejecución de las funciones propuestas frente a cada pilar.
4. Se diseñó un plan maestro para implementar el TPM: el presente trabajo se enfoca en el desarrollo de este plan.

Yaruude.

Contar con personal capacitado, capaz de realizar sus labores con destreza y siendo competitivo, siempre buscando hacia la mejora del proceso. Estas capacitaciones se desarrollarán bajo el cronograma mostrado en la Figura 46 Cronograma de capacitaciones.

Yoruba.

Es vital contar con un ambiente amigable donde cada empleado se sienta cómodo en sus labores diarias. Esto facilita la inclusión y permite que los empleados colaboren de una manera más amigable en el proceso de cambio.

En la Figura 48 Casa TPM se muestran los pilares en los cuales descansa el TPM, quiere decir que cumpliendo estrictamente cada pilar se asegura el éxito de la implementación.

Figura 48 Casa TPM



Nota: Alejandra Zelaya.

5s Organización, orden y limpieza del puesto de trabajo.

La técnica de las 5 S:

Se basa en la implementación de las '5 S' o 5 etapas de mejoramiento:

Etapa 1: SEIRI (Ordenar y Seleccionar)

Retirar del sitio todos los objetos que no son necesarios, dejando únicamente lo ineludible, en las cantidades adecuadas y solo cuando es forzoso.

Etapa 2: SEITON (Organizar y Situar)

Es el arreglo de los elementos necesarios, de manera que sean fáciles de usar y estén marcados de tal forma que sean cómodos de encontrar y quitar.

Etapa 3: SEISO (Limpiar y Sanear)

- Eliminar cualquier desperdicio, suciedad o material extraño al sitio de trabajo, logrando:
- Mantener limpio los equipos y. mejorar su eficiencia.
- Mantener limpios las paredes, pisos y los elementos del área.
- Detectar y eliminar los focos de generación de suciedad y contaminación.

Etapa 4: SEIKETSU (Sostener y Estandarizar)

Es el estado que existe cuando las tres primeras etapas son mantenidas, ayudando a:

- Mejorar el entorno del trabajo
- Mantener cero accidentes

Etapa 5: SHITSUKE (Disciplinar y Seguir)

Es hacer de los procedimientos correctos de limpieza y mantenimiento un hábito y así lograr:

- Sostener y promover mejoramientos
- Estricto cumplimiento de acciones
- Disminuir errores y tiempos
- Mejorar las relaciones humanas

- Desarrollar el medio para futuros mejoramientos

La metodología de las 5S ayuda a obtener condiciones de trabajo propicias para su desarrollo y la inclusión de los trabajadores como parte activa de las operaciones. Para la implementación de esta filosofía se diseñó inicialmente un cronograma de actividades que será comunicado a los operarios y sobre el cual es la base para la posterior estructuración del TPM.

Una vez habiendo presentado el cronograma, se iniciarán las actividades del paso cero: la comunicación y concienciación de este proyecto. Se realizará una introducción informativa donde se diagnosticó la situación actual de orden y aseo en cuanto a la percepción que el personal involucrado tiene sobre las condiciones de su puesto de trabajo. Lo anterior puede verse representada de la siguiente manera en la Figura 49 Cronograma de implementación de la metodología 5s.

Figura 49 Cronograma de implementación de la metodología 5s

CRONOGRAMA DE IMPLEMENTACIÓN 5S										
FASE	ACTIVIDAD		MESES							
			1	2	3	4	5	6	7	
Fase I: Campaña de Expectación	Fase introductoria									
	Generación de expectativa									
	Lanzamiento de la campaña 5s									
	Capacitación inicial									
Fase II: Implementación 5s	Implementación Seiri (Clasificar)	Reunión inicio campaña								
		Talleres								
		Reunión e implementación								
	Implementación Seiton (Ordenar)	Reunión inicio campaña								
		Talleres								
		Reunión e implementación								
	Implementación Seiso (Limpiar)	Reunión inicio campaña								
		Talleres								
		Reunión e implementación								
	Implementación Seiketsu (Estandarizar)	Reunión inicio campaña								
		Talleres								
		Reunión e implementación								
	Implementación Shitsuke (Disciplina)	Reunión inicio campaña								
		Talleres								
		Reunión e implementación								
	Análisis de resultados									

Nota: Alejandra Zelaya.

Inversión en equipo

En lo relacionado con el manejo del almacén, se tiene que es frecuente encontrarse con la situación que determinada maquinaria no cuenta con *stock* y entonces debe iniciarse un proceso de adquisición que demora las reparaciones y los trabajos preventivos, con lo que la sostenibilidad baja, lo mismo que la confiabilidad. Los máquinas que más escasean son las esmeriladoras grandes 9", esmeriladora pequeña 4+1/2", lijadora Orbital, lijadora vibración, máquina de soldar inversor, taladro Corriente, taladro de Percusión. poder realizar la implementación, la empresa debe de adquirir un stock de maquinaria para poder rotarla.

En la Tabla 36 Compra de equipo se determinan el costo y la cantidad por maquinaria que se necesita para poder desarrollar el plan.

Tabla 36 Compra de equipo

Compra de equipo			
Maquinaria	Cantidad	Costo de compra	Costo de Mantener en Stock
Esmeriladora Grande 9"	8	¢123.768,90	¢990.151,20
Esmeriladora Pequeña 4+1/2"	6	¢86.445,00	¢518.670,00
Lijadora Orbital	3	¢49.720,00	¢149.160,00
Lijadora Vibración	2	¢40.113,64	¢80.227,28
Máquina de Soldar Inversor	9	¢200.000,00	¢1.800.000,00
Taladro Corriente	1	¢83.837,59	¢83.837,59
Taladro de Percusión	2	¢123.768,90	¢247.537,80
Total			¢3.869.583,87

Nota: Alejandra Zelaya.

Como se muestra en la tabla anterior, la empresa debe hacer una inversión de ¢3 869 583,87 colones.

Seguridad y entorno.

El número de accidentes crece en proporción al número de pequeñas paradas. Por ese motivo el desarrollo del mantenimiento autónomo y una efectiva implementación de las 5S son la base de la seguridad. El Kobetsu Kaizen es el instrumento para eliminar riesgos en los equipos. La formación en habilidades de percepción es la base de la identificación de riesgos ya que el personal formado profundamente en el equipo asume mayor responsabilidad por su salud y su seguridad.

