



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO

ESCUELA SUPERIOR DE CIUDAD SAHAGÚN

**Reducción de Tiempos de Inactividad en la Estación de
Colada Continua a través de la Mejora del Mantenimiento
de los equipos de Extracción de Acero**

T E S I S

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
LICENCIADO EN INGENIERÍA INDUSTRIAL**

PRESENTA:

ALEJANDRO LEZAMA ROSAS

DIRECTOR DE TESIS:

DR. RAFAEL GRANILLO MACÍAS

CIUDAD SAHAGÚN HIDALGO

FEBRERO 2026



Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo
Escuela Superior de Ciudad Sahagún
Campus Sahagún

CLII-010-26

Asunto: Autorización de impresión

**P.D.L.I.I. C. Alejandro Lezama Rosas
Presente**

Por este conducto le comunico que el jurado que le fue asignado a su trabajo de "TESIS" con el nombre: "**Reducción de Tiempos de Inactividad en la Estación de Colada Continua a través de la Mejora del Mantenimiento de los equipos de Extracción de Acero**", y que después de revisarlo en reunión de sinodales han decidido autorizar la digitalización del mismo, hechas las correcciones que fueron acordadas.

A continuación se anotan las firmas de conformidad de los integrantes del jurado:

Presidente	Dra. Francisca Santana Robles
Primer vocal	Dr. Rafael Granillo Macías
Segundo vocal	Ing. Berenice Guadalupe Sánchez Reyes
Secretario	Ing. Felipe Gutiérrez Castillo

Sin otro particular, me es grato reiterar a usted la seguridad de mi atenta consideración y respeto.

Atentamente

"Amor, Orden y Progreso"

Fray Bernardino de Sahagún, Hgo., a 26 de febrero de 2026

Dra. Francisca Santana Robles

Coordinadora de la Licenciatura en Ingeniería Industrial



c.c.p.- Expediente
FSR

Carretera Otumba - Cd. Sahagún No. 7, Colonia Legaspi,
Zona Industrial, Ciudad Sahagún, Hidalgo, México
C.P. 43998
Teléfono: (771)7172000 Ext. 50201
essahagun@uaeh.edu.mx

"Amor, Orden y Progreso"



uaeh.edu.mx

Dedicatoria

A Dios, por brindarme fortaleza, guía y sabiduría a lo largo de este proceso, y por acompañarme en cada paso hasta alcanzar esta meta.

A mi esposa, Areli López Barrera, por ser mi refugio, mi apoyo y mi mayor fortaleza; por cuidarme, impulsarme y darme todo de sí, incluso en los momentos más difíciles.

A mi abuelita, Adelaida Méndez Urdanivia, por ser para mí más que una madre, por su amor incondicional y por cada sacrificio realizado en mi formación.

A mi abuelito, Fidel Rosas Landaverde, por su ejemplo de carácter, disciplina y trabajo; por sus consejos oportunos y por enseñarme, con hechos, el valor de la responsabilidad y la perseverancia.

A mi tía, Yolanda Rosas Méndez, por su apoyo incondicional y su constante respaldo.

A mi tío, Ing. Alfredo Rosas Méndez, por ser un claro ejemplo de lo que significa ser un gran hombre y un excelente profesional.

A mi hermano, David Lezama Rosas, por motivarme a crecer, superarme y aspirar siempre a más en el ámbito profesional y personal.

Agradecimientos

Agradezco de manera especial al Dr. Rafael Granillo Macías por su apoyo y valiosos consejos durante la realización de esta tesis. Asimismo, expreso mi agradecimiento a la Ing. Berenice Guadalupe Sánchez Reyes y al Ing. Felipe Gutiérrez Castillo por su enseñanza en los tópicos implementados en el desarrollo de este proyecto, así como su inmensa motivación.

De igual forma, agradezco a la Dra. Francisca Santana Robles por la revisión final del documento. Finalmente, extiendo mi agradecimiento al Ing. Alejandro Flores Fierro, quien brindó un apoyo fundamental en el taller de reparaciones para la obtención de la información pertinente.

Índice General

Índice General.....	5
Índice de Tablas	8
Índice de Figuras.....	9
Resumen.....	12
Abstract.....	13
Capítulo 1. Construcción del Objeto de Estudio.....	14
1.1. Introducción	14
1.2. Revisión de la literatura	15
1.3. Planteamiento del problema.....	20
1.4. Justificación	21
1.5. Objetivos de la investigación.....	22
1.5.1. Objetivo General.....	22
1.5.2. Objetivos Específicos.....	22
1.6. Preguntas de investigación.....	22
1.7. Hipótesis	22
1.8. Delimitación y alcance.....	23
1.8.1. Delimitación del problema.....	23
1.8.2. Alcance geográfico	23
1.8.3. Alcance temporal	23
1.9. Plan metodológico	23
1.9.1. Alcance de la investigación	24
1.9.2. Variables independientes	24

1.9.3.	Variables dependientes	24
1.9.4.	Tipo de investigación.....	24
Capítulo 2.	Estado del Arte.....	25
2.1.	Marco Teórico.....	25
2.1.1.	Mantenimiento industrial.....	25
2.1.2.	Diagrama de ishikawa enfocado al mantenimiento industrial.....	28
2.1.3.	Estudio del trabajo enfocado al mantenimiento industrial.....	30
2.1.4.	Gestión de inventarios aplicados al mantenimiento industrial	36
2.1.5.	Sistemas ERP en la gestión del mantenimiento.....	40
2.2.	Revisión sistemática de la literatura y análisis bibliométrico.....	41
Capítulo 3.	Propuesta de Intervención.....	44
3.1.	Caso de estudio	44
3.2.	Propuesta de intervención.....	54
3.2.1.	Diagnóstico de la situación actual de mantenimiento.....	54
3.2.2.	Análisis de las causas de las demoras.....	57
3.2.3.	Implementación de mejoras	58
3.2.4.	Personal.....	58
3.2.5.	Materiales.....	59
3.2.6.	Método y medio ambiente	62
3.2.7.	Máquinas y mediciones.....	70
Capítulo 4.	Resultados y discusión.....	73
4.1.	Resultados.....	73
4.1.1.	Personal y organización de actividades	73

4.1.1. Gestión de materiales y refacciones.....	77
4.1.2. Métodos de trabajo y condiciones operativas	78
4.1.3. Estado de máquinas y equipos de medición	84
4.1.4. Impacto de la optimización en las demoras de los equipos de extracción.....	86
4.2. Discusión.....	89
Conclusiones.....	90
Referencias.....	91
Anexos	95

Índice de Tablas

Tabla 1.1 Clasificación de los aceros según su uso en construcción y herramientas	16
Tabla 2.1 Tipos de mantenimiento correctivo	27
Tabla 2.2 Gráficos y diagramas utilizados en el estudio de métodos	31
Tabla 2.3 Símbolos básicos empleados en un cursograma analítico	32
Tabla 3.1 Parámetros de producción en colada continua.....	51
Tabla 3.2 Estado de equipos de extracción.....	53
Tabla 3.3 Etapas de propuesta de intervención.....	54
Tabla 3.4 Demoras principales en el proceso de cambio y mantenimiento de los equipos de extracción	56
Tabla 3.5 Tiempos de reparación de equipos de extracción	63
Tabla 3.6 Calificación del operario de acuerdo con sistema Westinghouse.....	63
Tabla 3.7 Relación entre los días del mes y los días laborales estimados	65
Tabla 3.8 Equipos necesarios para el proceso de reparación de los equipos de extracción	67
Tabla 3.9 Análisis de asignación de código de relación	69
Tabla 3.10 Actividades relacionadas con la ejecución de pruebas hidrodinámicas.....	71
Tabla 4.1 Tiempos observados de las reparaciones de equipos de extracción	73
Tabla 4.2 Tiempos observados e inferidos de la reparación los equipos de extracción ..	75
Tabla 4.3 Inferencia sobre el tiempo de reparación de los equipos de extracción.....	76
Tabla 4.4 Resumen de los tiempos observados del método actual.....	82
Tabla 4.5 Relación entre los días del mes y los días laborales estimados	83

Índice de Figuras

Figura 1.1 Países con mayor producción de acero en 2023.....	17
Figura 1.2 Gráfico circular de países con mayor producción 2023	18
Figura 1.3 Producción de acero en México en años recientes	18
Figura 1.4 Comercio internacional Neto del acero en México en años recientes.....	19
Figura 2.1 Proceso general del mantenimiento.....	25
Figura 2.2 Curva P-F	26
Figura 2.3 Estructura de diagrama de Ishikawa.....	29
Figura 2.4 Estudio del trabajo.....	30
Figura 2.5 Cursograma analítico basado en el material: desmontaje, limpieza y desengrase de un motor.....	33
Figura 2.6 Diagrama de recorrido del proceso típico de una organización que da limpieza a motores.....	34
Figura 2.7 Ciclo básico de inventario bajo sistema de revisión continua (modelo pull) .	37
Figura 2.8 Diagrama para la clasificación de los repuestos.....	39
Figura 2.9 Aplicaciones SAP para empresas	40
Figura 3.1 Horno de arco eléctrico para fabricar acero	44
Figura 3.2 Vista general transversal de una CC.....	45
Figura 3.3 Distribución de los equipos de extracción en el departamento de colada continua.....	46
Figura 3.4 Vista isométrica de un equipo de extracción.....	47
Figura 3.5 Interrupciones en acería por causas de mantenimiento.	48
Figura 3.6 Gráfico de barras de las demoras de acería por responsable.....	49
Figura 3.7 Gráfico circular de porcentaje de interrupciones por responsable	49
Figura 3.8 Gráfico de barras de demoras por equipo en el año 2023	50
Figura 3.9 Gráfica circular de porcentaje de demoras en el año 2023.....	51
Figura 3.10 Proceso de gestión y ejecución del mantenimiento a los equipos de extracción.....	55
Figura 3.11 Elementos de entrada y salida del proceso de reparación de equipos de extracción.....	56

Figura 3.12 Diagrama causa - efecto (Ishikawa) del proceso de mantenimiento a equipos de extracción	57
Figura 3.13 Etapas de mejora de las causas encontradas en el diagrama de Ishikawa	58
Figura 3.14 Nuevo organigrama del taller de reparaciones	59
Figura 3.15 Participación porcentual de las refacciones tipo A, B y C	60
Figura 3.16 Configuración del material en SAP con parámetros de planificación de necesidades	62
Figura 3.17 Cálculo de suplementos.....	64
Figura 3.18 Diagrama de recorrido de método actual	66
Figura 3.19 Distribución actual del taller de reparaciones.	67
Figura 3.20 Diagrama de relaciones del proceso de reparación de equipos de extracción	68
Figura 3.21 Diagrama de relaciones por proximidad	69
Figura 3.22 Distribución mejorada con el método SLP.....	70
Figura 3.23 Análisis 5 porqués del equipo de medición.....	71
Figura 3.24 Encabezado de lista de verificación para revisión de la reparación de equipos en general.....	72
Figura 3.25 Anexo de firmas de verificación del estado de entrega del equipo	72
Figura 4.1 Curva de aprendizaje de los operarios responsables de la reparación de los equipos de extracción.....	77
Figura 4.2 Proceso de gestión y ejecución del mantenimiento a los equipos de extracción con nueva gestión de refacciones.....	78
Figura 4.3. Diagrama de recorrido de método propuesto	79
Figura 4.4 Tiempo medio observado de método anterior vs método actual.....	80
Figura 4.5 Comparación de tiempos entre método actual y método propuesto.....	80
Figura 4.6 Distancias recorridas de método anterior vs método actual	81
Figura 4.7 Comparación de distancias entre método actual y método propuesto.....	81
Figura 4.8 Tiempo invertido en actividades vs solicitud de equipo de pruebas	84
Figura 4.9 Proporción de tiempo entre actividades y solicitud de equipo de pruebas.....	85
Figura 4.10 Distancia invertida en actividades vs solicitud de equipo de pruebas.....	85

Figura 4.11 Proporción de distancias recorridas entre actividades y solicitud de equipo de pruebas	86
Figura 4.12 Proceso de gestión y ejecución del mantenimiento a los equipos de extracción optimizado Fuente: Elaboración propia	87
Figura 4.13 Gráfico de barras de demoras por equipo en el año 2024	88
Figura 4.14 Comparación de tiempos de inactividad en equipos de extracción año 2023 y 2024.....	88

Resumen

La presente investigación es desarrollada en el departamento de colada continua de una empresa siderúrgica que fabrica vigas de acero para construcción, esto con el objetivo de optimizar el proceso de mantenimiento de los equipos de extracción y reducir los tiempos de inactividad que se reportan en el área de colada continua, a través del uso de diferentes técnicas, herramientas y metodologías ampliamente usadas en el campo de la ingeniería industrial tomando en cuenta aspectos como gestión de la mano de obra, materiales, métodos de trabajo, condiciones operativas y equipos utilizados durante este proceso.

El resultado obtenido al final de la implementación de dichas herramientas es de la reducción de los tiempos de inactividad en un 77.04%, lo cual se encuentra alineado con el objetivo principal de esta investigación, así como de la implementación de una gestión integral del proceso de mantenimiento.

Esta contribución es fundamental para señalar que el uso de estas herramientas trae consigo la mejora a factores explícitos como el aumento de la productividad, reducción de tiempos muertos y eliminación de desperdicios, así como a factores implícitos como una gestión integral de los procesos, colaboración con otros departamentos dentro de la empresa e incluso optimización de los procesos dependientes en una cadena de suministro.

Algunas de las implicaciones del presente estudio son la implementación de las herramientas de la ingeniería industrial a los departamentos de las organizaciones de diferentes ramos donde se tenga que optimizar algunos de los recursos utilizados en los procesos productivos y de apoyo. Análogamente este estudio refuerza la importancia de contar con un mantenimiento preventivo y optimizado, ya que en muchos de los casos es el ser humano quien efectúa todas estas tareas de mantenimiento lo cual resalta la necesidad de capacitación, estandarización y gestión eficiente del personal.

Palabras clave: *mantenimiento, optimización, tiempos de inactividad, colada continua, productividad.*

Abstract

This research was conducted in the continuous casting department of a steel company that manufactures steel beams for construction, with the objective of optimizing the maintenance process of extraction equipment and reducing downtime in the continuous casting area. To achieve this, various techniques, tools, and methodologies widely used in the field of industrial engineering were applied, considering aspects such as workforce management, materials, work methods, operating conditions, and equipment involved in the process.

The implementation of these tools resulted in a 77.04% reduction in downtime, which is aligned with the main objective of this study as well as with the establishment of an integrated maintenance management process.

This contribution highlights that the application of these tools leads to improvements in explicit factors such as increased productivity, reduction of idle times, and elimination of waste, as well as implicit factors including integrated process management, collaboration with other departments within the company, and even optimization of dependent processes within the supply chain.

Some of the implications of this study include the potential for implementing industrial engineering tools in departments of organizations across different industries where optimization of productive and support resources is required. Similarly, this study reinforces the importance of having preventive and optimized maintenance, given that in many cases these tasks are performed by human operators, emphasizing the need for training, standardization, and efficient personnel management.

Keywords: *maintenance, optimization, downtime, continuous casting, productivity.*

Capítulo 1. Construcción del Objeto de Estudio

1.1. Introducción

En la actualidad el sector siderúrgico tiene una alta importancia a nivel mundial principalmente por el principal producto que generan, el cual es el acero, así lo indica Moyo (1959), ya que por sus características mecánicas este material es usado en diferentes aspectos cotidianos, es decir que este se encuentra en varias actividades productivas, así como en diferentes accesorios del hogar, por lo que cada vez es más alta la competencia del acero debido a que se considera un elemento importante de la demanda en la economía mundial.

En el contexto del comercio del acero, el incremento de la producción del acero es una realidad que contribuye al aumento de la economía mundial, así lo indica Carvajal (2011), en la importancia del sector siderúrgico que cual es parte de la cadena siderúrgica y metalmecánica compuesta de materias primas, productos intermediarios y productos finales que son proveedores de industrias de construcción, automotrices, petroleras, entre otros. Por ende, esta cadena de suministro puede verse afectada por el hecho de tener indisponibilidad de maquinaria en los procesos de producción de cada empresa.

Es importante mencionar que por el hecho de tener siempre disponibles los equipos y maquinaria, se puede mejorar la producción de una empresa, tal como lo señala Milano (2005), la mayoría de los usuarios afirman que necesitan la disponibilidad del equipo tanto como la seguridad, porque no se puede tolerar tener un equipo fuera de servicio mucho tiempo ya que esto impacta directamente al paro de las líneas de producción comunes en una empresa afectando principalmente al cumplimiento de la producción, productividad e imagen de la empresa con los clientes al no atender los pedidos.

Es por ello por lo que, se pone énfasis a optimizar los insumos usados en las actividades de mantenimiento, por ejemplo, los recursos y maquinaria empleados, el personal a carga, entre otros. También es de suma importancia implementar mejoras en cuanto a reducción de tiempos de mantenimiento, lo cual requiere un profundo análisis de cada una de las etapas del proceso de reparación de los equipos de extracción.

1.2. Revisión de la literatura

El acero es quizás uno de los materiales más importantes, hoy en día se utiliza para prácticamente cualquier ámbito de la vida cotidiana. Por lo que es importante saber todo acerca de este material. Primeramente, se debe saber cómo está conformado y sus aplicaciones, por ejemplo Callister (1996), explica que el acero es una aleación hierro-carbono que poseen concentraciones de aleaciones de otro elemento, de igual forma señala que la relación que existe entre el acero y sus propiedades mecánicas, dependen de la cantidad de carbono que tenga.

Groover (2007), plantea una forma de clasificar el acero que ayuda mucho a entenderlo mejor. Él lo divide en cuatro tipos principales, según su composición química y las propiedades que tenga. Cada uno está pensado para diferentes usos, desde estructuras pesadas hasta herramientas de precisión. Esa clasificación permite elegir el tipo de acero adecuado según lo que se necesite fabricar o construir.

Aceros al carbón simples: Básicamente, estos aceros se definen por el carbono, ese elemento clave en la aleación. Otros, como el manganeso, en pequeñas cantidades, como por ejemplo el 0.5%, lo interesante de estos aceros es que, son ideales cuando se busca resistencia sin complicarse demasiado con mezclas más especializadas.

Aceros bajos de aleación: Aunque empiezan igual con hierro y carbono, les suman otros elementos. Estos menos del 5% del peso, y resulta que, ofrecen más resistencia que los simples aceros al carbono.

Aceros inoxidables: Estos aceros son muy conocidos por su excelente resistencia a la corrosión, lo que significa que no se estropean fácil ni con el tiempo ni el uso. Su estructura contiene casi un 15% de cromo.

Aceros para herramientas: como indica su nombre, estos aceros se utilizan para fabricar moldes, troqueles y herramientas de corte en procesos industriales. También suelen tener altas proporciones de aleaciones. Este tipo de acero destaca por su gran resistencia mecánica, también resiste la abrasión, demostrando una notable tenacidad frente a golpes.

Por otro lado Altting (1996), describe su propia clasificación del acero, pero en este caso es dependiendo su aplicación, la clasificación parte de dos grupos en general: los aceros usados en la construcción (<0.9% de carbono) y los aceros para fabricar herramientas (0.5-2% de carbono).

Para describir de mejor manera esta clasificación se generó una tabla donde se describen los categorías y subcategorías de los dos tipos de acero, la cual se muestra a continuación (véase la Tabla 1.1).

Tabla 1.1 Clasificación de los aceros según su uso en construcción y herramientas

Fuente: Elaboración propia con base en Alting (1996)

Clasificación	Tipo de acero	Aplicaciones
Acero para construcción	Aceros estructurales en general	Puentes, edificios, estructuras de maquinaria, buques, camiones y otras aplicaciones similares
	Aceros de ingeniería en general apropiados para maquinaria	Usados en componentes de maquinaria que requieren alta resistencia y dureza entre media y alta
	Aceros inoxidables	Usados donde se encuentran medios corrosivos
	Aceros resistentes al calor	Donde se requiere alta resistencia a la fluencia a elevadas temperaturas
	Aceros de fácil maquinado	Se usan donde las propiedades de maquinado desempeñan un papel importante.
	Aceros ordinarios al carbono de baja aleación	Usados para fabricar lámina, chapa, tubo o alambre especiales y otros productos.
Aceros para herramientas	Aceros para herramientas de trabajo en frío	Para generar herramientas de corte, herramientas de estampado o de presión, moldes de forja, herramientas de troquelado.
	Aceros para herramientas de trabajo en caliente	Moldes de forja, moldes de colado, moldes de extrusión.
	Aceros para herramientas de alta velocidad	Herramientas de corte.
	Los carburos cementados	Herramientas de corte (insertos o pastillas), troqueles de conformación, punzones sacabocados.

De acuerdo con Kalpakjian & Schmid (2014) destacan que el acero se emplea en la fabricación de diversos productos industriales, tales como láminas para automóviles y electrodomésticos, placas para calderas, barcos y puentes, así como elementos estructurales —

como vigas, ejes, cigüeñales y rieles—, herramientas, moldes, varillas y alambres utilizados en sujetadores como pernos, remaches y tuercas.

De igual forma destacan el uso del acero para la fabricación de materiales estructurales siendo este de menos costo en comparación de otros materiales estructurales.