La práctica de los procesos TPM crean responsabilidad por el cumplimiento de los reglamentos y estándares lo que disminuye las pérdidas y mejora la productividad.

Mantenimiento áreas de soporte.

En este pilar, se busca eliminar cualquier falla que se pueda producir por falta de comunicación o coordinación. Esto se presenta en algunas ocasiones en donde los involucrados realizan intervenciones de las máquinas y estos no se comunican las acciones realizadas y se cometen fallos operativos.

Para deshacer esto, es fundamental coordinar y crear una línea de comunicación donde no se haga ningún trabajo en las máquinas sin ser comunicado a los otros departamentos. Para ello se procede a asignar al gerente de mantenimiento para realizar esta labor.

Para desarrollar este pilar, el gestor de mantenimiento es el encargado de recibir la orden y comunicar a los otros departamentos mediante un correo electrónico a qué máquina se le va a realizar mantenimiento, con el fin de mejorar la comunicación y que todos los departamentos estén enterados. Para su verificación, el gestor debe enviarle al gerente de mantenimiento de forma semanal un informe donde se verifique que todas las órdenes de labor que fueron recibidas durante la semana y se compruebe que los departamentos se dieron por enterados de las tareas a realizar.

Prevención del mantenimiento.

En este paso se elaboró un cronograma de fechas de intervención a los equipos para la realización de tareas de mantenimiento. Para ello se utilizó una hoja de datos creado en Excel. En esta se distribuyen las actividades con base en 1 año de servicio que son 52 semanas. A continuación se tiene la Figura 50 Cronograma de mantenimiento preventivo que este muestra.

Figura 50 Cronograma de mantenimiento preventivo

CRONOGRAMA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO MÁQUINAS ELÉCTRICAS												
MAQUINARIA	MESES											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Compresor de Aire												
Esmeriladora Grande 9"												
Esmeriladora Pequeña 4+1/2"												
Lijadora Orbital												
Lijadora Vibración												
Máquina de Plasma												
Máquina de Soldar Inversor												
Máquina de Soldar Mig												
Máquina de Soldar Welding												
Taladro Corriente												
Taladro de Percusión												

Nota: Alejandra Zelaya.

Mantenimiento de calidad.

Se deben realizar acciones de mantenimiento orientadas al cuidado del equipo para que este no genere defectos de calidad prevenir defectos de calidad certificando que la maquinaria cumple las condiciones básicas para “cero defectos” y que esta se encuentra dentro de los estándares técnicos. Observar las variaciones de las características de los equipos para prevenir defectos y tomar acciones adelantándose a las situaciones de anormalidad potencial. Realizar análisis de ingeniería del equipo para identificar los elementos de este que tienen una alta recurrencia en las características de calidad del producto final, realizar el control de estos elementos de la máquina e intervenirlos.

Para lograr lo antes mencionado, se establecen diez etapas para la implementación del mantenimiento de calidad. Estas se deben auditar y dar seguimiento a las estrategias de prueba piloto, equipo modelo y transferencia del conocimiento utilizados en otros equipos y pilares TPM.

- Etapa 1.- Identificación de la situación actual del equipo.
- Etapa 2.- Investigación de la forma como se generan los defectos.
- Etapa 3.- Identificación y análisis de las condiciones 3M (Materiales, Máquina y Mano de obra).
- Etapa 4.- Estudiar las acciones correctivas para eliminar las anomalías.
- Etapa 5.- Analizar las condiciones del equipo para productos sin defectos y comparar los resultados.
- Etapa 6.- Realizar acciones y mejorar las condiciones 3M.
- Etapa 7.- Definir las condiciones y estándares de las 3M.
- Etapa 8.- Reforzar el método de inspección.
- Etapa 9.- Valorar los estándares utilizados.
- Etapa 10.- Revisar los estándares establecidos.

Con la información que se arroje este mantenimiento, se deberán ir ajustando el mantenimiento preventivo y el planificado para lograr los estándares que se desean establecer.

Este mantenimiento estará bajo la responsabilidad del gerente de mantenimiento en conjunto con el gestor de esta misma área; se llevará a cabo con el fin de que la información que se arroje se deberán ir ajustando el mantenimiento preventivo y el planificado para lograr los estándares de calidad, controlando las condiciones de los elementos y sistemas de la maquinaria, lo anterior se ejemplifica en la Figura 53 Cronograma de Mantenimiento de calidad .

Figura 53 Cronograma de Mantenimiento de calidad

CRONOGRAMA DE MANTENIMIENTO CALIDAD												
ETAPA	MESES											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Compresor de Aire		■				■				■		
Esmeriladora Grande 9"	■		■		■		■		■		■	
Esmeriladora Pequeña 4+1/2"	■		■		■		■		■		■	
Lijadora Orbital		■		■		■		■		■		
Lijadora Vibración		■		■		■		■		■		
Máquina de Plasma	■											■
Máquina de Soldar Inversor		■		■		■		■		■		
Máquina de Soldar Mig			■								■	
Máquina de Soldar Welding						■						
Taladro Corriente	■		■		■		■		■		■	
Taladro de Percusión		■		■		■		■		■		

Nota: Alejandra Zelaya.

Mantenimiento planificado.

En cuanto a mantenimientos planificados, la compañía debe primero implementar el mantenimiento preventivo, debido a que surgirá como el resultado de la dedicación del departamento, el objetivo del mantenimiento planificado será ajustar la programación del equipo para desarrollar las tareas en el momento menos perjudicial para la producción.

Etapas de la implementación de un sistema de mantenimiento planificado:

1. Análisis y conocimiento de la condición actual operativa del equipo:

Para el desarrollo del mantenimiento se debe llevar una idea del estado del equipo, por lo tanto, es necesario saber la mayor cantidad de datos del equipo.

Los datos más importantes y significativos son:

- Registros de equipos: proporcionan datos actuales de cada equipo.

- Registros de análisis mtbf: recopilan datos sobre los tiempos medios entre fallos y detalles de averías.
- Registros de análisis mttr: registran las reparaciones y servicios llevados a cabo en el equipo, así como en los intervalos entre las tareas.
- Registros de mantenimiento rutinario: recogen datos obtenidos por los operarios durante el mantenimiento de averiase. Es importante tener registros diarios sobre trabajo rutinarios.
- Registros de inspección periódica: recogen datos de las mediciones del deterioro del equipo obtenidas por el departamento de mantenimiento, durante las inspecciones periódicas (inspecciones legales, desmontaje, chequeos de precisión).