Debido a la demanda creciente del acero, distintos países se encuentran en constante competitividad por el mercado del acero global, siendo la producción anual del acero un indicador clave en respuesta de la demanda del acero (véase Figura 1.1)

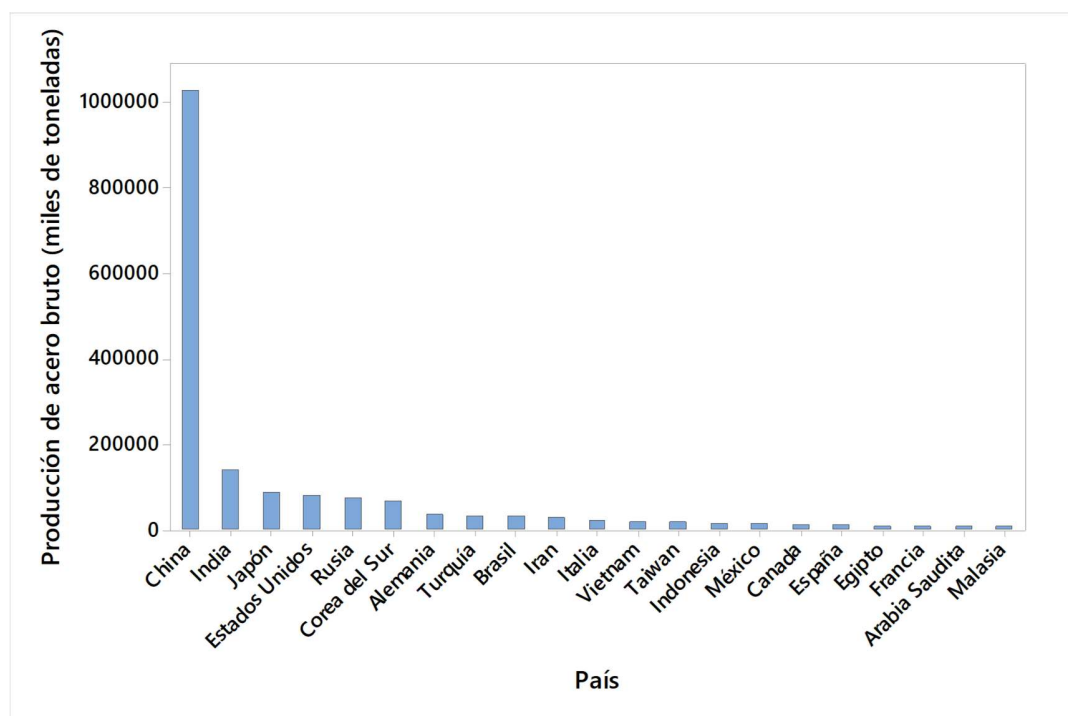


Figura 1.1 Países con mayor producción de acero en 2023

Fuente: Elaboración propia con base en datos de World Steel Association (2023)

México en el año 2023 se encontraba en el lugar número 15 en producción de acero bruto a nivel mundial (World Steel Association, 2025). Lo anterior representa un desafío al competir contra grandes productores de acero como lo es China, el cual produjo el 58.2% de acero bruto a nivel mundial contrastando con la producción de México el cual corresponde al 0.9% del mismo rubro (véase Figura 1.2)

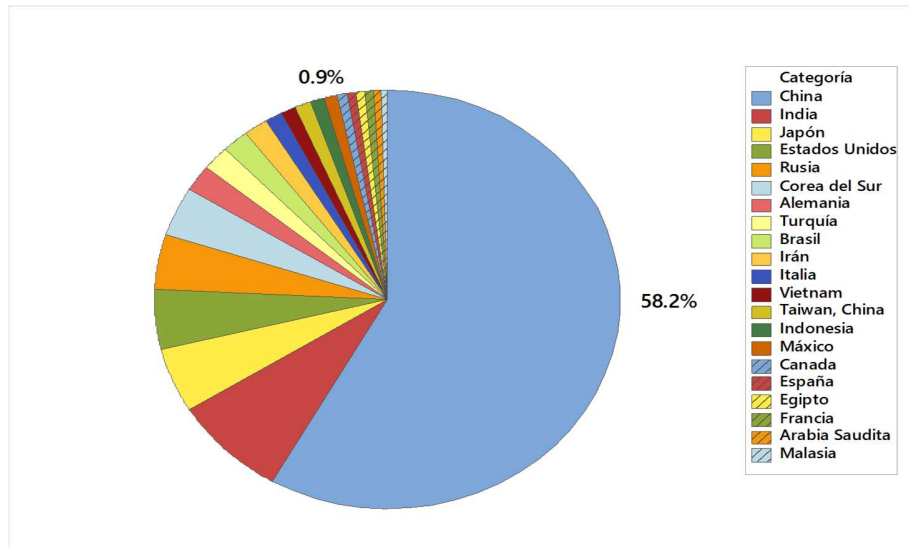


Figura 1.2 Gráfico circular de países con mayor producción 2023

Fuente: Elaboración propia con base en datos de World Steel Association (2023)

Según datos de la World Steel Association (2025), México se ha mantenido generando más de 15 millones de toneladas en años recientes (véase Figura 1.3)

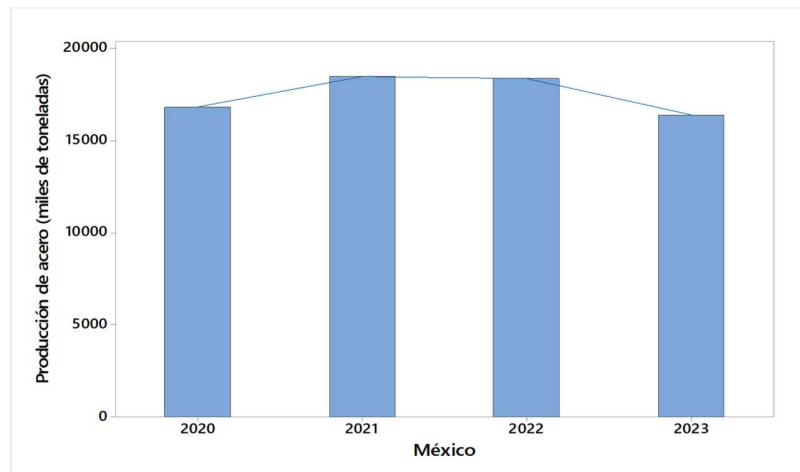


Figura 1.3 Producción de acero en México en años recientes

Fuente: Elaboración propia con base en datos de World Steel Association (2023)

A pesar de contar con una industria siderúrgica relevante, México presenta una balanza comercial deficitaria en productos de fundición, hierro y acero. De acuerdo con información de la Secretaría de Economía (2025), en México las compras internacionales de acero han

superado de forma constante a las ventas internacionales de acero en los últimos años, alcanzando un valor promedio de \$10.53 mil millones de dólares (USD) en compras internacionales frente a un promedio de \$3.62 mil millones de dólares en ventas (véase Figura 1.4)

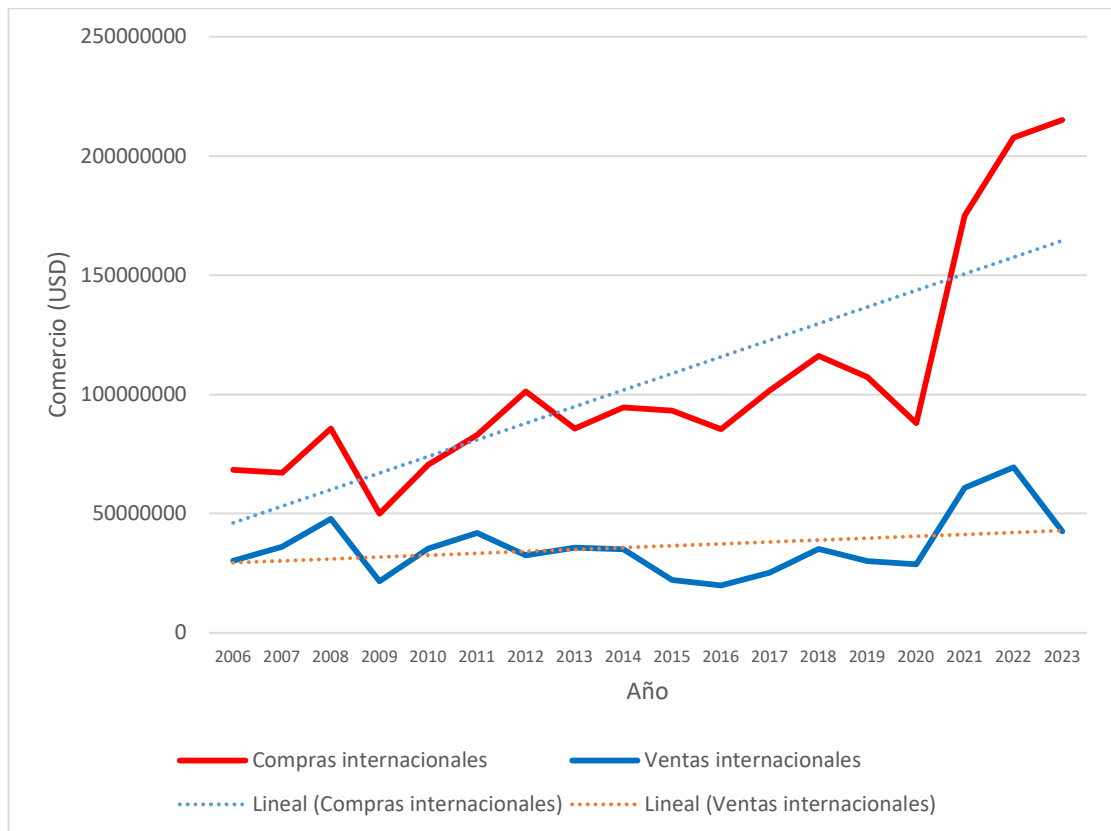


Figura 1.4 Comercio internacional Neto del acero en México en años recientes

Fuente: Elaboración propia con base en información de DataMéxico (2023)

La información anterior revela una dependencia del mercado extranjero que supone una barrera para el desarrollo de la industria siderúrgica en el país y una justificación para la necesidad subyacente de diversificar y potenciar la capacidad de producción del acero en México.

1.3. Planteamiento del problema

En el departamento de colada continua de una empresa siderúrgica dedicada a la fabricación de barras de acero estructurales se han presentado tiempos muertos debido al fallo de los equipos de extracción los cuales son la maquinaria usada en el área de colada continua para la extracción y enderezado de las barras de acero. Las fallas recurrentes han provocado paros no programados que afectan directamente a la capacidad de producción y retrasos en la entrega de pedidos provocando insatisfacción por parte de los clientes y una baja competitividad de la empresa.

Durante el año 2023 se registraron 2138.77 minutos de paro no programado atribuidos a fallos en los equipos de extracción, lo que representa el 10.8% del total de fallas registradas en los equipos de acería. El tiempo que representan estos paros no solo disminuyen los niveles de producción programada, si no incrementan los insumos utilizados en las actividades de mantenimiento correctivo no planificado. Actualmente no se tienen identificadas las principales causas del problema por lo que se genera una dependencia excesiva del mantenimiento reactivo el cual no contribuyen a la mejora continua del proceso.

El problema se vuelve crítico considerando que el proceso de colada continua en la empresa siderúrgica es considerado fundamental ya que en este mismo se transforma el metal líquido en productos sólidos sin detenerse hasta completar la producción programada, así como también se definen las características dimensionales de las barras de acero tales como largo, alto y ancho.

Es importante destacar que la empresa cuenta con un taller interno para el mantenimiento preventivo de estos equipos, aunque se hace presente la ausencia de información respecto a la calidad del mantenimiento que permita evaluar la calidad y efectividad de las actividades realizadas, lo que dificulta garantizar la confiabilidad y el desempeño óptimo de los equipos.

1.4. Justificación

La empresa se basa fuertemente de la disponibilidad de sus equipos para lograr cumplir con la demanda de barras de acero.

En el contexto del mercado del acero se centra la importancia de cumplir con los planes de producción de la empresa, entonces se deben asegurar las entregas de los pedidos del acero en tiempo y forma.

Por lo que es importante mencionar que los equipos de extracción son totalmente necesarios para la extracción y enderezado de las vigas, así que si estos fallan todos los procesos que están en las estaciones siguientes se verán detenidos al no tener el acero en las especificaciones necesarias.

Resulta vital entonces, reducir las paradas en los equipos de extracción, en el departamento de colada continua. Pero, optimizar las actividades de mantenimiento de los equipos de extracción es crucial, se necesita un buen análisis de cada detalle del proceso para poder aplicar mejoras.

La presente investigación se enfoca en lo relevante de bajar el tiempo en las paradas de la estación de colada continua, analizando el mantenimiento y a su vez pretende ser una referencia para las empresas que busquen mejorar la disponibilidad de sus equipos en procesos productivos mediante la aplicación de técnicas y herramientas de mejora.

De acuerdo con Bobadilla (2018) la gestión del mantenimiento industrial debe concebirse como un factor estratégico dentro de los procesos productivos, ya que su adecuada planificación, control y ejecución permiten optimizar recursos, reducir costos y garantizar la continuidad operativa. Además, al mantener los equipos en condiciones óptimas de funcionamiento, se contribuye directamente a la continuidad operativa del negocio, lo que a su vez genera mayor competencia.

Es un aporte importante, ya que, al ser un proceso de producción, la empresa necesita que todo funcione bien, en especial sus equipos, para hacer las barras de acero, eso significa más dinero. Al verse detenida una máquina puede repercutir en el paro de una línea de producción, puede afectar planes de producción de la empresa.

1.5. Objetivos de la investigación

1.5.1. Objetivo General

Optimizar el proceso de mantenimiento de los equipos de extracción, para reducir los tiempos muertos en la estación de colada continua de una empresa siderúrgica, a través del análisis de los procedimientos actuales y la aplicación de herramientas de análisis y mejora.

1.5.2. Objetivos Específicos

1. Analizar el proceso actual de mantenimiento de los equipos de extracción en la estación de colada continua.
2. Medir y evaluar los tiempos empleados en cada actividad mediante la aplicación de un estudio de tiempos y movimientos.
3. Diseñar una propuesta de mejora basada en herramientas de ingeniería industrial para optimizar las actividades de mantenimiento.
4. Evaluar el impacto de las mejoras aplicadas.

1.6. Preguntas de investigación

1. ¿Cómo el proceso actual de mantenimiento de los equipos de extracción influye en los tiempos inactivos del proceso de colada continua?
2. ¿Qué parte del mantenimiento de los equipos de extracción origina retrasos grandes, justamente en la colada continua?
3. ¿Qué herramientas de análisis y optimización podrían mostrar mejores prácticas en la reparación de los equipos de extracción?

1.7. Hipótesis

Las hipótesis planteadas para este proyecto de investigación son:

- H_0 : La optimización del proceso de mantenimiento de los equipos de extracción a través de la gestión de personal, materiales, máquinas y métodos de trabajo no tiene un efecto significativo en la reducción de los tiempos de inactividad del proceso de colada continua.
- H_1 : La optimización del proceso de mantenimiento de los equipos de extracción a través de la gestión de personal, materiales, máquinas y métodos de trabajo tiene un efecto significativo en la reducción de los tiempos de inactividad del proceso de colada continua.

1.8. Delimitación y alcance

1.8.1. Delimitación del problema

- Estudio del proceso de reparación de los equipos de extracción que actualmente el taller de reparaciones se está llevando a cabo.
- Implementar mejoras una vez identificadas las áreas de oportunidad en el proceso de reparación de los equipos de extracción.

1.8.2. Alcance geográfico

Esta tesis se desarrolla en el departamento de mantenimiento de una empresa siderúrgica.

1.8.3. Alcance temporal

Se analizarán datos de producción y prácticas de mantenimiento correspondientes del año 2023 y 2024.

1.9. Plan metodológico

La presente investigación se desarrolla bajo un enfoque cuantitativo, de tipo aplicada y con alcance descriptivo–propositivo, ya que busca analizar el proceso actual y plantear una mejora.

La información se obtendrá mediante revisión documental, análisis de registros y observación directa en el área de estudio. Posteriormente, los datos serán procesados y analizados

para formular una propuesta la cual será implementada para la mejora del objetivo general. Finalmente se efectuará un análisis del impacto en los tiempos de disponibilidad de los equipos de extracción.

1.9.1. Alcance de la investigación

Este estudio se ubica dentro de la línea de generación y aplicación del conocimiento enfocada en el análisis y mejora de procesos industriales. Su alcance es de tipo exploratorio y descriptivo, ya que busca comprender la relación entre la gestión del mantenimiento en equipos de extracción y los tiempos de inactividad en una estación de colada continua se pretende generar información que permita valorar oportunidades de mejora para posteriormente implementar dichas soluciones y mejoras.

1.9.2. Variables independientes

- Tiempo aplicado al mantenimiento de los equipos de extracción
- Disponibilidad de insumos y refacciones necesarios para la reparación de los equipos de extracción.
- Personal asignado a la actividad de mantenimiento.

1.9.3. Variables dependientes

Tiempo total (en minutos u horas) en que la estación de colada continua permanece detenida como consecuencia de actividades de mantenimiento en los equipos de extracción.

1.9.4. Tipo de investigación

La presente investigación es del tipo aplicada ya que su principal función se base en la aplicación del conocimiento en un sector determinado. El propósito de la investigación aplicada es la creación de saberes que se utilicen directamente y a mediano plazo en la sociedad o en el sector de producción (Lozada, 2014).

Capítulo 2. Estado del Arte

2.1. Marco Teórico

2.1.1. Mantenimiento industrial

García et al. (2019) afirman que el papel del mantenimiento en una organización es destacado porque garantiza aportaciones a la productividad, por medio de la confiabilidad y disponibilidad de los equipos, maquinaria e instalaciones, impactando también en la calidad, seguridad y salud en todos sus aspectos. Por otro lado Milano (2005) define al mantenimiento como un conjunto de actividades que lleva a cabo el usuario durante la vida útil de los equipos o sistemas con el fin de mantenerlos operativos o para restaurarlos a esa condición, donde la entrada se simboliza por el equipo o sistema que el usuario debe mantener en funcionamiento, y la salida se representa por el equipo o sistema en funcionamiento (véase Figura 2.1).

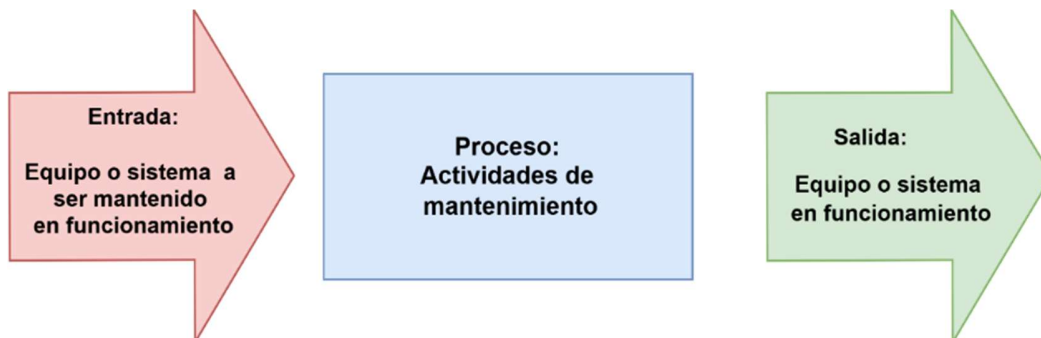


Figura 2.1 Proceso general del mantenimiento

Fuente: Elaboración propia

Por otro lado, el autor Montilla (2016) destaca que el mantenimiento no es una actividad inmutable que se planifique y realice de forma permanente, sino que es una actividad dinámica que constantemente requiere revisiones, modificaciones y mejoras.

En este contexto es importante comprender el ciclo de deterioro de un equipo. Para ello, en este contexto se recurre al modelo de la curva P-F, donde el punto P representa el momento en que

se puede identificar que una falla está comenzando a desarrollarse y el punto F corresponde a la falla del equipo, es decir, cuando la máquina ya no hace lo que tiene programado (Pérez, 2021).

La curva P-F es una gran herramienta que ayuda a identificar una condición anormal en el equipo antes de que ocurra una falla potencial, de tal forma se entiende que el mantenimiento preventivo se ubica antes en el punto P; mientras que el mantenimiento correctivo actúa una vez alcanzado el punto F, que es cuando ya ha ocurrido la falla y necesita que se repare (véase Figura 2.2).

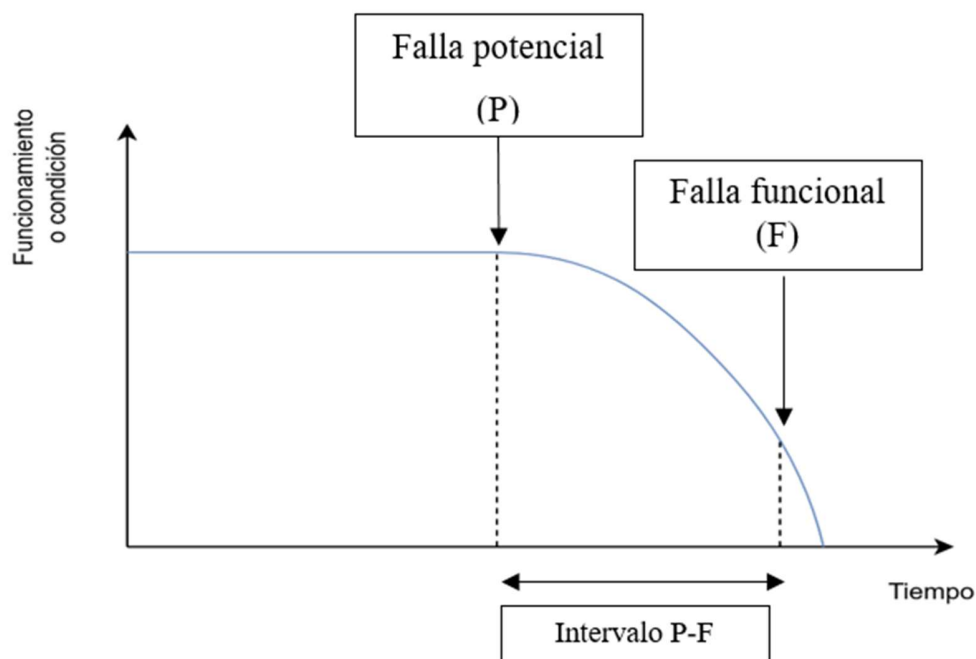


Figura 2.2 Curva P-F

Fuente: Elaboración propia

Este ciclo de la condición de un equipo o maquinaria permite identificar de forma oportuna el momento donde se debe intervenir para realizar acciones de mantenimiento que ayuden al equipo a mantener su funcionamiento óptimo de forma constante a través del tiempo.

El mantenimiento correctivo se define como el conjunto de técnicas orientadas a solucionar fallas o desperfectos que se presentan en los equipos y que son reportados por los propios operadores al área encargada del mantenimiento de la planta (García, 2003).

Este enfoque del mantenimiento se encarga únicamente de atender fallas en la máquina una vez que esta pueda ser apreciada de forma visual o haya causado la interrupción del proceso productivo.

De acuerdo con lo señalado por el autor Pérez (2021) el mantenimiento correctivo puede clasificarse en dos tipos fundamentales: no programado y programado, los cuales difieren en su enfoque, momento de ejecución y planificación (véase Tabla 2.1)

Tabla 2.1 Tipos de mantenimiento correctivo

Fuente: Rondón, 2021

Tipo de mantenimiento correctivo	Descripción	Acción inmediata
Mantenimiento correctivo no programado	Se ejecuta una vez que la falla se manifiesta en el equipo o máquina, lo que provoca la detención inmediata de su funcionamiento.	Reparar o reemplazar el componente defectuoso
Mantenimiento correctivo programado o planificado	Se lleva a cabo cuando se identifica que un componente de la máquina presenta indicios de deterioro o está cercano a fallar.	Programación del mantenimiento para corregir la posible avería antes de que afecte el funcionamiento de la máquina.

Por otro lado, el mantenimiento preventivo se basa en la planificación y ejecución de actividades que se realizan con el propósito de asegurar o extender el tiempo de vida útil del equipo o maquinaria.

De acuerdo con García (2003) el objetivo del mantenimiento preventivo es anticiparse a posibles fallas en componentes, equipos o sistemas, y comprende diversas acciones como inspecciones, ajustes, sustituciones, restauraciones y evaluaciones, las cuales se llevan a cabo en función del tiempo transcurrido o del uso acumulado del equipo. Por otro lado Kanawaty (1996) define que el enfoque del mantenimiento preventivo consiste en identificar anticipadamente las necesidades operativas del equipo o maquinaria, que pueden ir desde lubricación y engrase de engranes y componentes en movimiento constante, hasta intervenciones preventivas de mayor complejidad. A partir de este diagnóstico, se elabora un plan estructurado que permite programar acciones periódicas de mantenimiento y reparación, con el objetivo principal de prevenir la ocurrencia de fallas.

Finalmente Montilla (2016) señala algunas ventajas de la implementación de este enfoque de mantenimiento preventivo:

1. Aumenta la confiabilidad de las máquinas / equipos puesto que operan en mejores condiciones de seguridad ya que se conoce su estado y sus condiciones de funcionamiento.
2. Uniformidad en la carga de trabajo para el personal de Mantenimiento debido a una programación de actividades.
3. Mayor duración de los equipos e instalaciones.
4. Disminución del tiempo muerto, tiempo de parada de máquinas y equipos.

2.1.2. Diagrama de ishikawa enfocado al mantenimiento industrial

El diagrama de Ishikawa una herramienta útil para abordar diversos problemas comunes en entornos de ingeniería. Entre estos se encuentran la disminución del rendimiento del personal, la presencia de tiempos improductivos prolongados, altos niveles de ausentismo, fallos frecuentes en el registro de información, recurrencia de averías en los equipos, así como la acumulación de tareas no ejecutadas (Montilla, 2016).