Estos registros serán realizados y analizados entre el gerente de mantenimiento y el gestor de mantenimiento, al haber obtenido el valor de MTBF, se procede a realizar la planificación del mantenimiento de cada componente analizado. Asimismo, se debe tener en cuenta para esta planificación las sesiones de mantenimiento autónomo (MA), dichas sesiones tendrán una duración de media hora que contemplan tanto la detección de defectos, y los planes de acción pendientes y futuros.

2. Búsqueda y reconducción del equipo a su estado ideal:

Restauración del deterioro: acción rápida frente averías descubiertas y no resueltas por el operario entrenamiento de los operarios en el mismo lugar de trabajo acerca de la inspección restauración y reparación.

Establecimiento de las condiciones operativas básicas:

- Enseñar la confección de estándares diarios de trabajo.
- Adecuación del entorno de trabajo para evitar el deterioro acelerado de los equipos.
- Inspeccionar los lugares inaccesibles al mantenimiento y mejorar su accesibilidad.

3. Establecimiento de un sistema de control de la información:

Un sistema de mantenimiento planificado puede llegar a manejar tal cantidad de información que el procesado y control de esta puede exigir la implantación de un sistema informático capaz de gestionar grandes bases de datos en un tiempo mínimo.

- Control de datos de fallos
- Control de mantenimiento del equipo

- Control de presupuesto de mantenimiento
 - Control de piezas de repuesto y materiales
 - Control de la tecnología
4. Establecimiento de un sistema de mantenimiento periódico:
Mantenimiento periódico o sistemático pretende ampliar una gestión de mantenimiento preventivo, sólido y progresivo con el tiempo.
- Selección de equipos o grupos
 - Planificación del mantenimiento
 - Estandarización de las actividades
 - Control de la evolución
5. Establecimiento de un sistema de mantenimiento predictivo: el mantenimiento periódico reduce notablemente la probabilidad de averías, defectos y accidentes, siguen produciéndose fallos inesperados que revelan acciones preventivas ineficaces en los planes de mantenimiento.
Otro tipo de mantenimiento predictivo o mantenimiento basado en condiciones (CBM). Ello establece los intervalos de las revisiones en función de las condiciones actuales del equipo, determinadas de forma científica por tecnología de diagnóstico de equipos.
6. Evaluación del mantenimiento planificado: este no solo concierne al departamento de mantenimiento, si no que en él influyen los esfuerzos de todos los departamentos de la empresa. Por ello, esta última etapa del establecimiento de un sistema de mantenimiento planificado tiene un interés especial, puesto que implica evaluar a toda la empresa como un conjunto compacto y sincronizado.

Es importante resaltar que el mantenimiento no debe realizarse mientras exista un producto en proceso, ya que la máquina puede descalibrarse y el producto puede presentar defectos, por lo cual se incurriría en tiempos muertos, mientras se recalibra la máquina o en pérdidas de material. En la Figura 54 Cronograma de mantenimiento planificado muestra la planificación de cada etapa durante 12 meses.

Figura 54 Cronograma de mantenimiento planificado

CRONOGRAMA DE MANTENIMIENTO PLANIFICADO												
ETAPA	MESES											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Compresor de Aire												
Esmeriladora Grande 9"												
Esmeriladora Pequeña 4+1/2"												
Lijadora Orbital												
Lijadora Vibración												
Máquina de Plasma												
Máquina de Soldar Inversor												
Máquina de Soldar Mig												
Máquina de Soldar Welding												
Taladro Corriente												
Taladro de Percusión												

Nota: Alejandra Zelaya.

Mantenimiento autónomo.

La compañía debe de realizar un esfuerzo grande por aumentar la calidad de su sistema; para ello, es necesario convencer a los operadores de ayudar al equipo de mantenimiento, esto necesita de bastante tiempo, pues es bastante difícil tratar de convencer a las personas inmediatamente.

Se determinaron los siguientes 7 pasos que deben realizar los operarios para el desarrollo del mantenimiento autónomo.

1. Limpieza inicial.
2. Eliminar fuentes de contaminación y lugares inaccesibles.
3. Establecer estándares de limpieza y lubricación.
4. Inspección general del equipo.
5. Autoinspección.
6. Mantenimiento autónomo sistemático.
7. Práctica plenal del autocontrol.

Acontinuación en la Tabla 37 Actividades a realizar para la implementación del mantenimiento autónomo se describirá qué actividades se aplicarán en el departamento de mantenimiento.

Tabla 37 Actividades a realizar para la implementación del mantenimiento autónomo

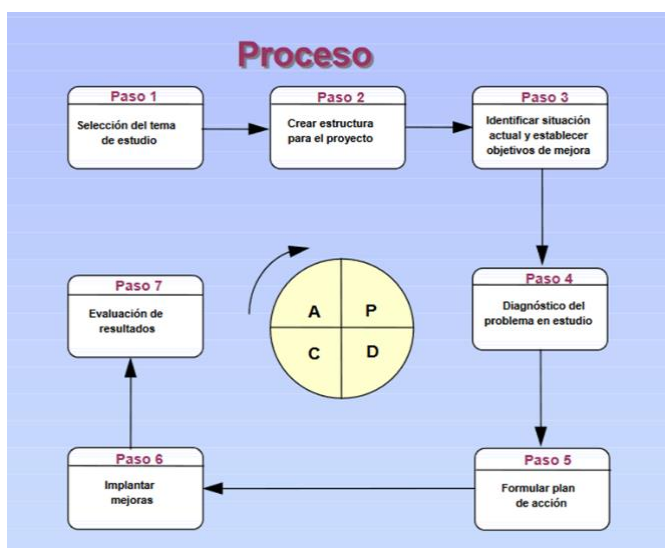
Etapa	Actividad
Limpieza inicial.	Limpieza general de las máquinas eléctricas.
Eliminar fuentes de contaminación y lugares inaccesibles.	Prevención de las causas que provocan suciedad: <ul style="list-style-type: none"> • Proteger las zonas difíciles de limpiar • Seguimiento del plan de las 5S
Establecer estándares de limpieza y lubricación.	Establecimiento de los estándares de limpieza y lubricación: <ul style="list-style-type: none"> • Realización de estas tareas de forma periódica y reduciendo tiempos.
Inspección general del equipo.	Instrucción del operario para que sea capaz de detectar problemas por inspección, de manera que puedan corregir ciertos defectos: como por ejemplo: malas conexiones, indicadores de control, estado físico del equipo, entre otros.
Autoinspección.	Operarios entrenados y establecimiento de un calendario de mantenimiento por parte del departamento: Aplicación de los planes de los diferentes mantenimientos ya propuestos.
Mantenimiento autónomo sistemático.	Estandarización y sistematización del control: definición de estándares para lubricación y limpieza, almacenamiento y mantenimiento de herramientas.
Práctica plenal del autocontrol.	Aumentar la secuencia de las actividades de mejora. Eliminación de las 6 grandes pérdidas. Reducir tiempos de preparación y tiempos de averías.

Nota: Alejandra Zelaya.

Mejoras enfocadas.

En este pilar se deben formar pequeños grupos de trabajo interdisciplinarios, que buscan identificar y eliminar pérdidas en los procesos, estabilizarlos, recuperar el deterioro acumulado de un equipo y restaurar sus condiciones iniciales de rendimiento. En la figura Figura 55 Metodología ciclo de mejora continua se establecen los pasos a seguir basados en la metodología de mejora continua.

Figura 55 Metodología ciclo de mejora continua



Nota: Humberto Alvarez Laverde

Este proceso de mejoras enfocadas se va a realizar en los CFT, todo equipo debe tener un objetivo el cual pueda ser comprendido por todos los miembros. Al establecerlo por todos, el equipo sabrá hacia dónde va y promoverá la unión del equipo para alcanzar lo propuesto. Luego de determinar el objetivo, es bueno que el equipo de trabajo tenga cómo medir sus resultados por indicadores, si es posible para saber como llegar a la meta.

Venta de equipo de baja rotación

Como se puede observar en la Tabla 6 Movimientos de compresores y Tabla 22 Movimientos máquinas welding, los compresores y máquinas de soldar welding tiene un porcentaje de subutilización del 62% y 93% respectivamente. Por lo que se sugiere vender estos equipos que se tienen en stock y su demanda no es mucha.

Durante el periodo analizado del total de 19 compresores, se utilizaron un máximo de 10 compresores por lo que se propone vender 9 de ellos. En cuanto a las máquinas de soldar welding del total de 61 unidades, se utilizó un máximo de 8, por lo que se sugiere vender 53.

En la Tabla 38 Venta equipo baja rotación se muestra cuanto sería el monto a percibir de venderse esta maquinaria.

Tabla 38 Venta equipo baja rotación

Cantidad	Maquinaria	Costo de venta	Total
9	Compresor de Aire	¢75.000,00	¢675.000,00
53	Máquina de Soldar Welding	¢400.000,00	¢21.200.000,00
Total			¢21.875.000,00

Nota: Alejandra Zelaya.

Según se puede observar, la empresa podría recuperar ¢21.875.000,00 por la venta de esta maquinaria que está en subutilización.

Plan de implementación.

Es crucial tener un plan de implementación el cual facilite a los miembros encargados del proyecto una guía precisa. De esta manera es más factible desarrollar paso a paso cada actividad, conociendo el tiempo meta o establecido que se debe durar en el progreso del proyecto.

Por otra parte, les concede a los miembros encargados tener una idea inicial de las personas que deben integrarse durante el proceso. Siempre es necesario contar con un horizonte o un plan el cual evidencie las actividades necesarias para el éxito del proyecto.

A continuación, en la Figura 56 Cronograma de implementación, se encuentra el cronograma de implementación detallado, el cual cuenta con la duración y actividades por realizar para la implementación del plan de mantenimiento programado. Es muy importante seguir el orden lógico de las actividades para evitar perder el horizonte hacia el cual se quiere llegar.

Por la complejidad del proyecto, se estableció un tiempo de 6 meses, ya que para la implantación del TPM es necesario contar con la ayuda de cada departamento de la empresa, así como ir mejorando cada detalle. Y este proceso puede verse interrumpido por diversos factores, por ello se plantean un tiempo pesimista que sea flexible por cualquier interrupción.

El paso vital es sin duda la implementación del TPM, se debe comunicarlo a cada miembro del equipo, así como a los mandos altos para que estos comuniquen la importancia y lo necesario de realizar el proyecto.

Figura 56 Cronograma de implementación

Diagrama de Gantt																											
Cronograma de implementación de un programa de mantenimiento en la empresa Equipos y Mantenimientos Pedro Sobalbarro Sanchez S.A.																											
#	Actividades	Dias	Plan/Act	Meses																							
				Enero				Febrero				Marzo				Abril				Mayo				Junio			
				1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1	Presentar proyecto a la empresa	1	Plan Actual	1																							
2	Aprobación del proyecto	4	Plan Actual	1	2	3	4																				
3	Asignar líder del proyecto	1	Plan Actual	1																							
4	Capacitar al personal sobre el tpm	30	Plan Actual	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
5	Inculcar cambios TPM	10	Plan Actual																								
6	Implementar Pilar 5s Organización, orden y limpieza del puesto de trabajo.	10	Plan Actual																								
7	Implementar pilar Seguridad y entorno.	8	Plan Actual																								
8	Implementar pilar Mantenimiento áreas de soporte.	9	Plan Actual																								
9	Implementar pilar Mantenimiento preventivo.	15	Plan Actual																								
10	Implementar pilar Mantenimiento de calidad.	10	Plan Actual																								
11	Implementar pilar Mantenimiento planificado.	15	Plan Actual																								
12	Implementar pilar Mantenimiento autónomo.	15	Plan Actual																								
13	Implementar pilar Mejoras enfocadas.	8	Plan Actual																								
14	Documentación TPM	90	Plan Actual																								
15	Mejoras en el método	10	Plan Actual																								
16	Seguimiento TPM	15	Plan Actual																								

Nota: Alejandra Zelaya.

Como se mencionó al inicio de este proyecto, el plan maestro se establece para una duración de 6 meses, este periodo se clasificó en cuatro etapas de acuerdo con los resultados obtenidos durante este trabajo y los que se esperan en el corto, mediano y largo plazo. Los resultados obtenidos son las actividades concluidas y documentadas las cuales servirán de base para las actividades pendientes; en esta etapa se consiguió un cambio de la cultura organizacional que permite continuar con el desarrollo de la metodología del TPM de manera autónoma.