El uso de esta herramienta consiste en desglosar el problema hasta determinar las causas que lo están provocando, de igual forma se realiza clasificación en seis parámetros una vez que se han identificado dichas causas (véase Figura 2.3). Los parámetros en los que se clasifican las causas del problema son las siguientes:

- Método: El cual se refiere a problemas asociados a la forma de la ejecución de actividades. Un método inadecuado puede conducir a obtener diferentes resultados que no permitan estandarizar el resultado final y por ende representar un problema.
- Mano de obra: Este parámetro asociado con el personal encargado de la ejecución de las actividades donde se analizan las capacidades técnicas del personal, así como necesidades de este que puedan al resultado esperado.
- Medición: Al identificar problemas relacionados con los equipos de medición utilizados para garantizar parámetros requeridos por el cliente que puedan afectar la lectura de las medidas reales del producto final.
- Materia prima: Relacionado con problemas asociados con la materia prima e insumos utilizados directamente en el proceso. Algunos problemas asociados a este parámetro pueden ser: calidad de la materia prima que no corresponda a las especificaciones, indisponibilidad por tiempos de entrega extensos o agotamiento del producto.
- Maquinaria: En este rubro se evalúan las condiciones actuales del equipo, así como el punto en el que se encuentra en la curva de la condición del equipo.
- Medio ambiente: En esta sección se realiza un análisis sobre las condiciones ambientales en las que se encuentra en el proceso que pudiesen afectar el resultado esperado. Algunas de las condiciones que se someten al análisis son: iluminación, ruido, espacios, vías de acceso y circulación, así como otros factores que puedan afectar el desempeño del personal asociado al proceso.

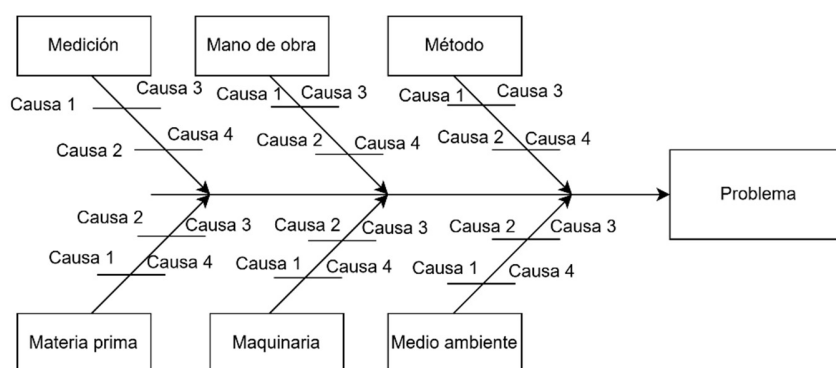


Figura 2.3 Estructura de diagrama de Ishikawa

Fuente: Elaboración propia con base en información de Montilla, 2016

2.1.3. Estudio del trabajo enfocado al mantenimiento industrial

Algunas de las actividades de mantenimiento pueden ser analizadas con ciertas técnicas del estudio del trabajo como lo puede ser el estudio de métodos y este puede ser aplicado a la examinación de los movimientos realizados por el personal encargado del mantenimiento de una organización. Existen varias técnicas del estudio del trabajo, pero en especial destacan las de medición del trabajo y el estudio de tiempos (Kanawaty, 1996). Las técnicas de estudio de métodos y medición del trabajo están relacionadas entre sí dentro del esquema del estudio del trabajo para aumentar la productividad de cualquier proceso (véase Figura 2.4)

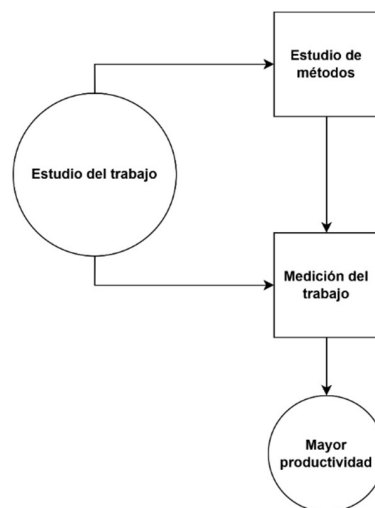


Figura 2.4 Estudio del trabajo

Fuente: Elaboración propia con base en Kanawaty, (1996)

Según Kanawaty (1996) el estudio de métodos es el registro y examen crítico sistemáticos de los modos de realizar actividades, con el fin de efectuar mejoras. De igual forma menciona que el estudio de métodos puede contribuir a la reducción de tiempos de mantenimiento como lo puede ser el cambio del proceso, la introducción de un equipo de transporte, el cambio del diseño del producto o el cambio del modo de ejecución del proceso.

López et al. (2014), mencionan que la aplicación del estudio de métodos puede mejorar una actividad en el sentido de disminuir los movimientos. De igual forma mencionan que el estudio de métodos se clasifica en tres categorías:

- Los movimientos que realiza la persona.

- Los relacionados con la organización del área de trabajo.
- Aquellos que tienen que ver con el uso de herramientas y equipos.

En tal sentido existen algunos diagramas y herramientas gráficas que permiten realizar el registro de las actividades, estos pueden agruparse en tres categorías (véase Tabla 2.2)

Tabla 2.2 Gráficos y diagramas utilizados en el estudio de métodos

Fuente: Adaptado de Kanawaty (1996)

Herramienta	Aplicación
Gráficos	Que indican la sucesión de los hechos
	Con escala de tiempo
Diagramas	Que indican movimiento

Entre estos diagramas y gráficos se encuentran el cursograma analítico que indican la sucesión de los hechos, el diagrama de hilos y de recorrido que indican el movimiento de los trabajadores, la maquinaria o los materiales.

El diagrama del proceso o cursograma analítico es una herramienta que muestra las operaciones, movimientos, inspecciones, almacenamientos y demoras en base a la sucesión de los hechos. El objetivo principal de este diagrama es dar a conocer un panorama general de un proceso para generar mejoras en cuanto a la eliminación de demoras y tiempos improductivos, así como a la comparación entre métodos de trabajo (García, 2005). Para generar la estructura del diagrama se deben considerar algunos puntos relevantes:


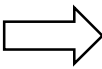



- Un encabezado que muestre una descripción detallada del contexto donde se realiza el estudio (empresa, proceso estudiado, método, fecha, nombre del operario, entre otras cosas).
- Descripción de cada una de las actividades o el nombre de la actividad que se está realizando.
- Cantidad [unidad]
- Tiempo empleado por actividad [minutos].
- Distancia recorrida [metros].
- Símbolo básico asociado a la actividad que se esté llevando a cabo en ese punto.

Es conveniente mencionar el uso de los símbolos básicos, lo cual es una forma de registro y clasificación de las actividades que se realizan en la actividad. El método de registro consta de

cinco símbolos que representan el conjunto de actividades en una sola clasificación. A continuación, se da a conocer dicha clasificación (véase Tabla 2.3).

Tabla 2.3 Símbolos básicos empleados en un cursograma analítico

Elaboración propia con base en García Criollo, (2005)

Actividad	Símbolo	Resultado predominante
Operación		Se produce o se realiza algo.
Transporte		Se cambia de lugar o se mueve un objeto.
Inspección		Se verifica la calidad o cantidad del producto
Demora		Se interfiere o se retrasa el paso siguiente
Almacenaje		Se guarda o se protege el producto o los materiales

La implementación de estos símbolos en el diagrama facilita el registro de los hechos, así como la identificación de actividades que agregan valor como las que no agregan valor. En tal sentido el analista puede enfocarse en las actividades que resulten repetitivas, que representen demoras o que representen grandes distancias recorridas, ante ello será posible identificar soluciones y la forma de implementarlas.

Así con la información antes mencionada es posible dar forma a la estructura de un cursograma analítico. A continuación, se muestra un cursograma analítico con un ejemplo de mantenimiento a un motor, donde en la parte superior se coloca un encabezado, y el cuerpo del diagrama (véase Figura 2.5)

Cursograma analítico		Operario/Material/Equipo							
		Resumen							
Diagrama núm 1	Hoja núm 1 de 1	Actividad	Actual	Propuesta	Economía				
Objeto:		Operación	4						
Motores de autobús usados		Transporte	21						
Actividad:		Espera	3						
Desmontar, limpiar y desengrasar antes de la inspección		Inspección	1						
Método: Actual/Propuesto		Almacenamiento	1						
Lugar: Taller de desengrase		Distancia (m)	237.5						
Operario(s):	Ficha núm. 1234	Costo							
	571	Mano de obra							
Compuesto:	Fecha:	Material							
Aprobado por:		Total							
Descripción	Cantidad	Distancia (m)	Tiempo (min)	Símbolo					Observaciones
				○	➡	D	□	▽	
En almacén de motores usados	1								
Motor recogido									Con grúa eléctrica
Transportado hasta grúa siguiente		24							Con grúa eléctrica
Descargado en tierra									
Recogido									Con grúa eléctrica
Transportado hasta taller de desmontaje		30							Con grúa eléctrica
Descargado en tierra									
Desmontado									
Piezas principales limpiadas y extendidas									
Inspeccionado estado de las piezas									
consignar lo observado									
Piezas llevadas a jaula de desengrase		3							
Cargadas para llevar a desengrasar									
Transportadas hasta desengrasadora		1.5							Con grúa de mano
Descargadas en desengrasadora									
Desengrasadas									
Sacadas de desengrasadora									Con grúa de mano
Transportadas desde desengrasadora		6							Con grúa de mano
Descargadas en tierra									
Dejadas enfriar									
Transportadas hasta bancos de limpieza		12							A mano
Limpiadas a fondo									
Colocadas ya limpias en una caja		9							A mano
Esperar transporte									
Cargadas en carrillo las piezas salvo bloque y culatas de cilindros									
Transportadas hasta departamento de inspección de motores		76							En carrillo
Descargadas y extendidas en mesa de inspección									
Bloque y culatas de cilindros cargados en carrillo									
Transportados hasta departamento de inspección de motores		76							En carrillo
Descargados en tierra									
Depositados provisionalmente en espera de inspección									
Total		237.5		4	21	3	1	1	

Figura 2.5 Cursograma analítico basado en el material: desmontaje, limpieza y desengrase de un motor

Fuente: Elaboración propia con base en Kanawaty (1996)

Por otro lado Niebel y Freivalds (2009) mencionan que existen situaciones en las que es conveniente generar un diagrama de flujo o recorrido, el cual es una representación gráfica de las ubicaciones físicas de las edificaciones y zonas que se mencionan en el diagrama de flujo o cursograma analítico. El diagrama de recorrido se hace a través de la colocación de la simbología básica y del número de la actividad que se coloque en el cursograma analítico, dichos elementos van unidos a un flujo con líneas y flechas periódicas (véase Figura 2.6)

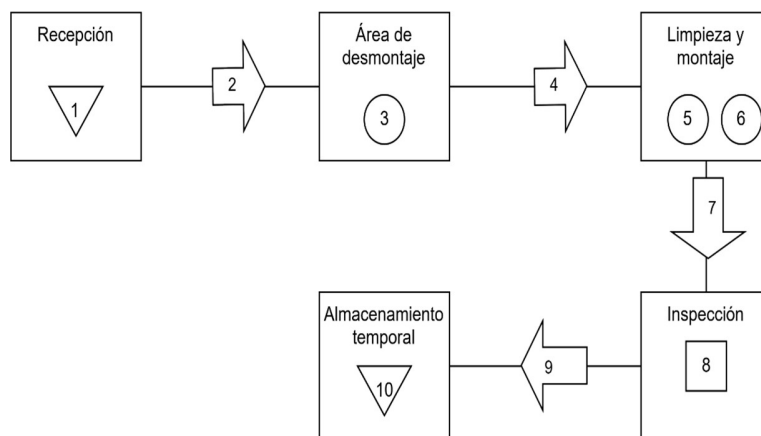


Figura 2.6 Diagrama de recorrido del proceso típico de una organización que da limpieza a motores

Fuente: Elaboración propia

En el diagrama de la Figura 2.6 están representados los símbolos básicos con su número de actividad correspondiente, así como el espacio físico donde se realiza dicha actividad y el flujo que sigue el producto a través de las áreas marcado por el número que contiene cada flecha, lo que indica la sucesión de los transportes.

De acuerdo con Kanawaty (1996). Los símbolos presentes en el diagrama de recorrido se señalan en el lugar específico, de tal modo que el lector del diagrama puede identificar con mayor facilidad las actividades asociadas al método.

En general el diagrama de recorrido o de flujo puede ser útil en cuanto a una mejor distribución de planta. De acuerdo con Muther (1981), “La distribución en planta implica la ordenación física de los elementos industriales. Esta ordenación ya practicada o en proyecto, incluye, tanto los elementos necesarios para el movimiento del material, almacenamiento, trabajadores indirectos y todas las otras actividades o servicios, como el equipo de trabajo y el personal de taller” (p.13).

Cabe recalcar que este diagrama proporciona información en cuanto a necesidades como: operaciones, manejo de materiales, almacenamientos, inspecciones y retrasos. Posteriormente el analista puede generar propuestas para atender las necesidades planteadas en los puntos anteriores, las cuales son: eliminación y/o combinación de etapas del proceso, redistribución de los equipos (esto con el fin de disminuir el tráfico cruzado, eliminar reprocesos y disminuir distancias) y reducir costos en general. (Meyers y Stephens, 2006).

Una parte fundamental que complementa a los diagramas son las técnicas de medición del trabajo, de acuerdo con Kanawaty (1996) la medición del trabajo es la aplicación de técnicas para determinar el tiempo que invierte un trabajador calificado en llevar a cabo una tarea según una norma de rendimiento preestablecida. Por otro lado, según lo señalado por Bright Maynard (1995) la medición del trabajo comprende un conjunto de técnicas como lo son: el estudio de tiempos cronometrado, sistemas de tiempos predeterminados, muestreo del trabajo y datos tipos, siendo la estandarización el principal objetivo de las técnicas mencionadas. De igual forma señala algunas de las causas por las que el área de mantenimiento utilice técnicas de la medición del trabajo:

1. Programación de las actividades de mantenimiento.
2. Medición y evaluación del personal de mantenimiento.
3. Establecer costos y tiempos.
4. Verificación del presupuesto por operación.
5. Comparación entre métodos.
6. Revisión a indicadores.
7. Incentivos de sueldos y salarios.
8. Medición de trabajo por especialidad.
9. Programación de proyectos de mayor inversión.

Kanawaty (1996) menciona que el estudio de tiempos es una técnica de medición del trabajo que se usa para el registro del tiempo efectuado a la realización de una actividad en ciertas condiciones normalizadas, de igual forma señala a algunos de los elementos necesarios para efectuar un estudio de tiempos es el uso de un cronometro y un medio de registro como un formulario o formato para registrar las mediciones. En cuanto a su aplicación en el ámbito del mantenimiento, algunos autores reconocen ciertas limitaciones, por ejemplo Bright Maynard (1995) menciona que el estudio de tiempos a pesar de que ha sido aplicado al mantenimiento, este representa un costo representativo y difícil de mantener, esto debiéndose a la gran cantidad de datos necesarios para cubrir las actividades de mantenimiento.

Por otro lado Niebel y Freivalds (2009), señalan que el estudio de tiempos es una práctica que fomenta el cuestionamiento en el analista, para encontrar una mejor forma de ejecutar las actividades en beneficio de factores como la productividad del área, entregables en tiempo y forma,

así como seguridad y bienestar del operario. Finalmente Reina Archilla (2014) señala que la aplicación del estudio de tiempos al área de mantenimiento de una organización puede ayudar al analista de tiempos a la identificación del tiempo de mantenimiento de forma más precisa, asimismo permite a la empresa mantener un control en los cambios de cada una de las actividades de mantenimiento.

2.1.4. Gestión de inventarios aplicados al mantenimiento industrial

De acuerdo con Mora (2009), la implementación un sistema de inventarios dentro de la práctica del mantenimiento industrial puede ser útil en cuanto a la gestión de insumos, repuestos y materias primas. De igual forma su aplicación permite optimizar los procesos logísticos relacionados con la prestación del servicio de mantenimiento.

Según Ortiz et al. (2018), la gestión de inventarios es una forma de llevar un control sobre la materia prima e insumos de una empresa. Igualmente mencionan que los modelos de inventarios son una parte fundamental para dar solución a dos puntos importantes, los cuales son:

- La cantidad que debe ordenarse para reabastecer el mantenimiento.
- El momento en que deben ordenarse el reabastecimiento.

Lo anterior representa el objetivo principal de administrar los insumos y materiales en los inventarios de la organización. Tal como lo mencionan Arango Serna et al. (2010), la gestión de inventarios representa una etapa crítica de las organizaciones, ya que es proporcional la relación entre sus procesos y activos.

De acuerdo con Vidal (2010), la importancia de mantener los inventarios en cierto nivel, debido a fluctuaciones y variantes que afectan los tiempos de entrega. De igual forma menciona algunas estrategias para evitar el desabasto debido a dichas causas, entre las cuales para este contexto destaca la implementación de modelos que optimicen la gestión y control de inventarios.

Por su parte, Ballou (2004) señala la importancia del manejo de inventarios que se basa en dos filosofías básicas, las cuales son los métodos de empuje (push), el cual consiste en la asignación de suministros a los depósitos basados en los pronósticos y de arrastre (pull), el cual tiene por objetivo el reaprovisionamiento de los materiales por pedido.

Es necesario profundizar en los sistemas de control que permiten una administración eficiente de los recursos. Entre estos, destaca el modelo de control de inventario de revisión continua. En este tipo de modelos destaca el ciclo de inventarios, el cual según Mora (2011) es la cantidad necesaria para cubrir la demanda que surge durante el tiempo entre el que se coloca una orden y el momento en el que la mercancía llega físicamente. Por otro lado Ballou (2004) señala que, en los sistemas básicos de control de inventarios, el comportamiento del nivel de existencias suele seguir un patrón en forma de diente de sierra, el cual refleja el consumo progresivo de materiales seguido de su reabastecimiento periódico.

A continuación, se muestra el comportamiento del inventario a través del ciclo de inventario, el cual muestra cómo varía la cantidad existente en función del consumo y el tiempo de reposición (véase Figura 2.7)

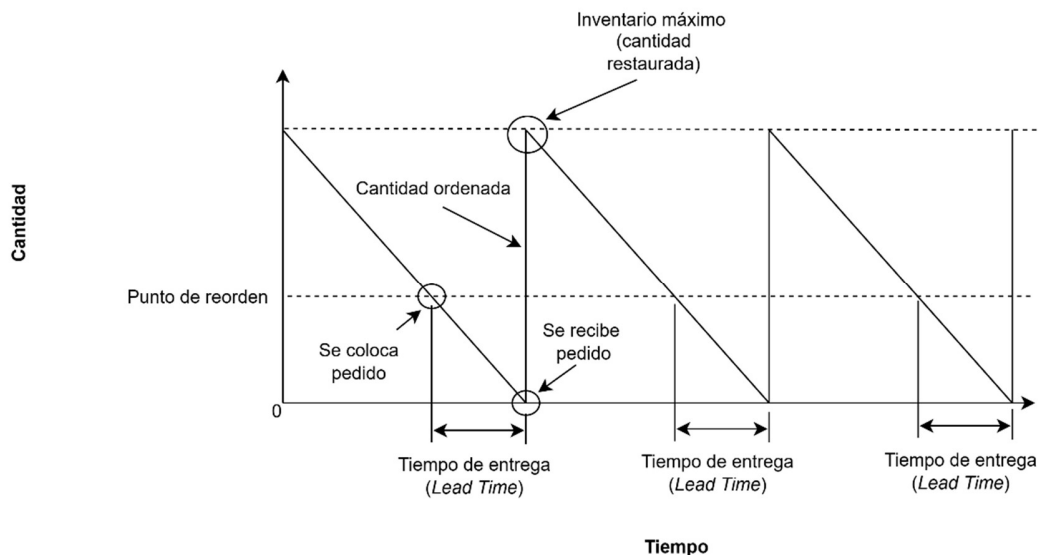


Figura 2.7 Ciclo básico de inventario bajo sistema de revisión continua (modelo pull)

Fuente: Elaboración propia con base en Ballou (2004) y Mora García (2011).

Este comportamiento cíclico del inventario corresponde a lo que se conoce como un sistema de revisión continua, en el cual se realiza un recuento de la cantidad existente hasta el punto en el que llega al punto de reorden, y es cuando debe realizarse la orden para que la cantidad sea restaurada a la cantidad máxima, de igual forma se señala la importancia de poseer un sistema de información que permita el registro de los flujos del inventario relacionados con este producto (Muñoz, 2009).

Por otro lado, en los modelos de control de inventarios por demanda (pull), uno de los elementos clave es el punto de reorden (ROP), el cual representa el nivel mínimo de existencias en el que debe generarse una nueva orden de compra para evitar desabasto. Según Heizer y Render (2009) este valor se determina con base en la demanda promedio y el tiempo de entrega, mediante la fórmula:

$$ROP = (d \times L)$$

Donde:

ROP = Punto de reorden [unidades]

d = Demanda promedio diaria [unidades por unidad de tiempo]

L = Tiempo de entrega [tiempo]

La demanda promedio por su parte se calcula con la siguiente fórmula:

$$\text{Demanda promedio diaria} = \frac{\text{Demanda anual}}{\text{Número de días hábiles en un año}}$$

Para determinar los repuestos y materiales que deben permanecer en stock, es recurrente aplicar la clasificación de inventarios. De acuerdo con García (2003), la clasificación de los repuestos puede tener dos enfoques diferentes, según su aplicación en el equipo o maquinaria y según su necesidad de mantenerlo en stock en el almacén en el cual se pueden dividir los materiales en tres clasificaciones:

- Clasificación A: Materiales que son necesarios mantener en stock.
- Clasificación B: Piezas y repuestos con información del proveedor encargado y tiempo de entrega.
- Clasificación C: Piezas las cuáles su ausencia en el almacén no representa un riesgo crítico para los equipos.

De igual forma el mismo autor, propone un diagrama para la selección de repuesto en stock en función de la clasificación que tenga la pieza o material (véase Figura 2.8)

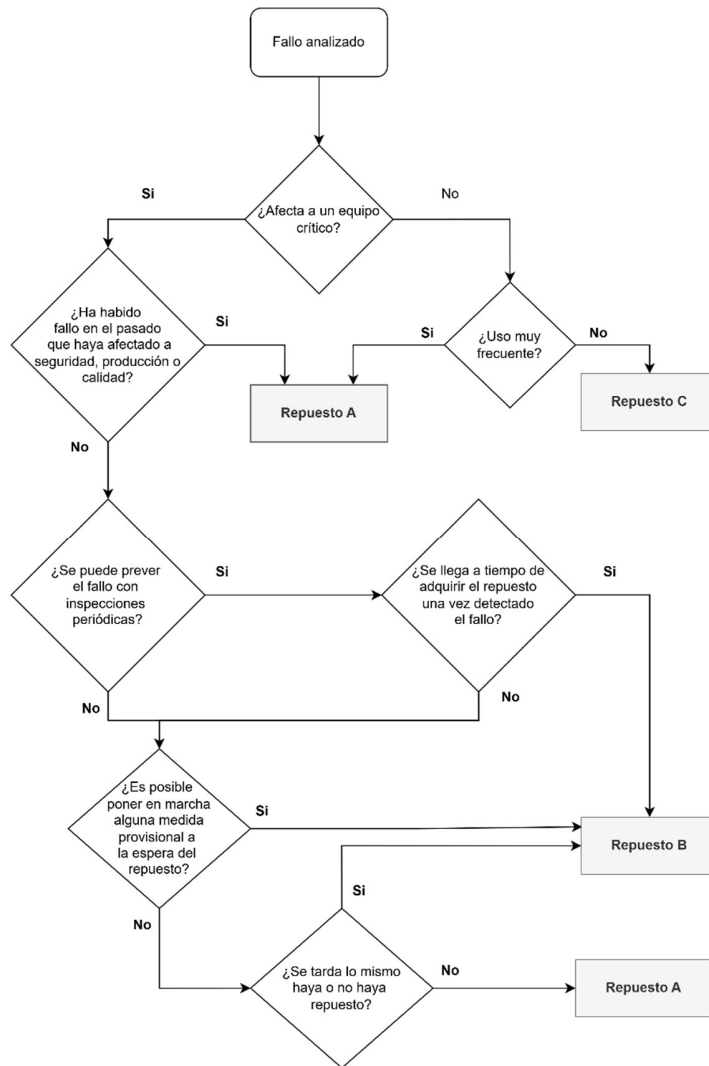


Figura 2.8 Diagrama para la clasificación de los repuestos

Fuente: Adaptado de García Garrido (2003).