Corto plazo: la etapa de resultados a corto plazo se enfoca a fortalecer las bases desarrolladas en el trabajo extendiendo el alcance definido a la totalidad de las actividades involucradas en los procesos productivos. Se estableció que en esta etapa se incluirán las actividades a desarrollar durante el próximo año.

Mediano plazo: el objetivo de esta etapa es consolidar los resultados obtenidos hasta el momento con base en la estandarización de todos los procesos de tal forma que se vean reflejados en una aproximación al objetivo de cero defectos y cero fallas a un costo mínimo

Largo plazo: etapa final de la implementación de la metodología del TPM en donde se busca realizar actividades de revisión profunda de los pilares analizados, para evaluar el aporte a la empresa y el porcentaje de ejecución.

Factores críticos para el éxito del proyecto

Existen diversos factores que son vitales para lograr la meta y los objetivos planeados, algunos de ellos se explican a continuación:

Apoyo de la alta dirección.

Es crucial contar con el apoyo de los mandos altos de la compañía, de esta manera es más sencillo avanzar con el cambio. Esto porque los demás empleados ven el compromiso de toda la empresa.

Trabajo en equipo.

Es necesario contar con una armonía de equipo, para generar nuevas ideas y una mayor facilidad en el momento de realizar las tareas asignadas.

Personal adecuado.

Es obligatorio tener personal capacitado, así no se tiene ningún atraso por colaboradores que no saben realizar sus funciones o generan errores por su mal desempeño. Por esto, se debe contar con un delicado sistema de contratación y constante capacitación.

Comunicación y coordinación.

Es crucial antes de dar inicio al proyecto comunicarles a los operadores para mantenerlos enterados y que se sientan parte del proceso. A su vez, se les debe preguntar su punto de vista con la idea de buscar alguna disconformidad que pueda ser solucionada de inmediato. También obtener puntos de mejoras, ya que como es sabido ellos son los dueños del proceso y son los expertos, por lo que cualquier idea puede ser tomada en cuenta.

Resistencia al cambio.

Se debe hablar con los empleados e inculcarles una conducta de cambio para mostrarles la importancia de mejorar el proceso, ya que esto beneficiará tanto a la organización como a ellos.

Análisis económico.

Es fundamental contar con un análisis económico que muestre si es factible seguir adelante con el desarrollo del proyecto; es sabido por muchos que los números hablan por sí solos. Por esto se muestra a continuación el estudio económico.

Para realizar el análisis de los costos, se determinaron los costos anuales asociados al proyecto de la siguiente manera:

Capacitaciones.

Inicialmente se calcularon los costos asociados a las horas/hombre requeridas para realizar las capacitaciones de la implementación del TPM, la implementación de las 5s y las capacitaciones mensuales. Adicionalmente, se tiene en cuenta el costo anual de los insumos requeridos para realizar dichas actividades.

Se muestran en las tablas Tabla 39 Capacitación Implementación TPM, Tabla 40 Capacitación Implementación 5s y Tabla 41 Capacitaciones Mensuales respectivamente.

Tabla 39 Capacitación Implementación TPM

Capacitación Implementación TPM	
Detalle	Costo
Gerente de mantenimiento	¢115.801,84
Gestor de mantenimiento	¢44.161,04
Operadores	¢145.731,52
Materiales	¢15.000,00
Total	¢320.694,40

Nota: Alejandra Zelaya.

Como se mostró en la Tabla 39 Capacitación Implementación TPM el costo que se requiere para la implementación de los primeros 6 meses es de ¢320 694,40 colones.

Tabla 40 Capacitación Implementación 5s

Capacitación Implementación 5s	
Detalle	Costo
Gerente de mantenimiento	¢10.527,44
Gestor de mantenimiento	¢4.014,64
Operadores	¢13.248,32
Materiales	¢6.000,00
Total Mensual	¢33.790,40
Total Anual	¢236.532,80

Nota: Alejandra Zelaya.

Se muestra que los gastos varios para cubrir el proceso de implementación de la metodología 5s necesaria para desarrollar el proyecto de la manera más cómoda. Para esto el gasto es de ¢236 532,80 colones, este es un gasto único ya que solo se debe incurrir al inicio del proyecto.

Tabla 41 Capacitaciones Mensuales

Capacitación Mensuales	
Detalle	Costo
Gerente de mantenimiento	₡21.054,88
Gestor de mantenimiento	₡8.029,28
Operadores	₡26.496,64
Materiales	₡10.000,00
Total Mensual	₡65.580,80
Total Anual	₡393.484,80

Nota: Alejandra Zelaya.

El costo total de mantener a los técnicos capacitados para brindar un buen mantenimiento a las máquinas es de ₡393 484,80 colones anualmente.

Seguridad y entorno.

Este pilar la empresa tiene un presupuesto para la compra de equipo de protección especial, por lo que no representa un costo adicional para la implementación.

Mantenimiento áreas de soporte.

Este pilar se establecieron los costos de horas/hombre necesarias para coordinar y crear una línea de comunicación donde no se haga ningún trabajo en las máquinas sin ser comunicado a los otros departamentos. En la Tabla 42 Mantenimiento áreas de soporte, se muestra el cálculo antes mencionado.

Tabla 42 Mantenimiento áreas de soporte

Mantenimiento áreas de soporte	
Detalle	Costo
Gerente de mantenimiento	₡10.527,44
Gestor de mantenimiento	₡20.073,20
Total Mensual	₡30.600,64
Total Anual	₡214.204,48

Nota: Alejandra Zelaya.

A partir de la tabla anterior, se evidencia que para lograr los objetivos del mantenimiento áreas de soporte se debe hacer una inversión anual de ₡214 204,48 colones.

Prevención del mantenimiento.

Para determinar los costos de este pilar, se tiene en cuenta el costo asociado a cada máquina MP por concepto de cantidad de mantenimientos preventivos esperados que debe hacerse con base en los días óptimos de mantenimiento. En la Tabla 43 Prevención del mantenimiento muestra el detalle del costo total de este pilar.

Tabla 43 Prevención del mantenimiento

Prevención del mantenimiento	
Detalle	Costo
Gerente de mantenimiento	¢157.911,60
Gestor de mantenimiento	¢602.196,00
Técnicos	¢564.479,17
Materiales	¢2.046.831,72
Total Mensual	¢3.371.418,48
Total Anual	¢40.457.021,80

Nota: Alejandra Zelaya.