Por otro lado, el inventario máximo se refiere a la cantidad máxima permisible planeada de un producto que puede existir en un almacén (Mora, 2011).

Finalmente, otro punto importante es la cantidad ordenada o cantidad de pedido, la cuál es la que lleva el nivel del inventario a la máxima cuando este se encuentra en el nivel mínimo. En este sistema de revisión continua la cantidad puede variar en cuanto al tamaño de lote de descuento, el tamaño del embalaje o por políticas internas y decisiones gerenciales de la organización (Carro y González, 2000).

2.1.5. Sistemas ERP en la gestión del mantenimiento

Un sistema ERP es una aplicación informática que permite gestionar todos los procesos de negocio de una compañía en forma integrada. Por lo general este tipo de sistemas está compuesto de módulos como recursos humanos, ventas, contabilidad y finanzas, compras, producción, entre otros. Una vez implementado un ERP permite a los empleados de una empresa administrar los recursos de todas las áreas, simular distintos escenarios y obtener información consolidada en tiempo real (Chiesa, 2004). De acuerdo con Muñoz (2009), la ventaja de un sistema ERP es la de principalmente evitar la inconsistencia en la información empresarial al poseer una base de datos en la cual se almacena toda la información. Chase et al. (2017) señala al software ERP SAP, este sistema está constituido por diferentes módulos que respaldan las diferentes áreas que existen en una empresa y se dividen en base a sus aplicaciones (véase Figura 2.9). El segmento de operaciones incluye distintos módulos, en donde se encuentran ventas y distribución, planificación de la producción, gestión de calidad, gestión de materiales y mantenimiento de planta.



Figura 2.9 Aplicaciones SAP para empresas

Fuente: Adaptado de Chase, R. B., Jacobs, F. R., & Aquilano, N. J. (2017)

2.2. Revisión sistemática de la literatura y análisis bibliométrico

El autor Quinto De La Cruz (2019), aplicó estudio de tiempos para determinar su relación con la productividad del personal operativo en el área de reparación en una empresa metalmeccánica dedicada al mantenimiento de maquinaria pesada. El tipo de investigación que aplicó el autor es de tipo correlacional, ya que determina la relación que existe entre dos o más variables seleccionadas que son objeto de estudio. La muestra utilizada en la investigación se compone de veinte operarios que realizan sus actividades en la empresa metal mecánica. Para el caso del estudio, el autor realizó una observación de campo dentro de las instalaciones de la empresa, en el lugar donde se realizan las actividades de mantenimiento. Algunos de los resultados que se obtuvieron de este estudio fueron:

- Reducción de 3875 minutos a 661 minutos, a través de la implementación de tiempos estándar, equipos de cómputo para el personal que no contaba con planos para empezar a trabajar, estantes y tableros para garantizar el orden en las herramientas y la programación para la solicitud de insumos y herramientas.
- La productividad del personal incrementó en un promedio de 77%, al ahorrar una jornada laboral de trabajo.

Por otro lado, el autor Araujo (2021), desarrolló un estudio de tiempos como método análisis del proceso de extracción de la mina lucero. El objetivo de esta investigación fue el desarrollo del estudio de tiempos como método de análisis del proceso de extracción de la Mina Lucero para la reducción de tiempos o la identificación de áreas de mejora. El tipo de investigación que el autor implementa es del tipo de diseño transversal correlacional causal, ya que estos diseños describen relaciones entre dos o más variables en un momento determinado. La muestra se establece mediante el método muestral no probabilístico por conveniencia al elegir solo las unidades de volteo que se encuentran ocupadas al acarreo de mineral. El autor realizó una observación de campo al emplear técnicas del estudio de tiempos como el tiempo cronometrado y un cursograma para el proceso de barrenado, con el fin de identificar demoras en el proceso de extracción de la Mina Lucero. Los resultados obtenidos se mencionan a continuación:

- Al realizar un análisis de los tiempos el proceso de extracción de la Mina se identificó que el 77% de los tiempos muertos se deben a los tiempos de post – turno y tiempo ocio.

- Se determinó el proceso de acarreo es afectado por cuatro demoras principales: tiempos de espera para iniciar el recorrido, disponibilidad de la maquinaria de carga, tiempos de espera para ingresar a interior mina y tiempos de traslado y espera al no haber mineral disponible.

La implementación del estudio de tiempos tal como lo efectuaron los autores Africano y Cañón (2022), tuvo relevancia como propuesta de optimización de tiempos y procesos en el taller automotriz KIA 224. El propósito de este estudio fue mejorar el proceso de trabajo de los servicios de mantenimiento preventivo vehicular en el taller automotriz KIA 224, ubicado en la localidad de Usaquén, ciudad Bogotá. En dicho taller se lleva a cabo un proceso de trabajo compuesto por diversas actividades. El tipo de investigación utilizada en este trabajo es un tipo de investigación mixta, ya que se combinan datos numéricos e interpreta el significado detrás de los datos, es decir que para el estudio fue necesario identificar factores que afectaran las actividades del taller y posteriormente se desarrolló un plan de mejora continua. Para la identificación de las áreas de mejora del proceso hizo uso del estudio de métodos y tiempo, lo que permitió la estandarización de procesos, así como el desarrollo de una encuesta a través de Google Formularios para determinar el nivel de satisfacción respecto al servicio y la atención brindados en el taller automotriz a un número de muestra de diez personas (hombres y mujeres de entre 27 años a 40 años). Algunos de los puntos resultantes de la investigación fueron:

- El estudio de tiempos permitió la estandarización de tiempos con respecto a los que estimaba la fábrica, esto como consecuencia maximizar el uso de los espacios y herramientas, facilitando la programación y reparación de más vehículos de acuerdo con las dimensiones del taller.
- A partir del análisis de los tiempos de cada una de las etapas del proceso de mantenimiento preventivo vehicular se identificaron factores que impactan directamente en los tiempos reales de trabajo y así se generó la propuesta de un plan de mejora para optimizar los tiempos de operación, aumentando así la eficiencia y productividad del taller.

Una investigación realizada por Díaz (2019), denota la importancia del diagrama causa-efecto dentro del mantenimiento industrial. El objetivo de la implementación de esta herramienta fue el desarrollo de un plan de mantenimiento para equipos utilizados en el proceso de recepción

de cañas de azúcar, esto con el fin de aumentar la disponibilidad de los equipos. Algunos de los puntos relevantes de la implementación del diagrama Ishikawa en este estudio son la identificación de una lista de las partes que provocan mayor tiempo de inactividad, y entre ellas están las chumaceras de la sonda giratoria, que provocan un 30% del tiempo improductivo que son aproximadamente 100.8 horas y la bomba principal del sistema hidráulico, que causa el 20 % de tiempo de inactividad de la máquina que corresponde a 67.3 horas.

En apoyo a esta visión, el autor Shupingahua (2021), empleo el uso del diagrama de Ishikawa y Pareto para determinar la situación inicial de la empresa Concremax, donde se señalan problemas por la falta de disponibilidad de los equipos, lo que representaba 79.97% de disponibilidad de los equipos. Algunas de las causas de esta problemática fueron la falta de un plan de mantenimiento preventivo y el personal de mantenimiento que no contaba con la capacitación necesaria para sus actividades. El tipo de investigación aplicada en este estudio es del tipo aplicado ya que el enfoque central del autor se basó en mejorar la disponibilidad de los equipos productivos. Los resultados de la solución de los problemas encontrados con los diagramas representaron una mejora en el resultado final que fue del 89.87% en la disponibilidad de los equipos de la empresa.

En una investigación desarrollada por Terbullino (2018), se realizó énfasis en la gestión de inventarios para el área de mantenimiento de una empresa minera con ubicación en Perú. Las principales herramientas que implementa el autor son encuestas para conocer el estado inicial de la gestión logística. El objetivo principal de este estudio es el de aumentar la disponibilidad de los equipos utilizados en su proceso de operaciones de la mina. Como resultado, se plantearon acciones concretas como la mejora en la matriz de clasificación de inventarios, la definición de prioridades para las órdenes de trabajo y la propuesta de indicadores clave para la evaluación del desempeño, contribuyendo a una mayor disponibilidad de equipos y un mejor aprovechamiento de los recursos logísticos.

Capítulo 3. Propuesta de Intervención

3.1. Caso de estudio

El acero es un material reciclable por excelencia y su reciclado se ha realizado siempre, no por exigencias medioambientales o legislativas, sino por exigencias industriales. La chatarra es una materia prima para la fabricación del acero (López y García, 2024). En base a las especificaciones del producto a fabricar, el material se funde y se refina para después ser vertido dentro de un molde. Después de un proceso de solidificación el componente se extrae para que este sea limpiado e inspeccionado. Si el producto cumple la especificación se pueden ejecutar otros procesos (Alting, 1990). El proceso comienza con la obtención de la materia prima, la cual es seleccionada y enviada a la acería a través de una cinta transportadora para que esta sea fundida. En la primera etapa de producción de acero a partir del uso de chatarra se utiliza un horno de arco eléctrico y en la segunda etapa de producción de acero a partir de chatarra, en un proceso reductor para afinar el acero, se utiliza un horno LF (Thomas et al., 2019). Los hornos de arco eléctrico más comunes tienen cubiertas removibles para cargarlos desde arriba; la extracción se lleva a cabo por medio de la inclinación del horno completo (véase la Figura 3.1). En el horno se carga chatarra de hierro y de acero seleccionadas por sus composiciones, junto con ingredientes de aleación y caliza (fundente), y se calientan por medio de un arco eléctrico que va de grandes electrodos a la carga de metal (Groover, 2007).

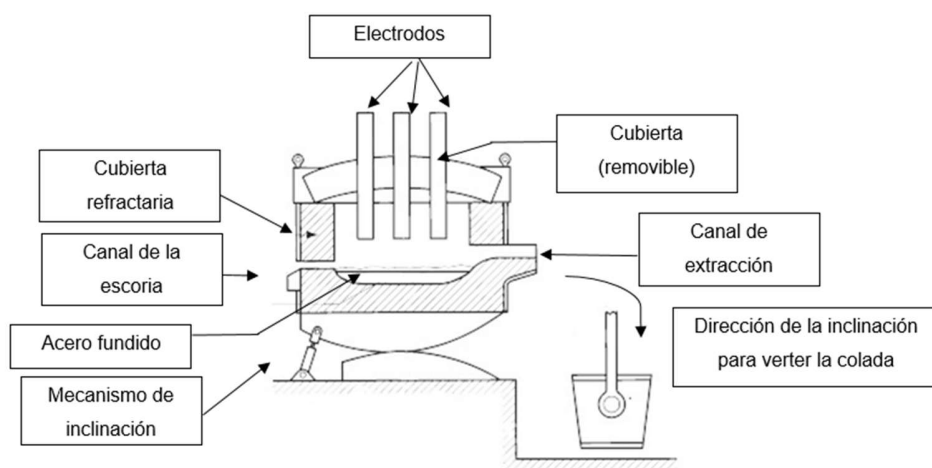


Figura 3.1 Horno de arco eléctrico para fabricar acero

Fuente: Groover, (2007).

Después en la tercera etapa de producción se encuentra el proceso de colada continua, la cual tiene la función de darle forma al acero, usando moldes. El acero fundido se vierte desde un recipiente hacia un contenedor temporal llamado cacerola, que dosifica el metal hacia uno o más moldes de fundición continua. El acero comienza a solidificarse en las regiones exteriores conforme viaja hacia abajo a través del molde enfriado por agua. Un rocío de agua acelera el proceso de enfriamiento (Groover, 2007). Después el acero llega a los equipos de extracción y enderezado, la ubicación de los estos se encuentra al final del sector curvo fijo, fuera de la cámara de enfriamiento donde precisamente el acero se endereza ya que debido al proceso las barras de acero adquieren curvatura. El acero enderezado llega a la estación de corte, donde este es cortado dependiendo la especificación de cada cliente en particular (véase Figura 3.2)

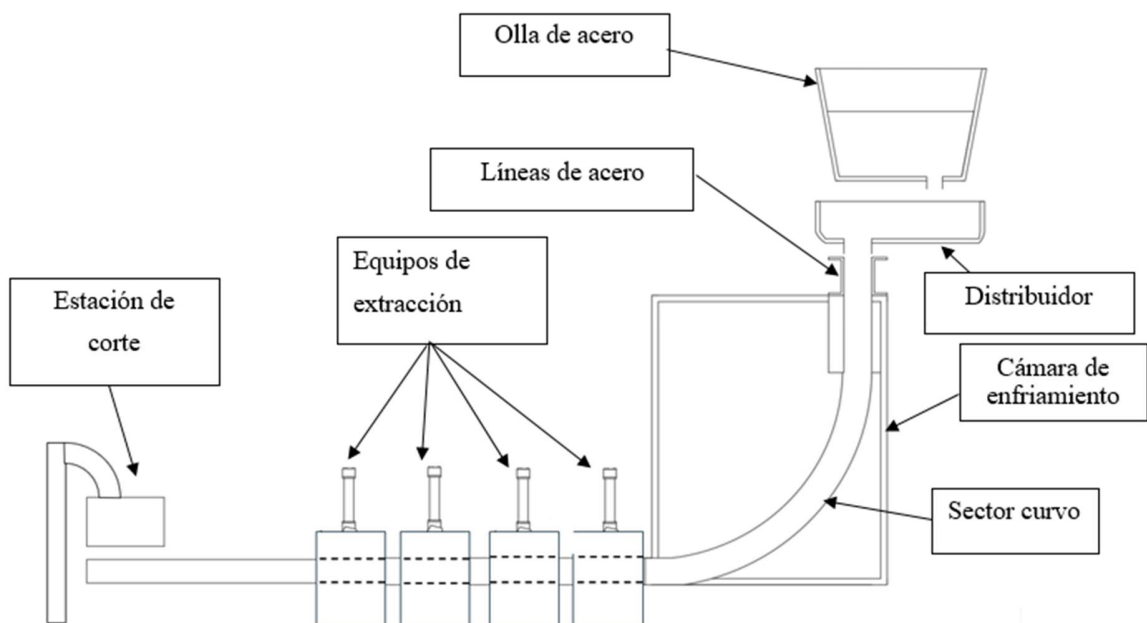


Figura 3.2 Vista general transversal de una CC.

Fuente: Elaboración propia

El total de equipos instalados en colada continua está constituido por cinco líneas de producción por donde fluye el acero con cuatro equipos por cada línea, en total siendo veinte equipos de extracción (véase la Figura 3.3).

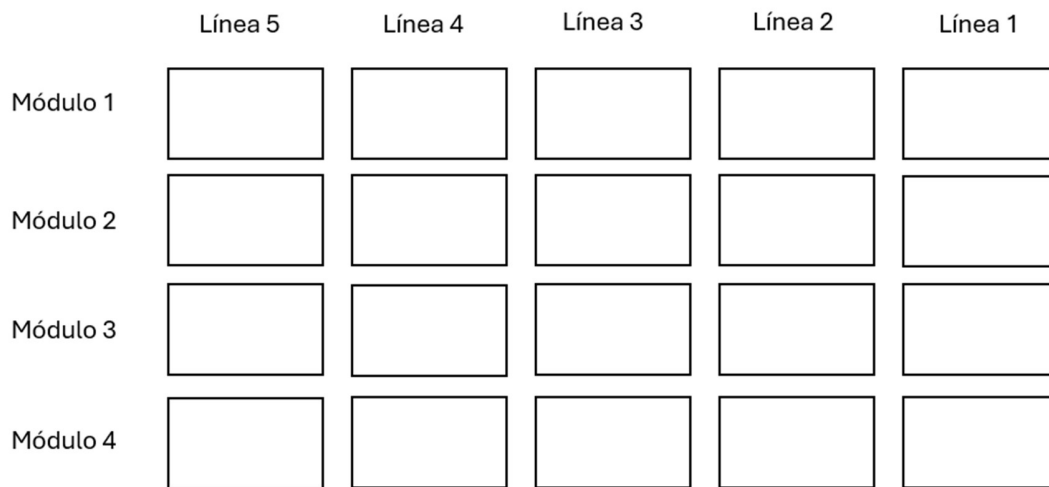


Figura 3.3 Distribución de los equipos de extracción en el departamento de colada continua

Fuente: Elaboración propia

El grupo de extracción y enderezado está situado al final del sector curvo fijo, fuera de la cámara de enfriamiento. La cámara de enfriamiento tiene la función de solidificar el acero líquido con un chorro de agua a presión y darle la preforma al acero estructural. El acero adquiere cierta curvatura debido a la forma que adquiere en el sector curvo y la cámara de enfriamiento.

La función de los equipos de extracción para la fabricación del acero es principalmente extraer el acero de la cámara de enfriamiento y enderezar el acero preformado con ayuda de los rodillos inferior y superior. Al usar los equipos de extracción se garantiza la continuidad del arrastre de la barra de acero dentro de los equipos de extracción. Así como la de dirigir la barra de acero hacia la estación de corte. La combinación de los equipos de extracción está compuesta de dos rodillos cada uno y un rodillo inferior puesto entre al segundo y el tercer equipo, la función de los rodillos es ejercer la presión y girar por encima de la barra, para ello los rodillos presentan un movimiento rotacional y de avance.

Para que los equipos funcionen necesitan dos rodillos para permitir el movimiento de la barra en sentido horizontal, uno de estos rodillos es el rodillo superior el cual es accionado por un sistema eléctrico que genera un movimiento giratorio y un sistema hidráulico que permite que el rodillo presione a la barra de acero.

Para que el rodillo gire necesita un motor que es fundamental en el sistema eléctrico, dicho motor está unido a un reductor que transfiere la fuerza rotacional hacia el rodamiento que en su interior contiene baleros y dan giro al rodillo superior. El sistema hidráulico utiliza aceite que viaja a través de una tubería que al accionarse empuja al cilindro hidráulico y este se expande, logrando ejercer presión sobre la barra de acero. Así las barras de acero ingresan al módulo a través de la caja refrigerada la cual tiene conductos en su interior por donde pasa agua y funciona como intercambiador de calor (véase la Figura 3.4).

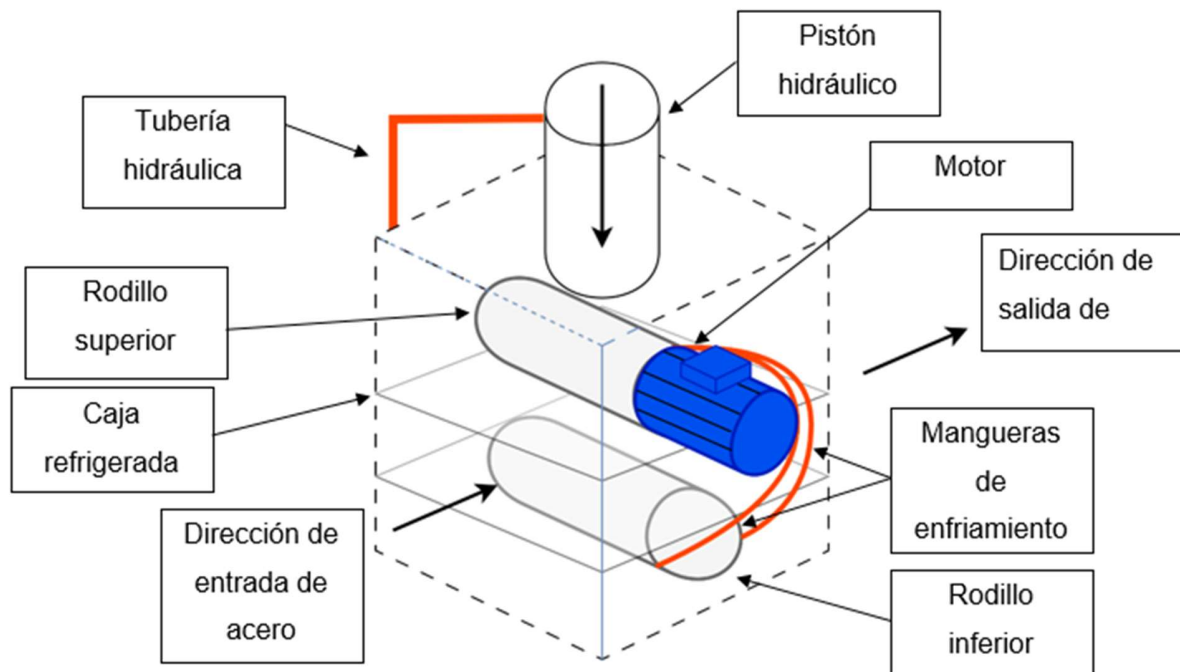


Figura 3.4 Vista isométrica de un equipo de extracción.

Fuente: Elaboración propia

Los rodillos de igual forma tienen un sistema de enfriamiento y lubricación, por ello existen líneas de lubricación y mangueras de enfriamiento. Debido a que los equipos de extracción están en constante contacto con las barras de acero caliente, tienden a dañarse sus componentes de forma recurrente. Así el personal de colada continua reporta esta condición al departamento de mantenimiento para que intervenga y efectúe un mantenimiento correctivo, dependiendo si el origen de la falla es una cuestión de daño en componentes eléctricos o hidráulicos. En la empresa debido a fallas en los distintos equipos en la acería se han registrado diferentes interrupciones de producción, desde el 2016 el tiempo de paros de producción ha venido en aumento, el cual se ve

representado por la línea de tendencia. En el año 2023 ocurrieron 33793.03 minutos de interrupciones a causa de mantenimientos en las maquinas usadas en la acería (véase Figura 3.5).

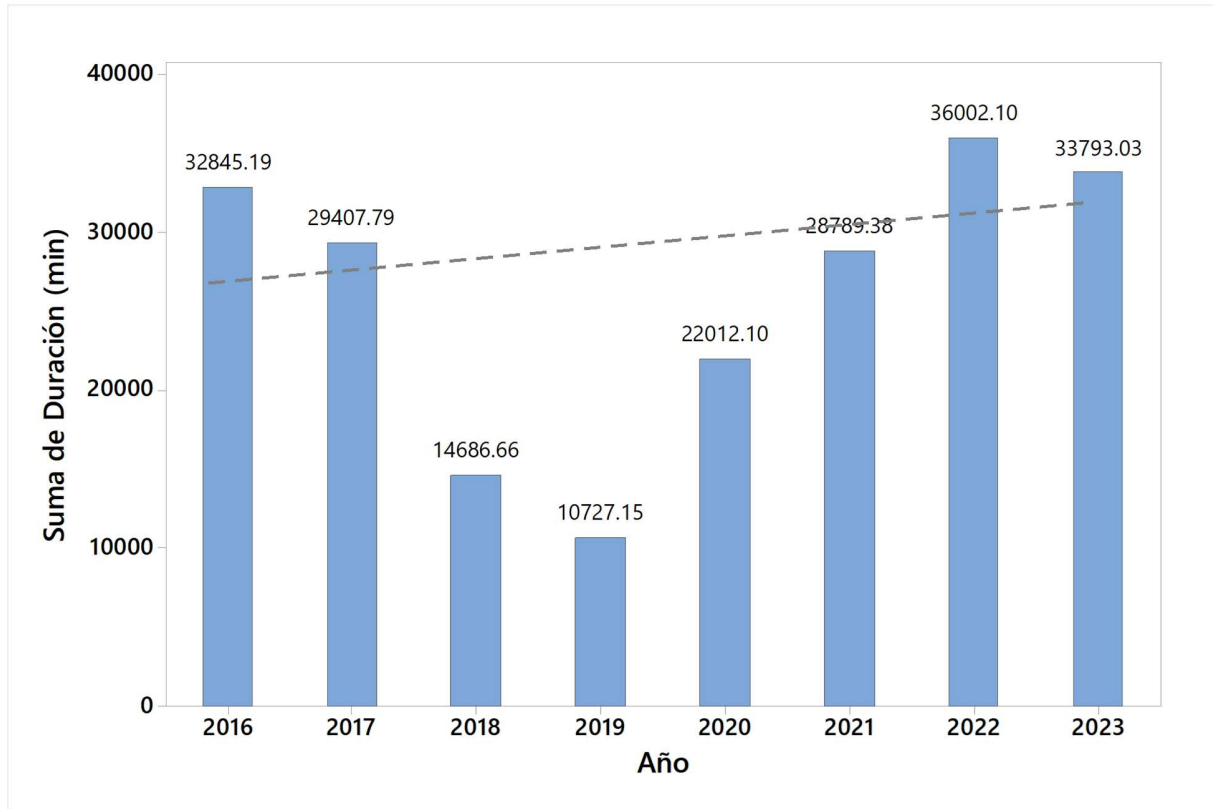


Figura 3.5 Interrupciones en acería por causas de mantenimiento.