Mantenimiento de calidad.

En Tabla 44 Mantenimiento de calidad se establecieron los costos requeridos en horas/hombre para mejorar y mantener las condiciones de los equipos y las instalaciones en un punto óptimo donde se permita establecer los parámetros de calidad para las máquinas en estudio.

Tabla 44 Mantenimiento de calidad

Mantenimiento Calidad	
Detalle	Costo
Gerente de mantenimiento	¢151.396,69
Gestor de mantenimiento	¢353.258,93
Total Mensual	¢363.962,50
Total Anual	¢4.367.550,00

Nota: Alejandra Zelaya.

Puede evidenciarse que para poder cumplir con el propósito del mantenimiento de calidad se debe hacer un gasto por parte de la empresa de ¢4 367 550,00 colones.

Mantenimiento planificado.

Para calcular la proyección de los costos asociados directamente a las actividades de mantenimiento, con el fin del mejoramiento incremental y sostenible de los equipos, instalaciones y el sistema en general, con el propósito de lograr el objetivo de "cero averías". En orden de determinar dichos costos, se tomaron en cuenta las horas/hombre del gerente de mantenimiento y el gestor de mantenimiento que se muestran en la Tabla 45 Mantenimiento planificado.

Tabla 45 Mantenimiento planificado

Mantenimiento planificado	
Detalle	Costo
Gerente de mantenimiento	₡87.131,30
Gestor de mantenimiento	₡203.306,36
Total Mensual	₡290.437,65
Total Anual	₡3.485.251,84

Nota: Alejandra Zelaya.

Es importante priorizar la información histórica necesaria para establecer las acciones específicas requeridas por equipo, de manera que se establezcan las condiciones específicas de mantenimiento, calidad, seguridad, registro, herramientas, entre otros factores de suma importancia para realizar las actividades de inspección por ello esto representa un gasto anual de ₡5 485 251,84 colones.

Mantenimiento autónomo.

En la Tabla 46 Mantenimiento autónomo se determinó el costo asociado a las horas/hombre requerida para realizar las sesiones de mantenimiento autónomo y las normas de limpieza. Como se tiene contemplado en la planeación, el total de los equipos tienen asignados media hora por semana para la sesión de MA incluyendo la norma de limpieza en las máquinas que aplican. Además, se tiene en cuenta el costo anual de los insumos requeridos para realizar dichas actividades.

Tabla 46 Mantenimiento autónomo

Capacitación Mantenimiento Autónomo	
Detalle	Costo
Gerente de mantenimiento	¢5.263,72
Gestor de mantenimiento	¢2.007,32
Inspector de maquinaria	¢7.500,00
Materiales	¢5.000,00
Total	¢19.771,04
Anual	¢237.252,48

Nota: Alejandra Zelaya.

Es importante que los operarios sean capacitados y adecuados para llevar a cabo las funciones establecidas, de tal manera que debe contar con total dominio del equipo y de las instalaciones de su entorno. Debido a esto la empresa debe capacitar a los técnicos y operarios y esto le costaría ¢237 252,48 colones anualmente.

Mejoras enfocadas.

El cálculo del costo de implementación de este pilar, los costos asociados a las horas/hombres necesarias actividades desarrolladas con el propósito de mejorar la eficiencia global de los equipos, operaciones y del sistema en general. Se referencian en la Tabla 47 Mejoras enfocadas.

Tabla 47 Mejoras enfocadas

Grupos Interdisciplinarios	
Detalle	Costo
Gerente de Ventas	¢9.742,50
Gerente de Administración	¢11.395,95
Gerente de Mantenimiento	¢4.345,85
Técnico	¢5.412,50
Inspector de maquinaria	¢6.711,50
Total Mensual	¢37.608,30
Anual	¢451.299,62

Nota: Alejandra Zelaya.

La naturaleza incremental y sostenible de las mejoras enfocadas hace que se adopten ciclos de mejora continua tales como el PHVA (Planear - Hacer - Verificar - Actuar), como modelos transversales de la metodología de mejora que adopte la organización. Esto representa un gasto anual de ¢451 299,62 colones anualmente.

Una vez determinados los costos de cada uno de los pilares, éstos se resumen en la Tabla 48 Costos de proyecto:

Tabla 48 Costos de proyecto

Implementación TPM	
Pilar	Costo
Capacitaciones	¢950.712,00
Inversión en equipo	¢3.869.583,87
Mantenimiento áreas de soporte	¢214.204,48
Prevención del mantenimiento	¢40.457.021,80
Mantenimiento Calidad	¢4.367.550,00
Mantenimiento planificado	¢3.163.600,00
Mantenimiento Autónomo	¢237.252,48
Total	¢53.259.924,63

Nota: Alejandra Zelaya.

En la Tabla anterior se muestran los gastos varios para cubrir el desarrollar el proyecto. Para esto el gasto es de ¢53.259.924,63 colones al año.

Beneficios cuantificables del TPM.

La compañía en el 2017 tuvo un gasto en mantenimiento correctivo de ¢56 169 668,50 colones en repuestos y en mano de obra de ¢11 617 866,50 colones. Para un total de gasto en mantenimiento correctivo de ¢67 787 535,00 colones. Con la implementación del TPM la empresa gastaría ¢53.259.924,63 colones, lo que significa que ahorraría al año ¢14 527 610,37 colones.

Otro beneficio con el que se lograría obtener con la implementación, es el de poder reducir la cantidad de horas que no se puede brindar el servicio, que actualmente son 370 horas máquina por semana, por lo que esta dejando de percibir en monto ¢1 140 800,00. Con la aplicación del TPM se podría reducir en un 83%, por lo que de 370 horas máquina pasaría a 63 horas máquina y recuperaría en ventas un ¢946 864,00 a la semana, al mes ¢4 099 921,12 y al año ¢49 199 053,40.

Por último con la venta de los compresores y las máquinas de soldar welding que la empresa tiene en subutilización la empresa por su venta podría recuperar el monto de ¢21.875.000,00 y esta suma poder invertirla en máquinas que si son de mayor rotación.

En la Tabla 49 Beneficios se desglosan los beneficios que obtendrá la empresa con la implementación de la metodología TPM.

Tabla 49 Beneficios

Beneficios	Costo
Ahorro por disminución en mantenimiento correctivo	¢14.527.610,37
Incremento en las ventas	¢49.199.053,40
Venta de equipo baja rotación	¢21.875.000,00
Total	¢85.601.663,77

Nota: Alejandra Zelaya.