Fuente: Elaboración propia

Existen diferentes áreas responsables de las reparaciones en la acería. Si existen problemas con tableros eléctricos y suministro de energía, los responsables serian el personal de mantenimiento eléctrico y si se presentan fallas en el funcionamiento de los equipos productivos el personal de mantenimiento mecánico atiende dichas interrupciones.

El atendimento por responsable de las averías en los equipos por año es posible categorizarse para verificar cual es la distribución de las fallas entre los responsables en el periodo 2016-2023, reportando así un total de 83462.89 minutos de interrupción a causa de fallas eléctricas en la acería y en cuanto a fallas mecánicas se reporta un total de 124800.51 minutos de interrupción en la misma área (véase Figura 3.6).

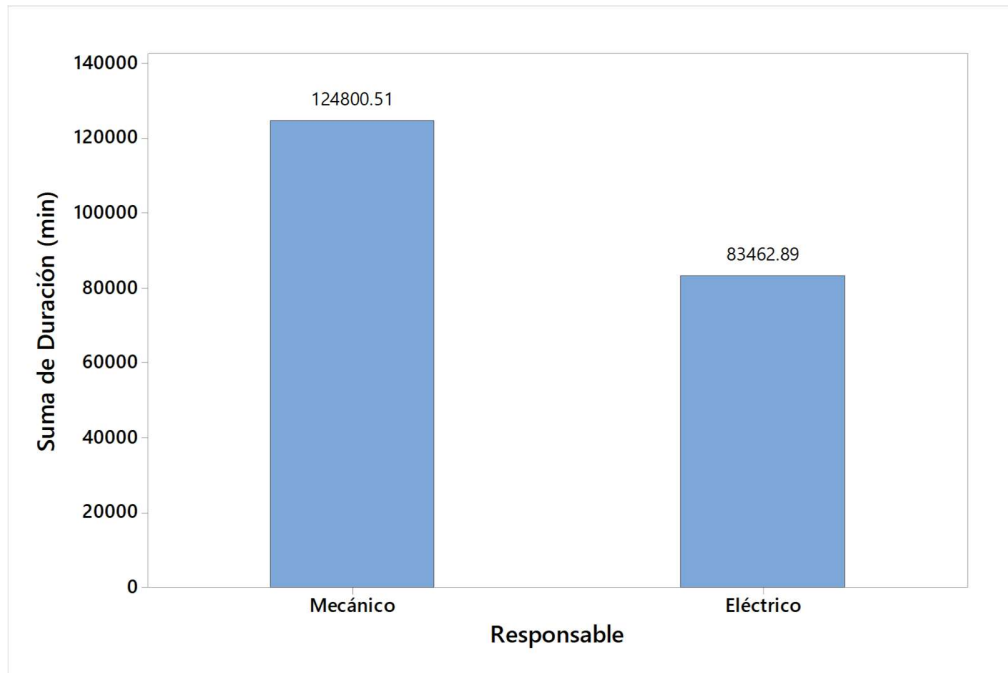


Figura 3.6 Gráfico de barras de las demoras de acería por responsable

Fuente: Elaboración propia

El responsable mecánico es el primer lugar en la causa más representativa de las interrupciones en la acería en el periodo 2016 – 2023 reportando un 59.9% del total de las fallas (véase Figura 3.7).

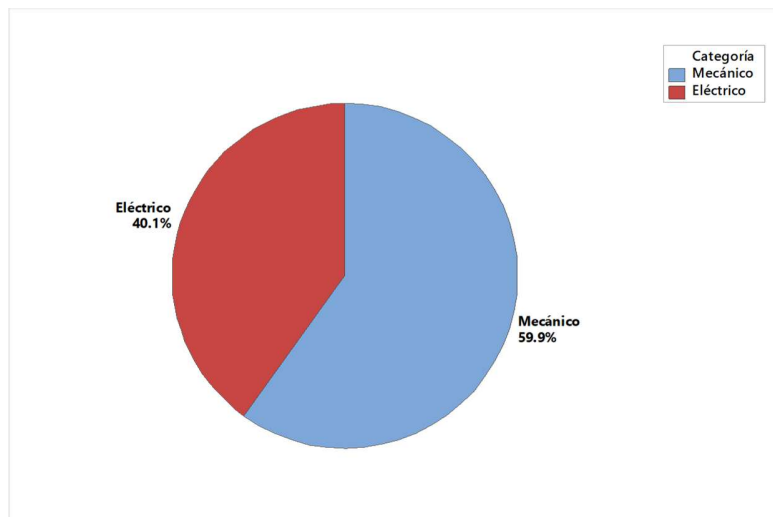


Figura 3.7 Gráfico circular de porcentaje de interrupciones por responsable

Fuente: Elaboración propia

Las fallas mecánicas van desde atascamiento de producto en los equipos, fugas, problemas de lubricación, cambio de mangueras y líneas de lubricación. En caso de los equipos de extracción pueden presentar demoras a causa de daños en los rodillos, fugas en líneas de lubricación y de enfriamiento, daños en la caja refrigerada, en los rodamientos y de los demás componentes de la caja.

En el año 2023 dentro de las causas mecánicas, las interrupciones por fallas en los equipos de extracción representaron la segunda causa con mayor tiempo en la acería presentando un total de 2138.77 minutos (véase la Figura 3.8)

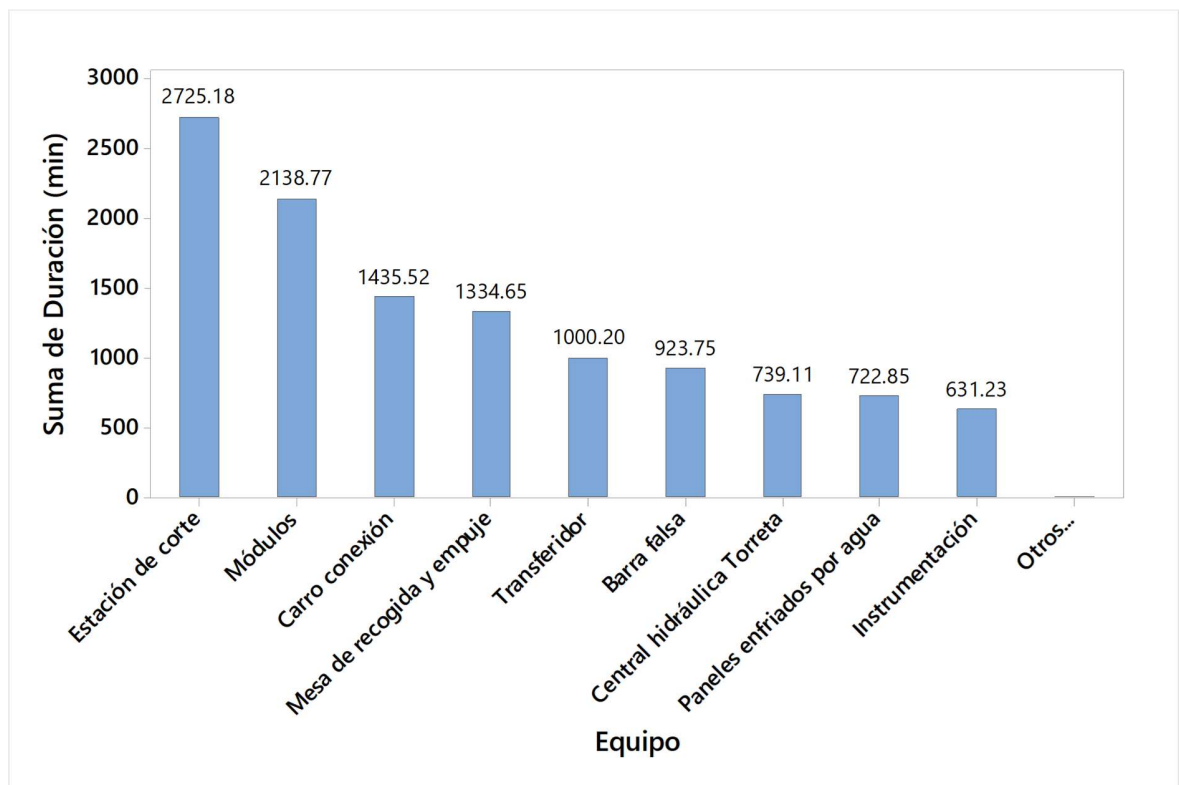


Figura 3.8 Gráfico de barras de demoras por equipo en el año 2023

Fuente: Elaboración propia

Las demoras en los equipos de extracción debido a fallas mecánicas como lo son fugas y/o daños en los componentes representan un 10.8% (véase Figura 3.9).

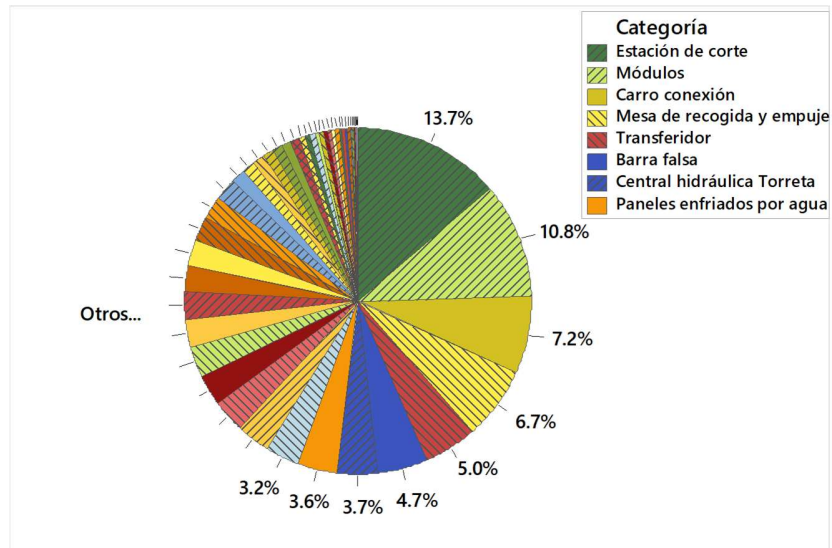


Figura 3.9 Gráfica circular de porcentaje de demoras en el año 2023

Fuente: Elaboración propia

Las interrupciones en este proceso productivo impactan directamente en el programa de producción de la empresa, es decir que al existir menor disponibilidad de los equipos no es posible alcanzar las metas de producción establecidas para la acería en la fabricación de las barras de acero. Las condiciones de operación que maneja la colada son de 12.7 (mm/s), y el tamaño aproximado de cada barra es de 6.10 metros. Por lo que el impacto en las pérdidas de producción en el año 2023 fue de 267 barras de acero (véase Tabla 1.2)

Tabla 3.1 Parámetros de producción en colada continua

Fuente: Elaboración propia

Condiciones de operación en colada continua [metro/minutos]	Largo de barras de acero [metro]	Tiempo para producir una barra [minutos/pieza]	Tiempo de interrupción en equipos de extracción [minutos]	Cantidad de barras no producidas [piezas]
0.762	6.10	8.00	2138.77	267

La estrategia actual de la empresa para responder de forma inmediata a dichos fallos se basa directamente en el mantenimiento correctivo. El mantenimiento correctivo consiste en realizar la reparación de un activo debido a solicitudes realizadas por el departamento productivo. Una vez recibida la solicitud el departamento de mantenimiento trata de atender las diversas solicitudes. En caso de que se presenten varias solicitudes al mismo tiempo, lo cual es muy común, se incrementa el tiempo improductivo de la máquina. En distintas situaciones es posible que la maquina llegue al punto de falla, lo que puede producir en reparaciones de mayor tiempo y costo (Kanawaty, 1996).

Cada área cuenta con su cuadrilla de mantenimiento para atender dichas fallas de manera inmediata, aunque las reparaciones de los equipos de extracción que representan un mayor tiempo y ejecución de actividades son atendidas por una cedula llamada taller de reparaciones. Así las reparaciones que asuma el taller de reparaciones se realizan porque el módulo presente un daño mayor que requiera más actividades de reparación. Adicionalmente las reparaciones son llevadas a cabo por la fecha del plan de mantenimiento, el cual se encuentra definido para cada uno de los veinte equipos, es decir que cada módulo tiene una fecha estimada para retirarse de la línea y realizar el proceso de reparación. Un plan de mantenimiento proporciona una orientación exhaustiva de cada clase de equipo y sus distintos sistemas y componentes; es decir, necesita disponer de una variedad de manuales o catálogos para ejecutar cualquier tipo de tarea. (León y Martínez, 2024).

La empresa cuenta con un sistema de planificación de recursos empresariales (ERP, Enterprise Resource Planning) que permite generar planes de mantenimiento y posteriormente programar el plan para que este se ejecute periódicamente. En el sistema ERP, es posible identificar la condición actual de todos los equipos en general, de los cuales actualmente existen equipos que están pendientes de reparación y otros que requieren un cambio de componentes ya que al momento de presentar algún fallo no es posible reemplazar la refacción debido a su inexistencia en el almacén (véase Tabla 3.2)

Tabla 3.2 Estado de equipos de extracción

Fuente: Elaboración propia

Línea	Módulo	Estado actual
Línea 1	Equipo 1	En buen estado
Línea 2	Equipo 1	En buen estado
Línea 3	Equipo 1	En buen estado
Línea 4	Equipo 1	Requiere refacción
Línea 5	Equipo 1	En buen estado
Línea 1	Equipo 2	En buen estado
Línea 2	Equipo 2	En buen estado
Línea 3	Equipo 2	En buen estado
Línea 4	Equipo 2	Requiere refacción
Línea 5	Equipo 2	Requiere refacción
Línea 1	Equipo 3	Reparación pendiente
Línea 2	Equipo 3	Requiere refacción
Línea 3	Equipo 3	Reparación pendiente
Línea 4	Equipo 3	En buen estado
Línea 5	Equipo 3	En buen estado
Línea 1	Equipo 4	En buen estado
Línea 2	Equipo 4	Reparación pendiente
Línea 3	Equipo 4	En buen estado
Línea 4	Equipo 4	En buen estado
Línea 5	Equipo 4	Requiere refacción

3.2. Propuesta de intervención

En este estudio se identifican diferentes técnicas de análisis y mejora, por lo que el principio fundamental a seguir se divide en cuatro etapas: diagnóstico de la situación actual y observación directa del proceso de reparación de los equipos en el taller, análisis e implementación de acciones a través de metodologías de mejora, a continuación, se muestra el orden de ejecución de cada una de las etapas (véase Tabla 3.3).

Tabla 3.3 Etapas de propuesta de intervención

Fuente: Elaboración propia

Etapa	Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Mes 5	Mes 6	Mes 7	Mes 8	Mes 9
Diagnóstico y observación directa de la situación del proceso de cambio de equipos de extracción	x								
Análisis de las causas de las demoras		x	x	x					
Implementación de mejoras					x	x			
Validación de mejoras							x	x	x

3.2.1. Diagnóstico de la situación actual de mantenimiento

Primeramente, se efectúa el análisis de la situación actual del proceso de mantenimiento a los equipos de extracción, para ello se describe dicho proceso en un diagrama de flujo para conocer los problemas sistemáticos y de gestión.

El proceso actual para las reparaciones de los equipos de extracción comienza con la generación de la orden de trabajo en el sistema ERP el cuál es SAP por parte del personal de colada continua, esto lo hace dependiendo dos situaciones: el equipo presenta una falla física que impide que siga funcionando normalmente o el plan de mantenimiento que especifica que estos equipos deben cambiarse cada mes, posteriormente el planeador de mantenimiento coloca la orden en las actividades del taller. Una vez llegado el módulo al taller de reparaciones a la zona de reparaciones, se hace un diagnóstico de refacciones a sustituir y las actividades a realizar. Cuando ya se cuenta con una lista de refacciones necesarias se ejecuta la orden de compra a través del

mismo ERP, si es que el almacén cuenta con dicho refaccionamiento es enviado inmediatamente al taller, en caso de que no se cuente con el material se hace la compra con un proveedor asignado. Finalmente, cuando las refacciones llegan se procede a realizar las reparaciones en el módulo de extracción y se entrega al usuario del área (véase Figura 3.10).

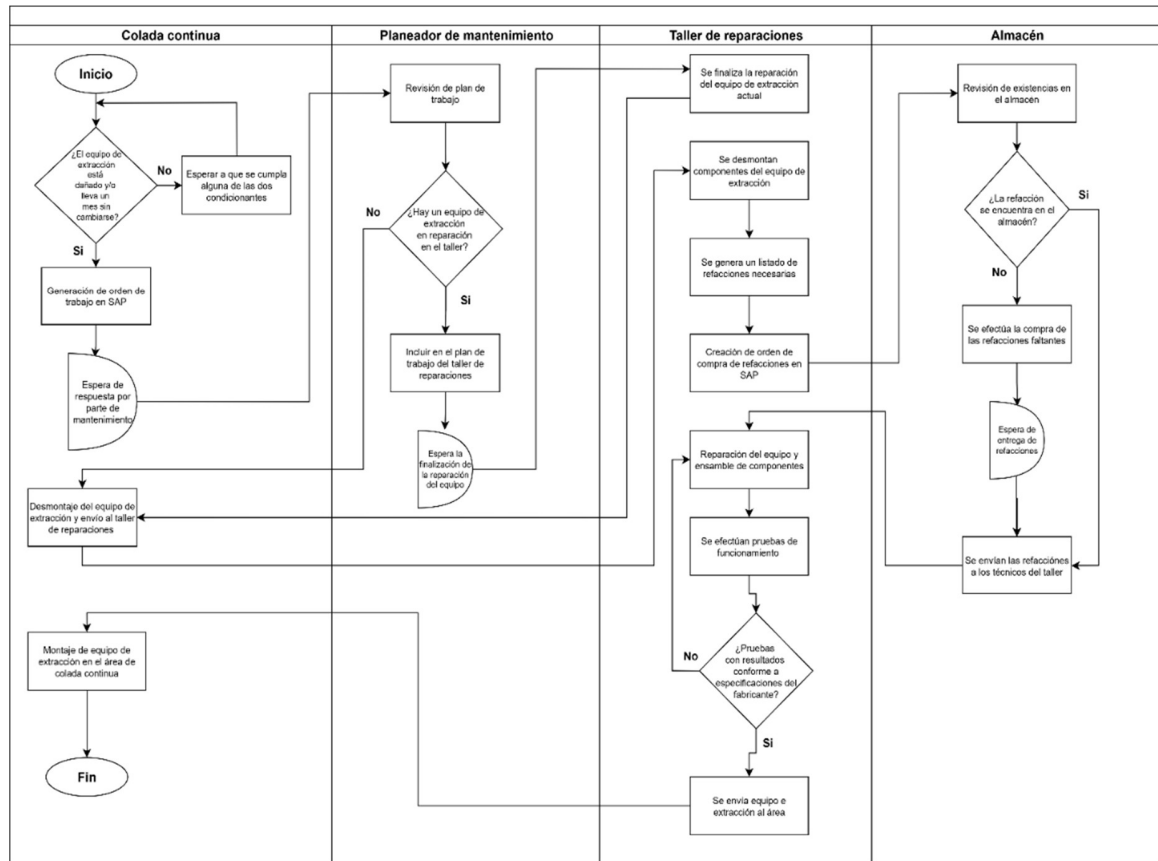


Figura 3.10 Proceso de gestión y ejecución del mantenimiento a los equipos de extracción

Fuente: Elaboración propia

Como se puede apreciar anteriormente el proceso de cambio y mantenimiento de un módulo de extracción va relacionada directamente con otras etapas del área de mantenimiento que son el planeador de mantenimiento y el área de reparaciones, así como del almacén, es decir, que se identifican diferentes entradas y salidas como lo es en un sistema, lo que hace énfasis a que cada área depende de otra, analógicamente se distingue de la siguiente manera (véase Figura 3.11)

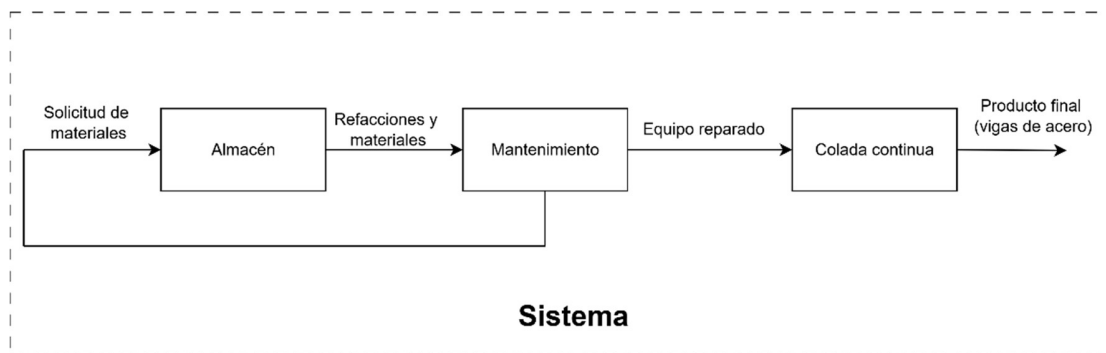


Figura 3.11 Elementos de entrada y salida del proceso de reparación de equipos de extracción

Fuente: Elaboración propia

En este proceso de gestión y ejecución se distinguen algunas demoras o esperas sistemáticas que provocan retrasos para el área de colada continua o para otras etapas del proceso (véase Tabla 3.4)

Tabla 3.4 Demoras principales en el proceso de cambio y mantenimiento de los equipos de extracción

Fuente: Elaboración propia

Etapa	Descripción
	Principalmente esta demora se considera de alta importancia, ya que el área de colada continua tiene que esperar a que el área de mantenimiento termine de reparar el módulo para enviar un segundo módulo, lo que representa que no estén produciendo.
	Esta demora es derivada de que el planeador de mantenimiento no puede gestionar o garantizar que el módulo se le entregue al área porque los técnicos le están dando mantenimiento
	Esta demora es generada por no tener refacciones para los equipos disponibles en el almacén. Por lo tanto, esta demora provoca que los técnicos de mantenimiento no puedan comenzar las reparaciones hasta que tengan las herramientas por parte del almacén.

Ante la identificación de las demoras, primeramente, es conveniente buscar el disminuir el tiempo reparación de los equipos que provoca que el área de colada continua tenga retrasos, posteriormente la entrega de refacciones que afecta el tiempo de reparación de los equipos de extracción.

3.2.2. Análisis de las causas de las demoras

Una vez que se ha identificado que es el área de mantenimiento y el almacén las causantes de las demoras del área de colada continua, es conveniente realizar una observación directa del proceso de mantenimiento para anotar algunas deficiencias en el proceso y después usar el diagrama de causa efecto (Ishikawa) para clasificar la causas que están provocando que el área de mantenimiento (véase Figura 3.12).

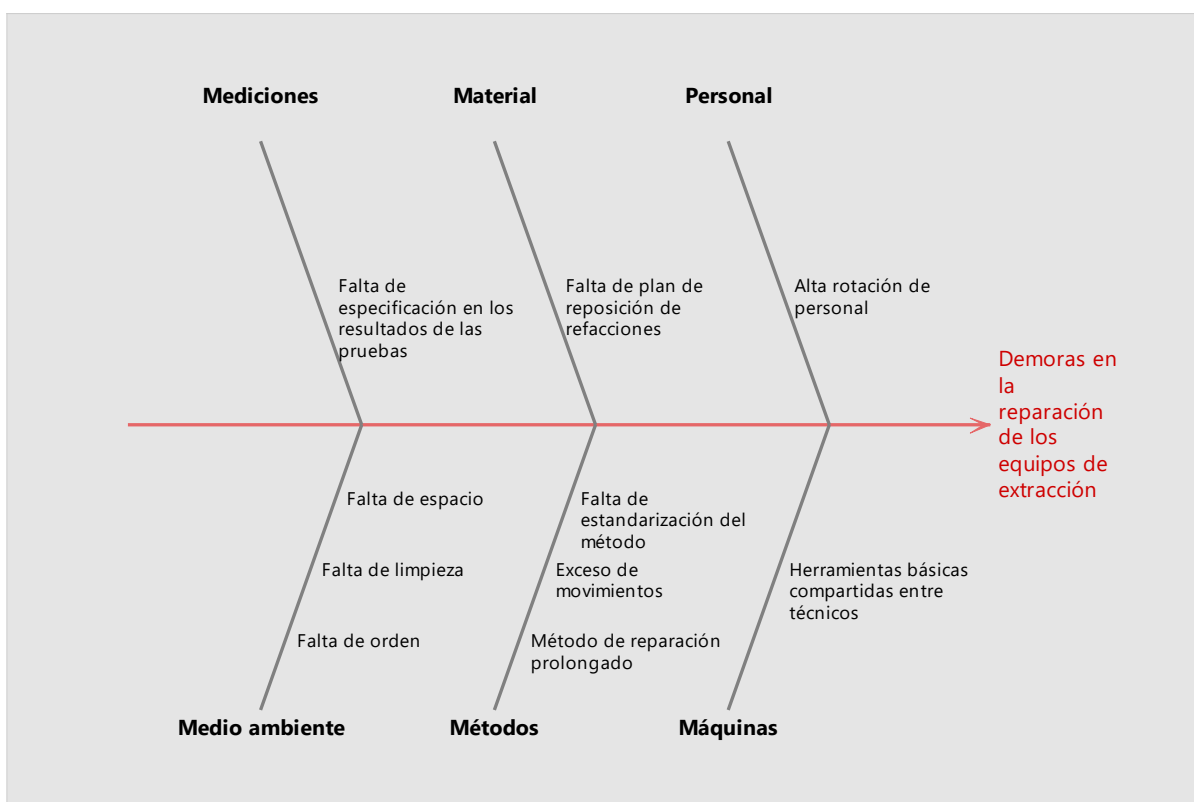


Figura 3.12 Diagrama causa - efecto (Ishikawa) del proceso de mantenimiento a equipos de extracción

Fuente: Elaboración propia

Ante la concepción de las causas resulta conveniente analizar cada una de las seis clasificaciones con el fin de realizar un análisis a mayor profundidad y proponer mejoras para su posterior implementación.

3.2.3. Implementación de mejoras

En esta etapa se realizan las propuestas e implementación de técnicas y mejoras por lo que a continuación, se presenta el proceso sistemático para el análisis de cada una de las clasificaciones (véase Figura 3.13).



Figura 3.13 Etapas de mejora de las causas encontradas en el diagrama de Ishikawa

Fuente: Elaboración propia

3.2.4. Personal

En cuanto al personal de mantenimiento encargada de la reparación de los equipos de extracción, se identifica una alta rotación del personal debido a que cuando se contratan dos operarios se envían al taller de reparaciones en lo que aumenta su curva de aprendizaje y aprenda del proceso de la empresa sin que se ponga en riesgo su seguridad; después de tres meses el personal se envía a las áreas operativas.

Lo anterior representa un problema porque no se permite que el aprendizaje adquirido en los primeros tres meses se dedique exclusivamente a la reparación de la maquinaria. Es por ello por lo que la propuesta fue dar asignación fija de personal para la reparación de los equipos, la estructura organizacional quedo con dos técnicos fijos para la reparación de los equipos de extracción con un supervisor para atender las solicitudes de los técnicos, junto con la estructura organizacional anterior del taller de reparaciones se anexo el cambio quedando un nuevo organigrama (véase Figura 3.14).

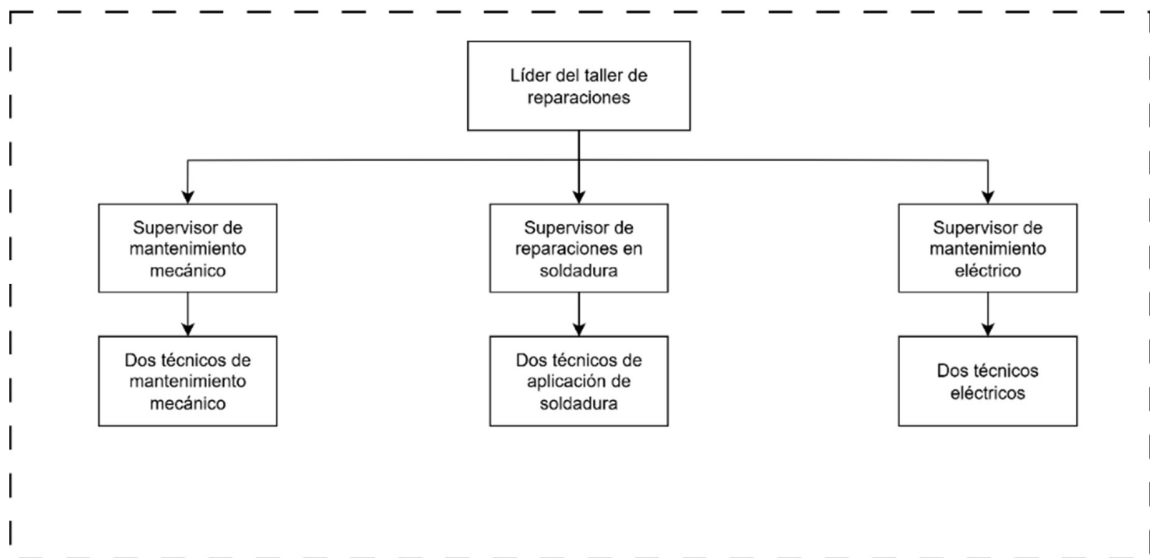


Figura 3.14 Nuevo organigrama del taller de reparaciones

Fuente: Elaboración propia

3.2.5. Materiales

El tema de las refacciones representa un problema que viene desde el almacén ya que, al momento de solicitar las refacciones, existen refacciones que tardan hasta dos meses en llegar, por lo que primeramente fue conveniente realizar un listado de todas las refacciones necesarias para efectuar la reparación de un equipo de extracción junto con su código SAP, que es el que tiene cada material para identificarlo en el sistema.

Lo siguiente es determinar cuál de esas refacciones sería conveniente para dejar stock en el almacén y evitar retrasos en el ensamble de los equipos de extracción. Por lo que en la misma hoja de cálculo en Excel donde se realiza este listado se añaden algunas columnas para cumplir con una fórmula que ayude a automatizar esta decisión tomando en cuenta factores como: el uso al que se le destinara a la refacción, recurrencia de fallos, frecuencia de uso, antecedentes en cuanto a afectación a producción, calidad o seguridad por no tener dicha refacción y tiempo de entrega. Las columnas añadidas son las siguientes:

- ¿Es para un equipo crítico?
- ¿Ha afectado a seguridad, producción o calidad?
- ¿Se puede prevenir el fallo si se hacen inspecciones periódicas?
- ¿La reposición de la refacción es de forma inmediata si se detecta el fallo?

- ¿Existe alguna medida provisional en la espera de la refacción?
- ¿El proceso asociado tarda lo mismo haya o no haya repuesto?
- Clasificación

Con base en la estructura definida, se procede al diseño de la tabla correspondiente para que esta solo sea rellenada con sí o no, esto con el fin de responder el encabezado de las columnas, y dependiendo el llenado de los criterios mencionados anteriormente, se dará la clasificación y posteriormente se coloca un formato condicional para una ayuda visual, asignado a la clasificación “A” un color rojo, para la “B” un color amarillo y para la clasificación “C” un color verde. (véase Figura 3.8). Posteriormente se procede a llenar cada una de las columnas en base a cada una de las refacciones (véase Tabla A.1).

Del total de refacciones, aproximadamente el 20% corresponden al tipo A, mientras que los tipos B y C concentran el 80% restante. Esto permite identificar la participación relativa de cada tipo en el inventario (véase Figura 3.15)

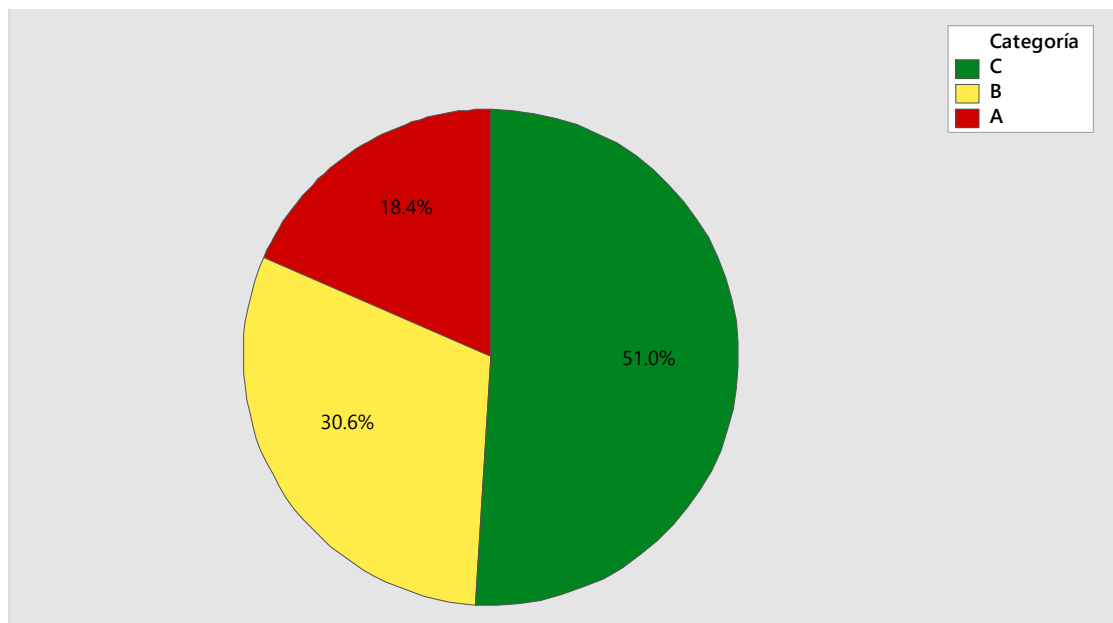


Figura 3.15 Participación porcentual de las refacciones tipo A, B y C

Fuente: Elaboración propia

Posteriormente, se realiza el cálculo de stocks para las refacciones con clasificación “A”, lo cuales son considerados los repuestos más críticos. Para dicho cálculo se requieren conocer algunos datos como demanda promedio diaria por refacciones y tiempo de entrega en días.

Para este caso, por política de la empresa se debe contar únicamente con las refacciones necesarias para atender máximo dos equipos de extracción, esto para evitar que las refacciones se vuelvan de lento movimiento y sobreacumulación del stock en el almacén, es decir que la cantidad máxima debe ser igual a la cantidad ordenada. De igual manera se fija una meta de reparar un equipo de extracción por mes (así lo dicta el plan de mantenimiento), lo que quiere decir doce equipos por año (véase Tabla 3.3).

Tabla 3.3 Cálculo de punto de reorden y cantidad ordenada

Fuente: Elaboración propia

Código SAP	Descripción	Clasificación (A, B, C)	Demanda anual por unidades	Demanda promedio diaria por unidades [d]	Tiempo de entrega en días [L]	Punto de reorden [d*L]	Cantidad ordenada (Lo necesario para dos equipos)
20971395	MANGUERA 1 1/4" X 1200 MM	A	12	0.03	30	0.99	2
20971396	MANGUERA 1 1/4" X 1550 MM	A	12	0.03	30	0.99	2
20971386	MANGUERA 3/4" X 900 MM	A	12	0.03	30	0.99	2
20971390	MANGUERA 3/4" X 900 MM	A	12	0.03	30	0.99	2
20971391	MANGUERA 3/4" X 1600 MM	A	12	0.03	30	0.99	2
24241385	MANGUERA 19MM X 1000 MM	A	12	0.03	30	0.99	2
20971388	MANGUERA 3/4" X 1100 MM	A	12	0.03	30	0.99	2
20971389	MANGUERA 3/4" X 2700 MM	A	12	0.03	30	0.99	2
24289898	CAJA DE REFRIGERACIÓN	A	12	0.03	30	0.99	2

En la configuración del material en SAP, se establecen los parámetros de planificación de necesidades. En este caso, se utiliza el método de reposición hasta el stock máximo (HB), con un punto de pedido de 1 unidad y un stock máximo de 2 unidades, de acuerdo con lo calculado anteriormente (véase Figura 3.16)

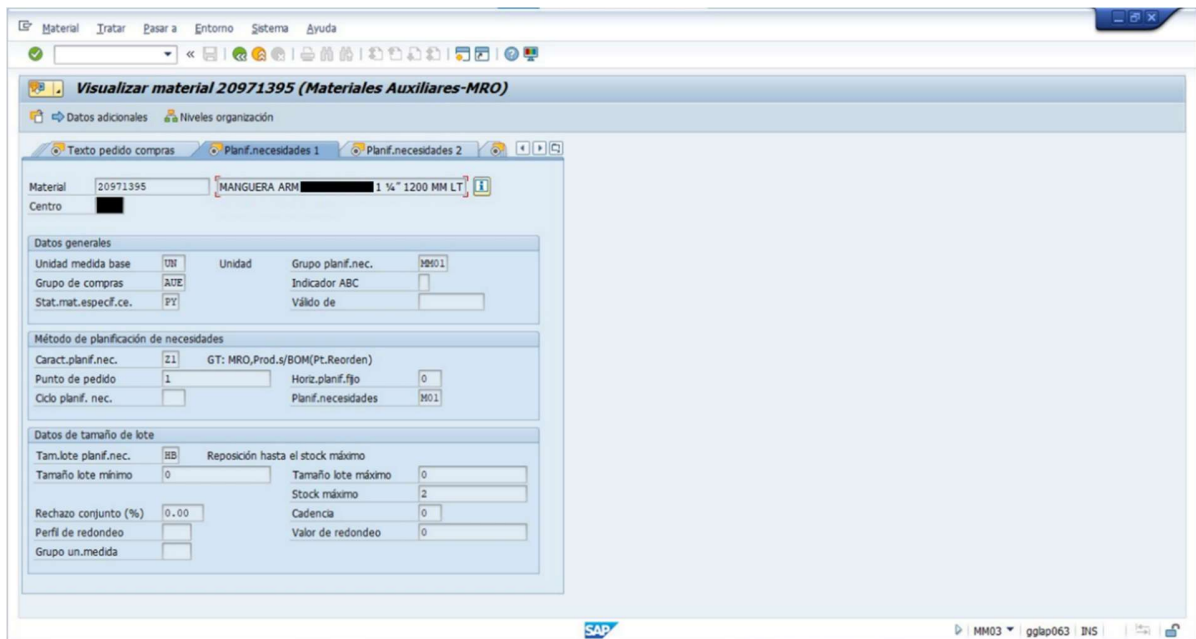


Figura 3.16 Configuración del material en SAP con parámetros de planificación de necesidades

Fuente: Elaboración propia con base en información de la empresa

3.2.6. Método y medio ambiente

Como se mencionó anteriormente, la meta fijada es responder al plan de mantenimiento que especifica realizar el cambio de un equipo por mes en la estación de colada continua. Por lo tanto, se debe establecer el método y mejorar el tema de organización en el área para evitar retrasos por desperdicios de movimientos, tiempo y espacio, y asegurar que se efectúe la reparación de un equipo de extracción por mes.

Para ello se efectúa un estudio de tiempos y métodos para verificar cuales son los principales errores en la ejecución del trabajo usando las técnicas de cursograma analítico para registrar y el estudio de tiempos para determinar el tiempo por actividad (véase Tabla A.2).

Este análisis se realizó a tres equipos para tener una mayor exactitud de los resultados, dichas mediciones se concentran en una tabla y se calcula el tiempo promedio de la reparación de los tres equipos (véase Tabla 3.5)

Tabla 3.5 Tiempos de reparación de equipos de extracción

Fuente: Elaboración propia

Equipo	Equipo 1	Equipo 2	Equipo
Tiempo total por equipo	6441.30	6376.89	6313.12
Tiempo promedio	6377.10		

Se requiere conocer el tiempo promedio de reparaciones a los equipos de extracción, ya que se necesita calcular el tiempo normal y posteriormente el tiempo estándar, es por ello por lo que dicho valor se coloca en la tabla anterior.

Para conocer el tiempo normal se hace uso de las tablas Westinghouse tomando en cuenta factores como habilidad del técnico que lleva a cabo las reparaciones, condiciones del lugar, esfuerzo y consistencia, por lo que se le otorgaron puntajes de acuerdo con el criterio del analista (véase tabla 3.6).

Tabla 3.6 Calificación del operario de acuerdo con sistema Westinghouse

Fuente: Elaboración propia

Factor	Calificación	Puntaje
Habilidad	D	0
Condiciones	C	0.02
Esfuerzo	D	0
Consistencia	D	0
Total		0.02

Posteriormente se procede a calcular el factor de nivelación Westinghouse:

$$FN = \sum + 1$$

$$FN = 0.02 + 1$$

$$FN = 1.02$$

donde:

\sum = Sumatoria del puntaje de calificación de acuerdo con sistema Westinghouse

Y con el factor de nivelación y el tiempo promedio se puede conocer el tiempo normal:

$$TN = Tmo \times FN$$

$$TN = 6377.10 \text{ minutos} \times 1.02$$

$$TN = 6504.64 \text{ minutos}$$

donde:

$TMO =$ Tiempo promedio

$FN =$ Factor de nivelación

Sin embargo, se deben considerar las holguras o suplementos para tener en consideración el tiempo estándar de este método. Para ello se realiza un análisis de los suplementos con el llenado de la tabla de suplementos recomendada por la Organización Internacional del Trabajo y se hace el respectivo cálculo del porcentaje de suplementos que serán aplicados al tiempo normal (véase Figura 3.17)

Descripción del suplemento	%	
	H	M
1. Suplementos constantes	5	7
Suplementos por necesidades personales	4	4
Suplementos por fatiga	9	4
Suma	9	11
2. Suplementos variables		
A. Suplementos por trabajar de pie	2	4
B. Suplementos por postura anormal		
I. Ligeramente incomoda	0	1
II. Incomoda (inclinado)	2	3
III. Muy incomoda (Echado, estirado)	7	7
C. Levantamiento de peso		
2.5	0	1
5.0	1	2
7.5	2	3
10.0	3	4
12.5	4	6
15.0	6	9
17.5	8	12
20.0	10	15
22.5	12	18
25.0	14	-
30.0	19	-
40.0	33	-
50.0	58	-
D. Intensidad de luz		
I. Ligeramente por debajo de lo recomendado	0	0
II. Bastante por debajo de lo recomendado	2	2
III. Absolutamente ineficiente	5	5
E. Calidad del aire		
I. Buena ventilación o aire libre	0	0
II. Mala ventilación sin emanaciones tóxicas y nocivas	5	5
III. Proximidad de hornos, escaleras, etc.	5-15	5-15
F. Tensión visual		
I. Trabajos de cierta precisión	0	0
II. Trabajos de precisión fatigosos	2	2
III. Trabajos de gran precisión o muy fatigosos	5	5
G. Tensión auditiva		
I. Sonido continuo	0	0
II. Intermitente y fuerte	2	2
III. Intermitente y muy fuerte	5	5
IV. Estridente y fuerte	5	5
H. Tensión mental		
I. Proceso bastante complejo	1	1
II. Proceso complejo o atención muy dividida	4	4
III. Muy complejo	8	8
I. Monotonía mental		
I. Trabajo algo monótono	0	0
II. Trabajo bastante monótono	1	1
III. Trabajo muy monótono	4	4
I. Monotonía física		
I. Trabajo algo aburrido	0	0
II. Trabajo aburrido	2	2
III. Trabajo muy aburrido	5	5
Sumatoria	40%	

Figura 3.17 Cálculo de suplementos

Fuente: Elaboración propia con base en datos de la OIT

Por lo tanto, se determinó un 40% de suplementos, así que se procede a calcular el tiempo estándar con los suplementos determinados, como se muestra a continuación:

$$TE = TN * (1 + S)$$

$$TE = 6,504.64 \text{ minutos} * (1 + 0.40)$$

$$TE = 9106.50 \text{ minutos}$$

donde:

TE = tiempo estándar

TN = tiempo normal

S = suplementos

Convirtiendo este tiempo tomando en cuenta un turno de ocho horas de trabajo tomando en cuenta una hora de comida y media hora para realizar actividades administrativas como notificar las horas trabajadas en SAP, de lunes a viernes, se tiene lo siguiente:

$$\text{Horas de trabajo efectivo} = 8 \text{ horas de turno} - 1 \text{ hora de comida} - 0.5 \text{ horas de notificación} = 6.5 \text{ horas}$$

En minutos esto es:

$$\text{Minutos de trabajo efectivo} = 6.5 \text{ horas} \times 60 \text{ minutos por hora} = 390 \text{ minutos por día}$$

Posteriormente el número de días laborales efectivos se calcula como:

$$\text{Tiempo estándar en días} = \frac{\text{Tiempo estándar}}{\text{Minutos de trabajo efectivo}} = \frac{9207.35 \text{ minutos}}{390 \text{ minutos}} = 23.3500 \text{ días}$$

Con este resultado se entiende que el tiempo estándar para reparar un equipo de extracción con el método actual, tarda más de un mes, siendo de 23 días con 2 horas y 17 minutos, tomando en cuenta meses con la siguiente cantidad de días laborales (véase Tabla 3.7)

Tabla 3.7 Relación entre los días del mes y los días laborales estimados

Fuente. Elaboración propia

Total, de días del mes	Días laborales estimados	Observación
31	23 días	El tiempo estándar de reparación es mayor a 23 días, por lo que no es óptimo.

Por lo que se propone realizar una redistribución de la maquinaria presente en taller de reparaciones mecánicas asegurando un mayor aprovechamiento del espacio disponible y reduciendo los movimientos generados.

Lo que se puede apreciar principalmente, es que el área designada para las reparaciones de los equipos de extracción tiene cercanía con otros procesos con los que no tiene relación alguna, o que no es importante para el proceso de reparación de los equipos de extracción (véase Figura 3.19).

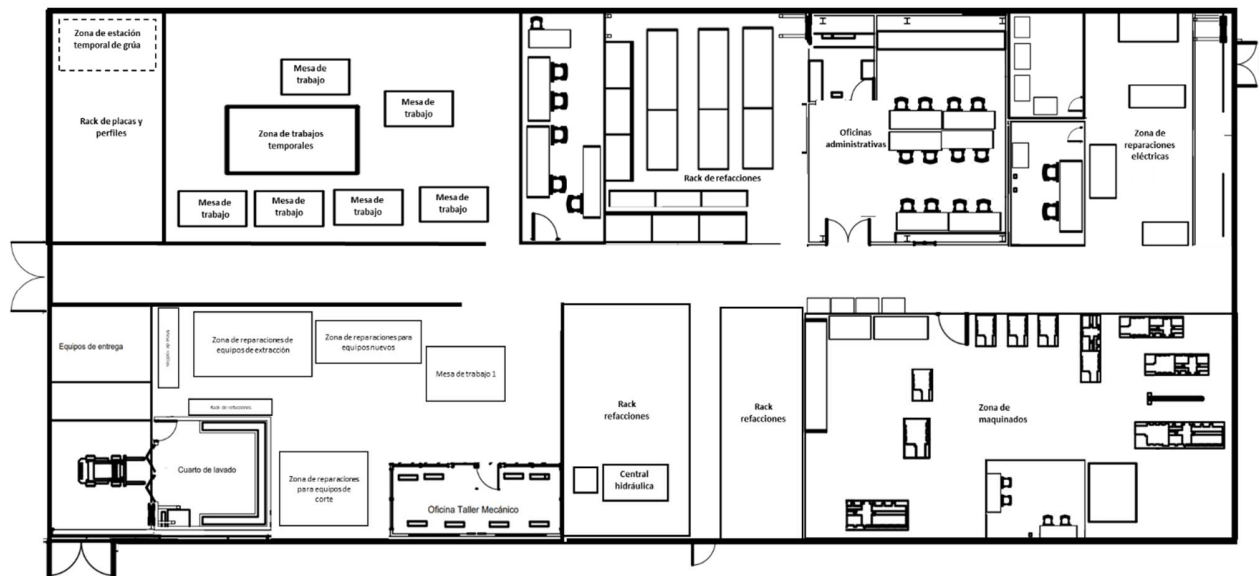


Figura 3.19 Distribución actual del taller de reparaciones.