Análisis costo beneficio.

“La Relación Beneficio/ Costo, B/C, consiste en poner en valor presente los beneficios netos y dividirlo por el valor presente de todos los costos del proyecto” (Currea, 1998, pág. 263). Para el análisis costo beneficio se tomaron los ingresos y los costos con la inversión inicial de los próximo año iniciando en el año 2019. En la Tabla 50 Costo / Beneficio muestra el cálculo respectivo.

Tabla 50 Costo / Beneficio

TOTAL	Costo / Beneficio		
	Egresos	Ingresos	B/C
	¢53.259.924,63	¢85.601.663,77	1,61

Nota: Alejandra Zelaya.

Para saber si un proyecto es viable bajo este enfoque, se debe considerar la comparación de la relación B/C hallada con 1. Así:

Si $B/C > 1$, esto indica que los beneficios son mayores a los costos. En consecuencia, el proyecto debe ser considerado.

$B/C = 1$, significa que los beneficios igualan a los costos. No hay ganancias.

$B/C < 1$, muestra que los costos superan a los beneficios. En consecuencia, el proyecto no debe ser considerado.

En la Tabla 50 Costo / Beneficio el primer año se tendría una ganancia de ¢32.341.739,14, por lo que se considera que el proyecto es viable y debe ser tomado en consideración.

Beneficios no cuantificables del TPM.

Entre los beneficios no cuantificables, sin embargo significativos, se enlistan los siguientes:

- El TPM eliminan el trabajo por intuición, al determinar cual máquina necesita una reparación mayor o reconstrucción. Los ahorros, a un tiempo relativamente mediano serán significativos.
- La caracterización de las máquinas provee objetividad, convierte la intuición del operador en valores numéricos cuantificables.
- La caracterización remarca los requerimientos exactos del mantenimiento.

Más allá de las rutinas de mantenimiento, el operador lleva a cabo solamente las acciones correctivas indicadas, y evita hacer el trabajo innecesario.

- Finalmente, una caracterización post-mantenimiento de la máquina verifica rápidamente la efectividad del trabajo correctivo mayor.

Además, dentro de los beneficios que da la implementación del sistema, se da la posibilidad de utilizar otras herramientas de calidad de apoyo para el desarrollo completo de un sistema de trabajo, como lo son el control estadístico, cambios rápidos y sistemas Poka Yoke para la eliminación de errores, junto con el TPM y la utilización de las 5s.

REFERENCIAS

Trabajos citados

- Arnoletto, E. J. (2006). *Administración de la producción como ventaja competitiva*. doi ISBN-13: 978-84-6907904-1.
- B. B., & C. M. (2005). *Ley de pareto aplicada a la fiabilidad*. La Habana, Cuba.
- C., W. O., A., M. B., & A., B. C. (2010). Técnicas de mantenimiento predictivo utilizadas en la industria. *Redylac*, 16, 223-226.
- Carreras, M. R., & García, J. S. (2010). *Lean Manufacturing. La evidencia de una necesidad*. Madrid, España: Ediciones Díaz de Santos.
- Chase, R., Jacobs, F., & Alquilano, N. (2009). *Administración de Operaciones. Producción y cadena de suministros*. México: McGRAW HILL.
- Congreso Constitucional de la República de Costa Rica. (2017). *Código de Trabajo*. Obtenido de Ministerio de Trabajo y Seguridad Social : http://www.mtss.go.cr/elministerio/marcolegal/documentos/Codigo_de_Trabajo.pdf
- Cuatrecasas Arbós, L. (2012). *Gestión de la calidad*. Madrid: Diaz Santos.
- Cuevas, L. R. (s.f.). *10 Pasos para Aumentar su Rentabilidad*. España: Ediciones Díaz de Santos, S.A.
- Currea, G. B. (1998). *Ingeniería Económica*. Colombia: Fondo Educativo Panamericano.
- Díaz, L. F. (2005). *Análisis y planteamiento con aplicaciones a la organización policial*. San José: EUNED.
- Dumrauf, G. L. (2006). *Manual de Cálculo Financiero Aplicado*. Argentina: La Ley.
- Evans, J. R., & Lindsay, W. M. (2008). *Administración y Control de la Calidad*. Cengage Learning.
- Fernández, F. J. (2005). *Teoría y Práctica del Mantenimiento Industrial Avanzado*. España: Artegraf S.A.
- Goinard, F. G. (2014). *La caja de herramientas*. Grupo Editorial Patria.

- Guido, R. (s.f.). *Estudio de Cargas de Trabajo* .
- Gutiérrez Pulido, H., & de la Vara Salazar, R. (2009). *Control Estadístico de Calidad y Seis Sigma*. México: McGraw-Hill.
- H. R., C. F., & P. B. (2014). *Metodología de la investigación*. México: McGraw-Hill.
- Hernández Matías , J. C., & Vizán Idoipe, A. (2013). *Lean Manufacturing Conceptos, técnicas e implementación*. Madrid: Escuela de Organización Industrial.
- Horne, J. V., & J. W. (2010). *Fundamentos de Administración Financiera*. México: Pearson Educación de México, S.A.
- Instituto Uruguayo de Normas Técnicas (UNIT). (2009). *Herramienta para la Mejora de la Calidad*. Uruguay.
- Jiménez Rojas, Á. H., Delgado, E. E., & Villate Ganoa, G. (2001). Modelo de productividad de David Sumanth aplicado a una empresa del sector de maquinaria no eléctrica. *Dialnet*.
- L. C., & F. T. (2010). *TPM en un entorno Lean Manangement*. Barcelona: Profit Editorial I., SL.
- Lefcovich, M. L. (2009). *Productividad*. El Cid Editor | apuntes.
- López, A. A. (2011). El control de procesos industriales y su influencia en el mantenimiento. *Redylac*, 29, 35-49.
- Lusthaus, C. (2002). *Evaluación Organizacional marco para mejorar el desempeño*.
- Matías, J. H., & Idoipe, A. V. (2013). *Lean Manucfacturing: concepto, técnicas e implementación* . Madrid, España: E.O.I Escuela de Organización Industrial.
- Medrano Márquez, J. Á., & González Ajuech, V. L. (2017). *Mantenimiento: técnicas y aplicaciones industriales*. Grupo Editorial Patria.
- Park, A. (2001). *Facilities Management: An Explanation*. UK: Macmillan Education.
- Peña, D. (2013). *Estrategia, Productividad*.
- Pulido, H. G. (2010). *Calidad Total y Productividad*. México: Mc Graw Hill.
- R. H., C. F., & P. B. (2014). *Metodología de la investigación* . México: McGraw-Hill Education.

- Rodríguez, Á. P. (2010). La gestión de los activos físicos en función del mantenimiento. *Redalyc*, 13, 72-78.
- Rodríguez, J. J. (2013). *Muestro y preparación de la muestra*. Cano Pina.
- Romero Bermúdez, E., & Díaz Camacho, J. (2010). El uso del diagrama causa-efecto en el análisis de casos. *Revista Latinoamericana de Estudios Educativos*, 127-142.
- Torrents, A. S., Vilda, F. G., & Postils, I. A. (2004). *Manual práctico de diseño de sistemas productivos*. Madrid, España: Ediciones Díaz de Santos, S.A. .
- Urbina, G. B. (2015). *Proyectos de sistemas de información* (Vol. 1). México: Grupo Editorial Patria.
- Useche, A. O., Monroy, C. R., & H. I. (2013). Gestión del mantenimiento en pymes industriales. *Redylac*, 18(61), 86-104.

Apéndice B: Costo mantenimiento preventivo materiales

Mantenimiento Preventivo					
Maquinaria	Cantidad	Costo materiales	Costo total equipos	Meses	total por meses
Compresor de Aire	25	₡28.224,52	₡705.613,00	3	₡2.116.839,00
Esmeriladora Grande 9"	177	₡7.506,00	₡1.328.562,00	4	₡5.314.248,00
Esmeriladora Pequeña 4+1/2"	162	₡3.092,00	₡500.904,00	4	₡2.003.616,00
Lijadora Orbital	16	₡13.393,00	₡214.288,00	4	₡857.152,00
Lijadora Vibración	22	₡13.066,00	₡287.452,00	4	₡1.149.808,00
Máquina Plasma	5	₡9.561,00	₡47.805,00	2	₡95.610,00
Máquina de Soldar Inversor	204	₡10.369,10	₡2.115.296,40	4	₡8.461.185,60
Máquina de Soldar Mig	12	₡4.422,00	₡53.064,00	2	₡106.128,00
Máquina de Soldar Welding	61	₡4.422,00	₡269.742,00	1	₡269.742,00
Taladro Corriente	21	₡34.337,00	₡721.077,00	4	₡2.884.308,00
Taladro de Percusión	28	₡11.637,00	₡325.836,00	4	₡1.303.344,00
Total Mes					₡24.561.980,60
Total Anual					₡2.046.831,72

Nota: Alejandra Zelaya.

Apéndice C: Costo mantenimiento preventivo mano de obra

Mantenimiento Preventivo						
Maquinaria	Cantidad	Minutos	Tiempo total equipos	Meses	Total de Horas	Costo por hora operarios
Compresor de Aire	25	90	2.250	3	113	₡281.250,00
Esmeriladora Grande 9"	177	45	7.965	4	531	₡1.327.500,00
Esmeriladora Pequeña 4+1/2"	162	45	7.290	4	486	₡1.215.000,00
Lijadora Orbital	16	45	720	4	48	₡120.000,00
Lijadora Vibración	22	45	990	4	66	₡165.000,00
Máquina Plasma	5	60	300	2	10	₡25.000,00
Máquina de Soldar Inversor	204	90	18.360	4	1.224	₡3.060.000,00
Máquina de Soldar Mig	12	60	720	2	24	₡60.000,00
Máquina de Soldar Welding	61	60	3.660	1	61	₡152.500,00
Taladro Corriente	21	45	945	4	63	₡157.500,00
Taladro de Percusión	28	45	1.260	4	84	₡210.000,00
Total Anual					2.709,50	₡6.773.750,00
Total Mes					225,79	₡564.479,17

Nota: Alejandra Zelaya.

Apéndice D: Costo mantenimiento calidad mano de obra

Mantenimiento de Calidad						
Maquinaria	Cantidad	Minutos	Tiempo total equipos	Meses	Total de Horas	Costo por hora operarios
Compresor de Aire	25	20	500	3	25	₡82.500,00
Esmeriladora Grande 9"	177	15	2.655	6	266	₡876.150,00
Esmeriladora Pequeña 4+1/2"	162	15	2.430	6	243	₡801.900,00
Lijadora Orbital	16	15	240	6	24	₡79.200,00
Lijadora Vibración	22	15	330	6	33	₡108.900,00
Máquina Plasma	5	30	150	2	5	₡16.500,00
Máquina de Soldar Inversor	204	30	6.120	6	612	₡2.019.600,00
Máquina de Soldar Mig	12	30	360	2	12	₡39.600,00
Máquina de Soldar Welding	61	30	1.830	1	31	₡100.650,00
Taladro Corriente	21	15	315	6	32	₡103.950,00
Taladro de Percusión	28	15	420	6	42	₡138.600,00
Total Anual					1.323,50	₡4.367.550,00
Total Mes					110,29	₡363.962,50

Nota: Alejandra Zelaya.

Apéndice E: Costo mantenimiento planificado mano de obra

Mantenimiento de Planificado						
Maquinaria	Cantidad	Minutos	Meses	Meses	Total de Horas	Costo por hora operarios
Compresor de Aire	25	60	1.500	2	50	€165.000,00
Esmeriladora Grande 9"	177	30	5.310	2	177	€584.100,00
Esmeriladora Pequeña 4+1/2"	162	30	4.860	2	162	€534.600,00
Lijadora Orbital	16	30	480	2	16	€52.800,00
Lijadora Vibración	22	30	660	2	22	€72.600,00
Máquina Plasma	5	60	300	2	10	€33.000,00
Máquina de Soldar Inversor	204	60	12.240	2	408	€1.346.400,00
Máquina de Soldar Mig	12	60	720	2	24	€79.200,00
Máquina de Soldar Welding	61	40	2.440	1	41	€134.200,00
Taladro Corriente	21	30	630	2	21	€69.300,00
Taladro de Percusión	28	30	840	2	28	€92.400,00
Total Anual					958,67	€3.163.600,00
Total Mes					79,89	€263.633,33

Nota: Alejandra Zelaya.