Fuente: Elaboración propia

Debido a lo anterior, es importante priorizar cuales son los equipos o áreas que se requiere que estén más cerca del área donde se llevan a cabo las reparaciones de los equipos de extracción. Entonces lo que primeramente se ejecuta es un mapeo de dichos equipos con su aplicación principal a los equipos de extracción y posteriormente se prioriza con la matriz de relaciones (véase Tabla 3.8)

Tabla 3.8 Equipos necesarios para el proceso de reparación de los equipos de extracción

Fuente: Elaboración propia

Área / Equipo / Mobiliario	Aplicación o uso
Zona de reparaciones de los equipos de extracción	Lugar donde se ejecutan la mayoría de las operaciones, inspecciones, almacenamientos, transportes y demoras.

Grúa viajera	Transporte de componentes mayores de 25 kg
Central hidráulica	Ejecución de pruebas dinámicas
Zona de reparaciones eléctricas	Reparación a motor del equipo de extracción
Mesa de trabajo y rodillos	Diagnóstico y reparación de rodillos y otros componentes que no requieren servicio externo
Rack de refacciones y herramientas	Rack donde se coloquen refacciones y herramientas
Zona de descarga de equipos	Zona donde se hace recepción de equipos y componentes que llegan de otras áreas o proveedores.

Una vez efectuado el mapeo de los equipos necesarios, se prioriza el área, equipo o mobiliaria con mayor importancia para el proceso de reparación, de igual forma se coloca a un lado los códigos de cercanía para señalar o priorizar (véase Figura 3.20)

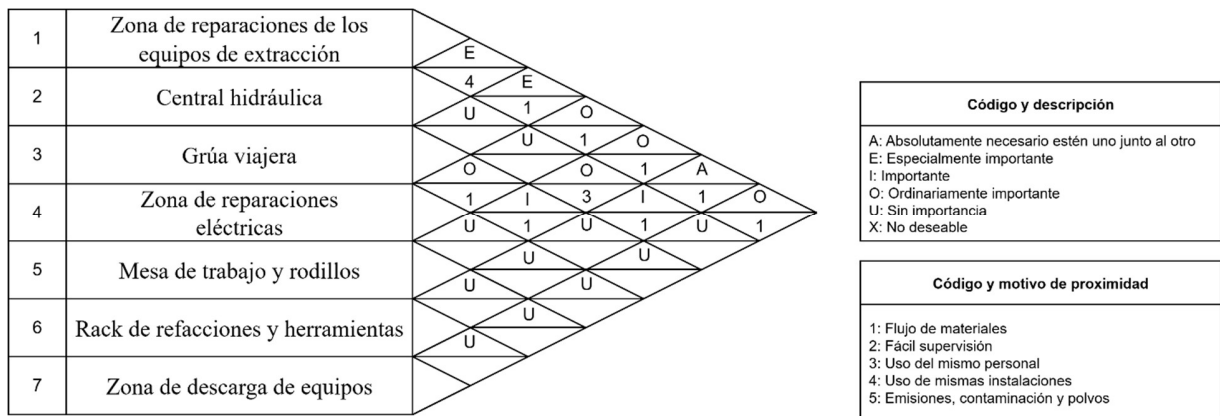


Figura 3.20 Diagrama de relaciones del proceso de reparación de equipos de extracción

Fuente: Elaboración propia

Posteriormente una regla que se considera para la técnica del diagrama de relaciones es la que establece el número óptimo de porcentaje de uso de un código, es decir que el código “A” no debe de usarse más veces de la que establece una regla. Para ello se calcula el número de relaciones existentes en el diagrama anterior:

$$N = \frac{n(n - 1)}{2}$$

Donde:

N= número de relaciones en el diagrama

n = número de departamentos, actividades o mobiliaria

y se procede a calcular, despejando los valores de la fórmula:

$$N = \frac{7(7 - 1)}{2}$$

$N = 21 \text{ relaciones}$

Después se calcula el porcentaje de uso de cada código tomando el número de relaciones calculadas como el total y se compara con la regla señalada por el método, esto con el fin de no sobreestimar la relación entre los rubros y de no excederse en la colocación de códigos (véase Tabla 3.9)

Tabla 3.9 Análisis de asignación de código de relación

Fuente: Elaboración propia

Código	Recuento de veces asignado en el diagrama	Porcentaje	Porcentaje ideal	¿Cumple?
A	1	5%	5%	Si
E	2	10%	10%	Si
I	2	10%	15%	Si
O	5	24%	25%	Si
U	11	52%		
X	0	0%		
Total	21	100%		

Posteriormente se procede a realizar la redistribución del taller mecánico. Para ello se realiza un diagrama de relaciones por proximidad con un código de líneas dependiendo el tipo de relación entre ambas áreas (véase Figura 3.21)

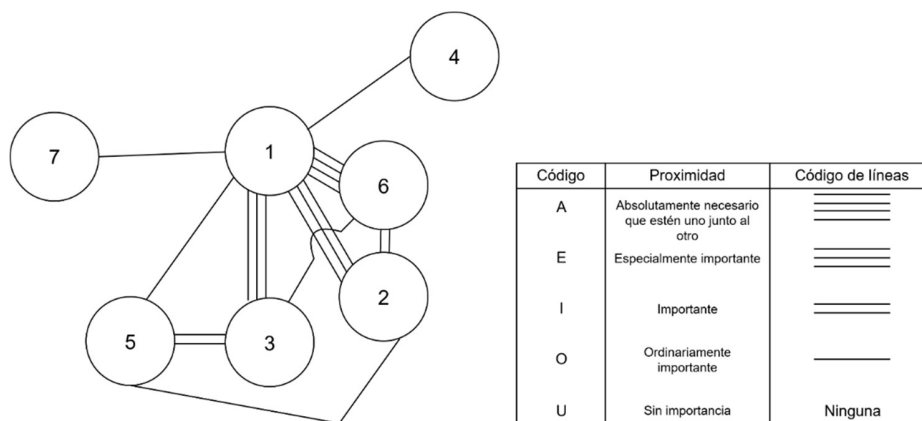


Figura 3.21 Diagrama de relaciones por proximidad

Fuente: Elaboración propia

Con el fin de no saturar el flujo de personas, materiales y maquinaria, se optó por utilizar el rack sobre el cual se encontraba la central hidráulica, obteniendo el flujo señalado en el diagrama de relaciones por proximidad (véase Figura 3.22)

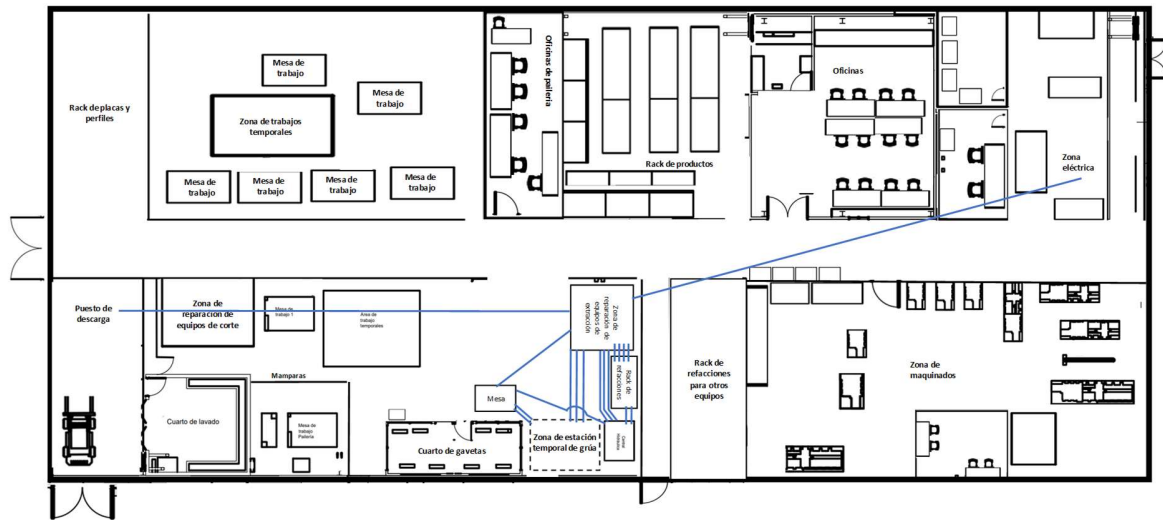


Figura 3.22 Distribución mejorada con el método SLP

Fuente: Elaboración propia

3.2.7. Máquinas y mediciones

Las principales causas observadas en el diagrama de Ishikawa, así como en el estudio de tiempos y movimientos fueron algunos de los siguientes puntos:

- Herramientas básicas compartidas entre técnicos, como es el caso del banco de pruebas o central hidráulica.
- Falta de especificación en los resultados de las pruebas al no existir un estándar.

Para el primer punto se analiza la aplicación del banco de pruebas y como afecta al tiempo de reparación de los equipos de extracción de acero.

Al realizar el estudio de tiempos y movimientos, se analizaron las actividades relacionadas con las pruebas hidrodinámicas las cuales son de la actividad 140, 141, 142, 143, 144, 145 y 146, donde se tienen que realizar actividades relacionadas para solicitar el equipo de pruebas que se le conoce como central hidráulica o banco de pruebas (véase Tabla 3.10)

Tabla 3.10 Actividades relacionadas con la ejecución de pruebas hidrodinámicas

Fuente: Elaboración propia

N° DIAG.	N° ACT.	DESCRIPCIÓN DEL PROCESO	Distancia metros	Tiempo Min.	Símbolos básicos				
					●	■	➔	◐	▼
1	140	Solicitud de montacargas		20				•	
1	141	Valoración médica		30				•	
1	142	Llenado de checklist de montacargas		10		•			
1	143	Traslado de montacargas hacia lado sur	1000.0	30			•		
1	144	Levantamiento de equipo para pruebas hidráulicas		40	•				
1	145	Traslado hacia taller central	1000.0	40			•		
1	146	Conexiones eléctricas de equipo para pruebas		40					
1	147	Pruebas hidrodinámicas a 130 bares		90		•			
1	148	Aplicación de movimientos a pistón y verificación de desplazamiento		40		•			

Para analizar la causa de que los técnicos de mantenimiento tengan que realizar dichas actividades para solicitar un banco de pruebas de otro equipo y no utilicen el que se encuentra en el taller de reparaciones, se utiliza la herramienta de los cinco porqués con el fin de desglosar aún más el problema y llegar a la solución (véase Figura 3.23)

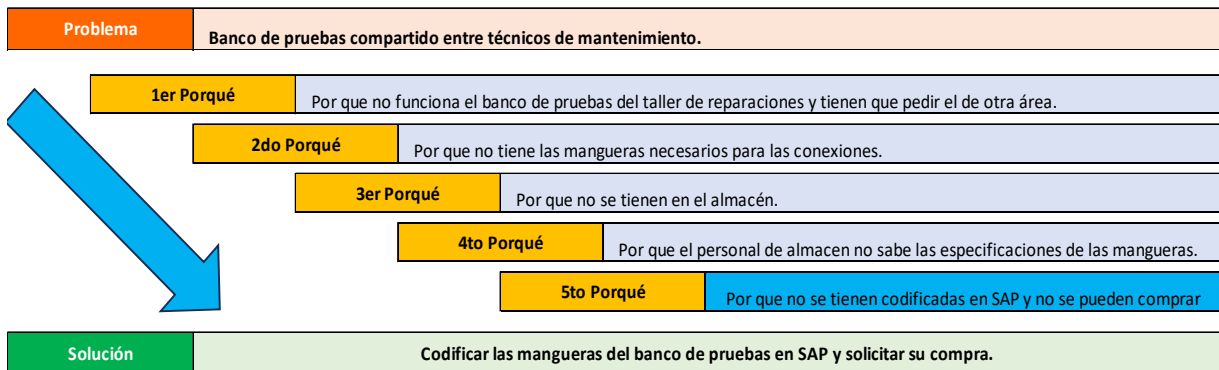


Figura 3.23 Análisis 5 porqués del equipo de medición

Fuente: Elaboración propia

Al no tener codificadas las mangueras en SAP, el personal de almacén muy difícilmente podría solicitar las mangueras por lo que se hizo envío de la información necesaria para codificar las mangueras y se envió al almacén para solicitar su compra. De esta forma las actividades 140, 141, 142, 143, 144, 145 y 146, quedan eliminadas al ya no tener que solicitar el banco de pruebas.

Finalmente, para el segundo punto de falta de especificación en los resultados de las pruebas, se implementa el uso de una lista de verificación con puntos a evaluar antes de realizar la entrega del equipo, así como para tener un registro de las mediciones y observaciones o hallazgos. Dichos puntos se concentran en un solo formato de verificación en la aplicación de “Checklist fácil” (véase Figura 3.24)



Checklist Fácil

CHECKLIST FÁCIL

Cuestionario: **SAH - ENTREGA DE EQUIPOS**

Descripción: **Este Checklist es para la entrega de equipos**

Unidad:

Evaluador:

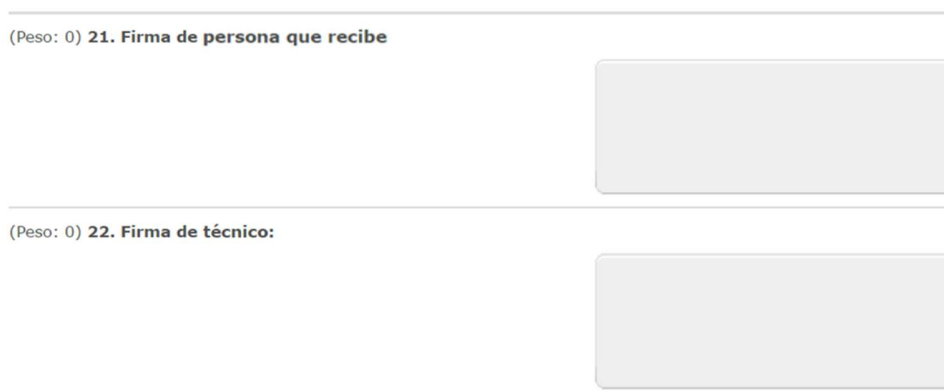
Fecha/Hora:

Figura 3.24 Encabezado de lista de verificación para revisión de la reparación de equipos en general

Fuente: Elaboración propia

Los puntos de verificación se dividen en datos generales y revisión de los puntos (véase Tabla A.3)

La principal ventaja del uso de este formato de Checklist en vez del uso del papel, es principalmente que en cada uno de los ítems la aplicación solicita como obligatorio el anexo de fotografías y comentarios, ya que, si estos no se anexan, no es posible enviar el Checklist. Así como la facilidad de añadir firmas de conformidad de los responsables de los equipos (véase Figura 3.25)



(Peso: 0) **21. Firma de persona que recibe**

(Peso: 0) **22. Firma de técnico:**

Figura 3.25 Anexo de firmas de verificación del estado de entrega del equipo

Fuente: Elaboración propia

Capítulo 4. Resultados y discusión

4.1. Resultados

4.1.1. Personal y organización de actividades

La implementación de una estructura fija en el organigrama del taller de reparaciones al optar por dejar dos técnicos de mantenimiento especialmente enfocados a la reparación del equipo de extracción representa una mejora significativa en cuanto a la consolidación de los conocimientos adquiridos por los técnicos de mantenimiento. Únicamente tomando en cuenta el tiempo observado que se analizó, se obtuvo una tabla con los tiempos de las reparaciones 1, 2, 3, 6, 7, 8 ya que en los meses 4 y 5 se ejecutaron e implementaron las mejoras (véase tabla 4.1)

Tabla 4.1 Tiempos observados de las reparaciones de equipos de extracción

Fuente: Elaboración propia

Equipo reparado	Tiempo observado
1	6441.3
2	6376.9
3	6313.1
4	No disponible
5	No disponible
6	6230.8
7	5919.3
8	5564.1

Para conocer el comportamiento de los tiempos, es necesario inferir los tiempos de los equipos 4 y 5, para ello con los datos disponibles se efectúa el cálculo de la curva de aprendizaje de los operarios de mantenimiento.

Primeramente, se calcula el exponente que representa la pendiente N como se muestra a continuación:

$$n = \frac{\Delta y}{\Delta x} = \frac{\log y_1 - \log y_n}{\log x_1 - \log x_n}$$

Donde:

n = exponente que representa la pendiente

Δy = variación en el tiempo de ciclo

Δx = variación en el número de ciclos o unidades producidas

Como se desean conocer los tiempos de los equipos 4 y 5 se toma en cuenta la variación del ciclo antes de dichos periodos, por lo tanto, el despeje se ve de la siguiente forma:

$$n = \frac{\log y_1 - \log y_3}{\log x_1 - \log x_3}$$

$$n = \frac{\log 6441.3 - \log 6313.1}{\log 1 - \log 3}$$

$$n = \frac{3.809 - 3.800}{0 - 0.477}$$

$$n = -0.01883$$

Para después determinar la ecuación de la curva de aprendizaje

$$Y = KX^n$$

Donde:

Y = tiempo de ciclo

K = valor del primer tiempo de ciclo

X = número de ciclo

n = exponente que representa la pendiente

Por lo tanto, la ecuación que se considera para calcular ambos valores queda de la siguiente forma:

$$Y = KX^n$$

$$Y = 6441.3X^{-0.0183}$$

Posteriormente para calcular los valores del tiempo de los equipos 4 y 5 se sustituyen en la ecuación respectivamente (véase Tabla 4.2)

Tabla 4.2 Tiempos observados e inferidos de la reparación los equipos de extracción

Fuente: Elaboración propia

Equipo reparado	Tiempo observado
1	6441.3
2	6376.9
3	6313.1
4	6280.0
5	6254.4
6	6230.8
7	5919.3
8	5564.1

Posteriormente para inferir en los tiempos posteriores se calcula nuevamente la ecuación de la curva de aprendizaje tomando en cuenta el primer y último valor disponible, es decir los datos de los equipos 1 y 8, como se muestra a continuación:

$$n = \frac{\log y_1 - \log y_8}{\log x_1 - \log x_8}$$

$$n = \frac{\log 6441.3 - \log 5564.1}{\log 1 - \log 8}$$

$$n = \frac{3.809 - 3.745}{0 - 0.903}$$

$$n = -0.0704$$

Por lo tanto, la ecuación que se considera para inferir los valores futuros queda de la siguiente forma:

$$Y = KX^n$$

$$Y = 6441.3X^{-0.0704}$$

Al despejar los datos en Excel se calcula el tiempo de 24 meses en total, despejando los valores faltantes en dicha ecuación (véase Tabla 4.3)

Tabla 4.3 Inferencia sobre el tiempo de reparación de los equipos de extracción

Fuente: Elaboración propia

Equipo reparado	Tiempo observado
1	6441.3
2	6376.9
3	6313.1
4	6280.0
5	6254.4
6	6230.8
7	5919.3
8	5564.1
9	5518.2
10	5477.4
11	5440.7
12	5407.5
13	5377.1
14	5349.2
15	5323.2
16	5299.1
17	5276.5
18	5255.3
19	5235.4
20	5216.5
21	5198.6
22	5181.6
23	5165.4
24	5150.0

Finalmente se grafican dichos valores para verificar la curva de aprendizaje, así como para verificar que el tiempo de reparación de los equipos de extracción vaya disminuyendo gradualmente conforme los operarios reparan más equipos de extracción, lo cual se representa a través de una línea de tendencia (véase Figura 4.1)

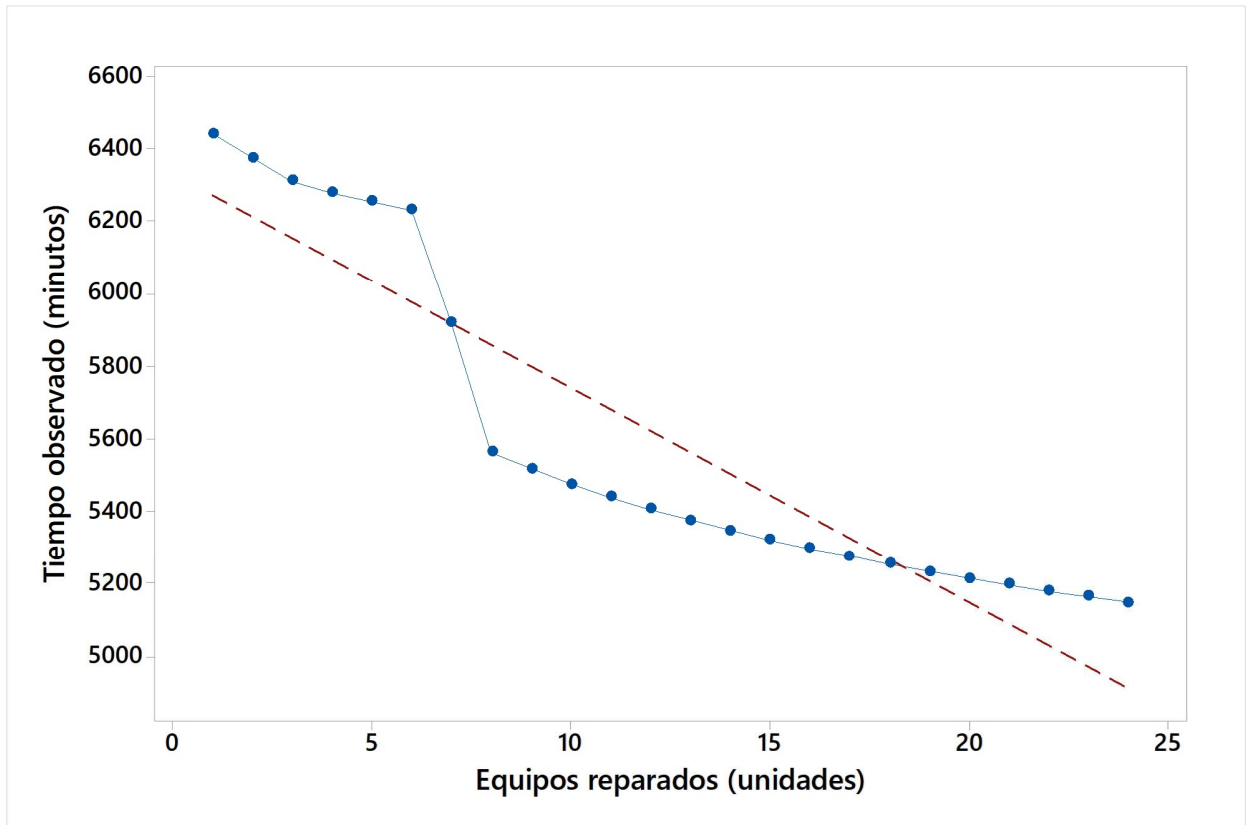


Figura 4.1 Curva de aprendizaje de los operarios responsables de la reparación de los equipos de extracción

Fuente: Elaboración propia

4.1.1. Gestión de materiales y refacciones

En la situación inicial se determinó que una de las principales demoras que afectaban el proceso de mantenimiento a los equipos de extracción era la indisponibilidad de refacciones en el almacén, por lo que la implementación de la gestión de refacciones críticas bajo un modelo de revisión continua elimina una demora muy importante que hace que tres áreas se detengan por completo (colada continua, taller de reparaciones, almacén), ya que al tener siempre disponibles las refacciones que tienen un tiempo de entrega extenso se elimina el tiempo de espera, es así que el proceso de gestión y ejecución del mantenimiento a los equipos de extracción se modifica y se optimiza (véase Figura 4.2).

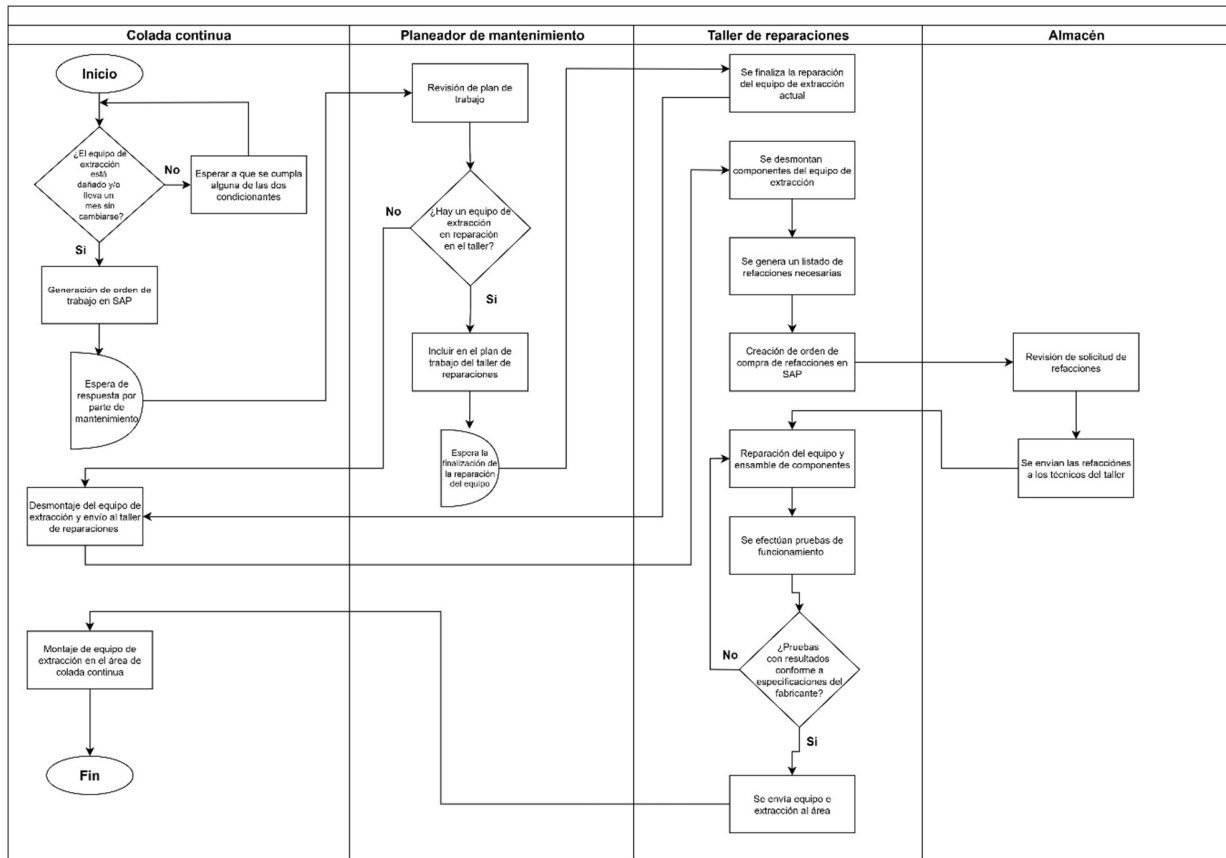


Figura 4.2 Proceso de gestión y ejecución del mantenimiento a los equipos de extracción con nueva gestión de refacciones

Fuente: Elaboración propia

4.1.2. Métodos de trabajo y condiciones operativas

Para la situación actual se identificó principalmente un método de reparación prolongado, debido a exceso de movimientos y una falta de estandarización del método que estaban relacionadas con la falta de espacio y orden, lo que afectaba principalmente al área de colada continua, ya que se veía implicada una demora de espera de los equipos de extracción. Por lo que los resultados de haber implementado una redistribución del taller de reparaciones trajeron consigo mejoras respecto a distancias recorridas y por ende una disminución de los tiempos de reparación, es por ello por lo que se realizó nuevamente el análisis de los tiempos y movimientos con la herramienta gráfica de cursograma analítico (véase Tabla A.4)

De igual forma se analiza el diagrama de recorrido con el método propuesto, lo que permite observar la incorporación de las mejoras anteriores, es decir, que se asegura que las rutas de los transportes lleven de acuerdo con lo planificado en la distribución de equipos, sin existir aglomeraciones por interferencias con las reparaciones de otros y equipos. En tal sentido, la mejora contribuye a una mejor fluidez en los movimientos de las actividades sin tener desperdicios de tiempo y distancias (véase Figura 4.3)



Figura 4.3. Diagrama de recorrido de método propuesto

Fuente: Elaboración propia

Para señalar las mejoras del cambio de método se efectúa una comparación de distancias y tiempos entre el método anterior y el método propuesto. Debido a que se posee los tiempos de la reparación de tres equipos antes de efectuar mejoras y tres equipos después de que se efectuaron las mejoras del método, se procede a analizar el tiempo promedio observado de dichas reparaciones (véase Figura 4.4)

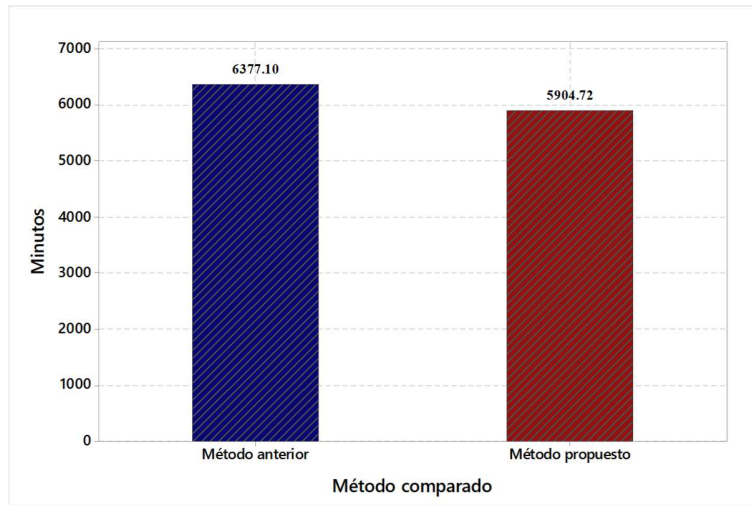


Figura 4.4 Tiempo medio observado de método anterior vs método actual

Fuente: Elaboración propia

Posteriormente se hace el cálculo de la mejora de reducción de minutos entre el método anterior y método propuesto en porcentaje, obteniendo una diferencia de 472.38 minutos lo que representa una mejora del 7.41% (véase Figura 4.5)

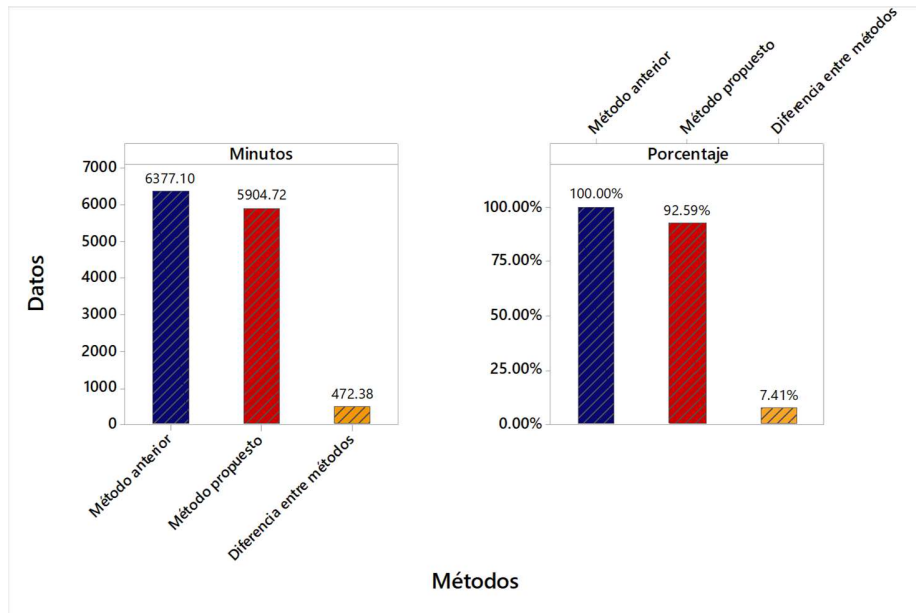


Figura 4.5 Comparación de tiempos entre método actual y método propuesto

Fuente: Elaboración propia

Posteriormente se procede a analizar las distancias recorridas entre el método actual y el propuesto, tal como se hizo con el análisis del tiempo entre un método y otro (véase Figura 4.6)

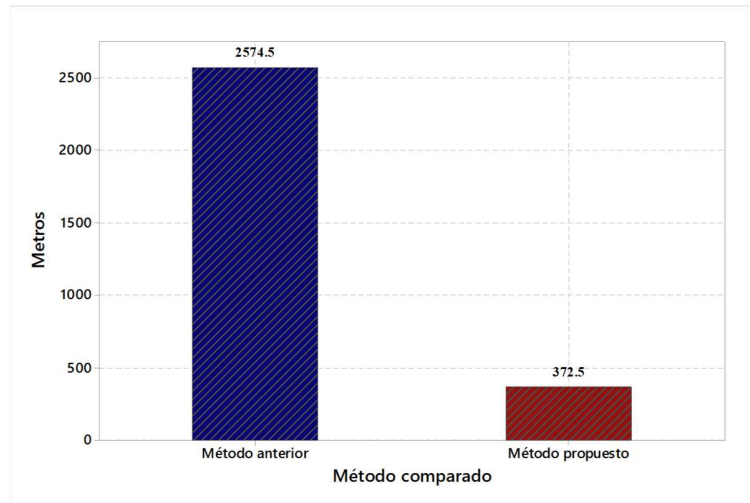


Figura 4.6 Distancias recorridas de método anterior vs método actual

Fuente: Elaboración propia

Posteriormente se efectúa el cálculo de la mejora de reducción de metros en cuanto a la distancia recorrida haciendo la comparación entre el método anterior y método propuesto en porcentaje, obteniendo una diferencia de 2202 metros lo que representa una mejora del 85.53% (véase Figura 4.7)

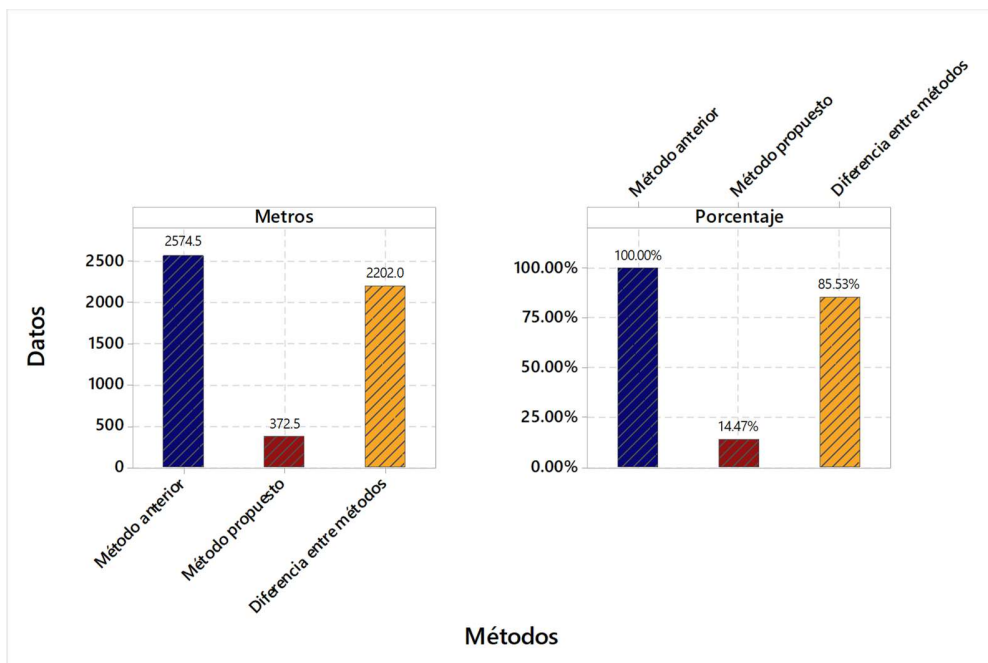


Figura 4.7 Comparación de distancias entre método actual y método propuesto

Fuente: Elaboración propia

Finalmente se somete a análisis la efectividad de la mejora del método propuesto efectuando el cálculo del tiempo estándar y verificando si este cumple con los días laborales estimados. Para ello se efectúan los cálculos utilizados anteriormente para determinar el tiempo estándar del método anterior, por lo que de igual forma vuelven a aplicar los factores del sistema de holguras y de suplementos. De igual forma se toma en cuenta los tiempos observados del método actual para obtener el tiempo medio observado (véase Tabla 4.4)

Tabla 4.4 Resumen de los tiempos observados del método actual

Fuente: Elaboración propia

Tiempo reparación de equipo 6	Tiempo reparación de equipo 7	Tiempo reparación de equipo 8	Tiempo promedio
6230.80	5919.26	5564.10	5904.72

Con el tiempo promedio se procede a calcular el tiempo normal

$$TN = Tmo \times FN$$

$$TN = 5904 \text{ minutos} \times 1.02$$

$$TN = 6022.81 \text{ minutos}$$

donde:

Tmo = tiempo promedio

FN = Factor de nivelación

Posteriormente se calcula el tiempo estándar utilizando el mismo factor de suplementos

$$TE = TN * (1 + S)$$

$$TE = 6,022.81 \text{ minutos} * (1 + 0.40)$$

$$TE = 8431.94 \text{ minutos}$$

donde:

TE = tiempo estándar

$TN = \text{tiempo normal}$

$S = \text{suplementos}$

Convirtiendo este tiempo tomando en cuenta las mismas condiciones en turnos de ocho horas de trabajo tomando en cuenta una hora de comida y media hora para realizar actividades administrativas como notificar las horas trabajadas en SAP, de lunes a viernes, se tiene lo siguiente:

$$\text{Horas de trabajo efectivo} = 8 \text{ horas de turno} - 1 \text{ hora de comida} - 0.5 \text{ horas de notificación} = 6.5 \text{ horas}$$

En minutos esto es:

$$\text{Minutos de trabajo efectivo} = 6.5 \text{ horas} \times 60 \text{ minutos por hora} = 390 \text{ minutos por día}$$

Posteriormente el número de días laborales efectivos se calcula como:

$$\text{Tiempo estándar en días} = \frac{\text{Tiempo estándar}}{\text{Minutos de trabajo efectivo}} = \frac{8431.94 \text{ minutos}}{390 \text{ minutos}} = 21.6204 \text{ días}$$

Con este resultado se entiende que el tiempo estándar para reparar un equipo de extracción con el método propuesto es de 21 días con 4 horas y 2 minutos, tomando en cuenta meses con la siguiente cantidad de días laborales (véase Tabla 4.5)

Tabla 4.5 Relación entre los días del mes y los días laborales estimados

Fuente: Elaboración propia

Total, de días del mes	Días laborales estimados	Observación
31	23 días	El tiempo estándar de reparación es menor a 21 días, por lo que es óptimo.
30	21 días	El tiempo estándar de reparación es mayor a 21 días.

Por lo que se puede identificar la relación anterior para meses con días laborales de 21 días, el método propuesto se excede por 4 horas y 2 minutos, lo cual no representa una afectación crítica para el cronograma de mantenimiento. La holgura en los meses con días laborales de 23 días permite compensar esta mínima desviación.

4.1.3. Estado de máquinas y equipos de medición

Respecto del tema de la habilitación del equipo de pruebas hidrodinámicas se asegura principalmente que el operario de mantenimiento no tenga que realizar las actividades relacionadas con la solicitud del equipo de pruebas a otra área y de tal forma el tiempo de la reparación se vea en aumento. La eliminación de las actividades 140, 141, 142, 143, 144, 145 y 146 permitió la reducción de tiempos respecto al método anterior, lo que se traduce en la mejora del método propuesto (véase Figura 4.8).

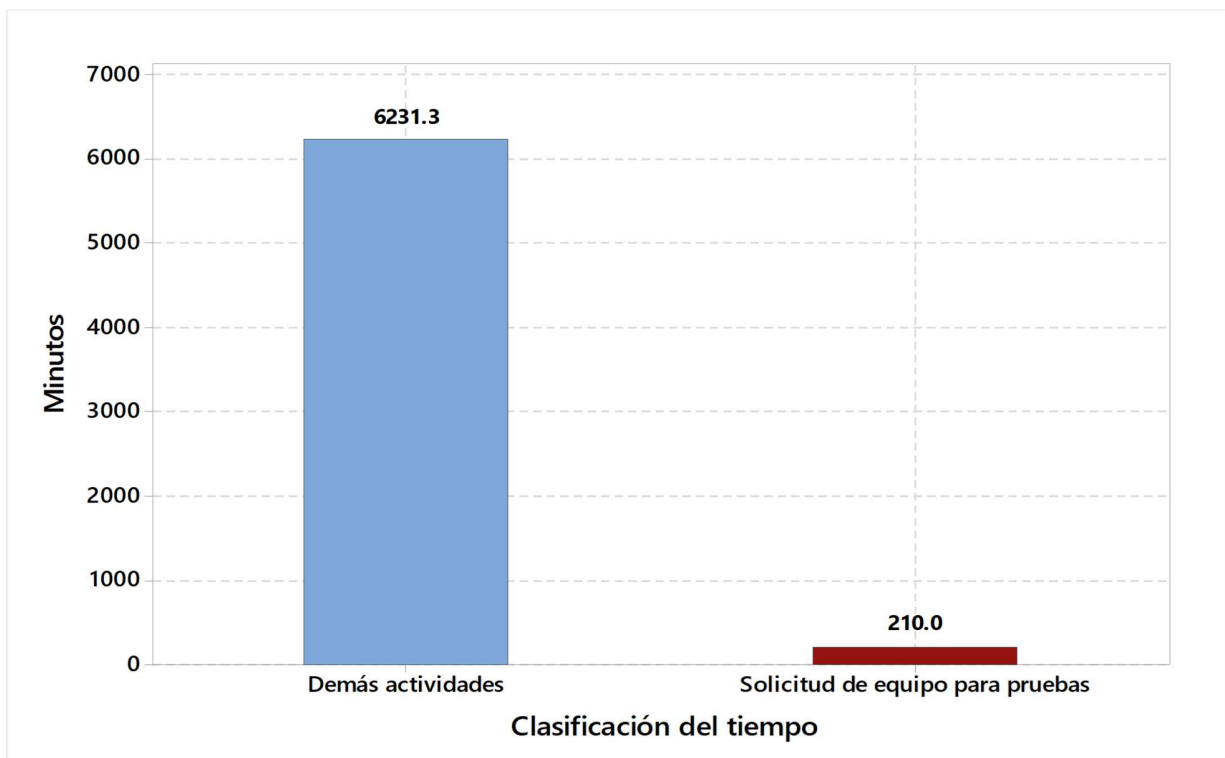


Figura 4.8 Tiempo invertido en actividades vs solicitud de equipo de pruebas

Fuente: Elaboración propia

De igual forma se entiende que la eliminación de dichas actividades corresponde a una mejora del 3.3% en cuanto al tiempo asociado del método anterior, ya que en el método propuesto dichas actividades se ven totalmente eliminadas (véase Figura 4.9)

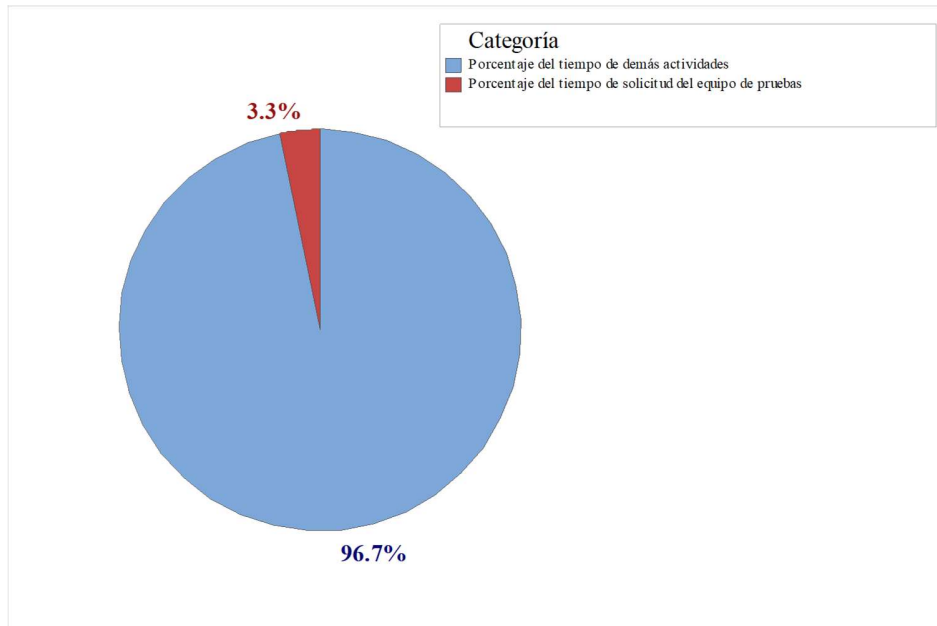


Figura 4.9 Proporción de tiempo entre actividades y solicitud de equipo de pruebas

Fuente: Elaboración propia

Igualmente se hace el análisis de la disminución en las distancias debido a la eliminación de las actividades asociadas a la solicitud del equipo de pruebas (véase Figura 4.10)

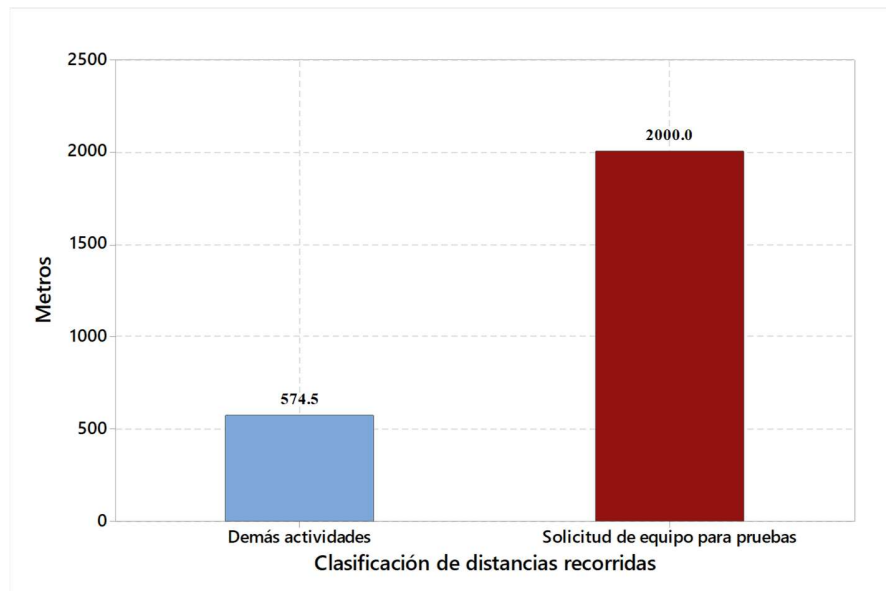


Figura 4.10 Distancia invertida en actividades vs solicitud de equipo de pruebas

Fuente: Elaboración propia

Análogamente se entiende que la eliminación de dichas actividades corresponde a una mejora del 77.7% en cuanto a las distancias asociadas a la solicitud del equipo de medición (véase Figura 4.11)

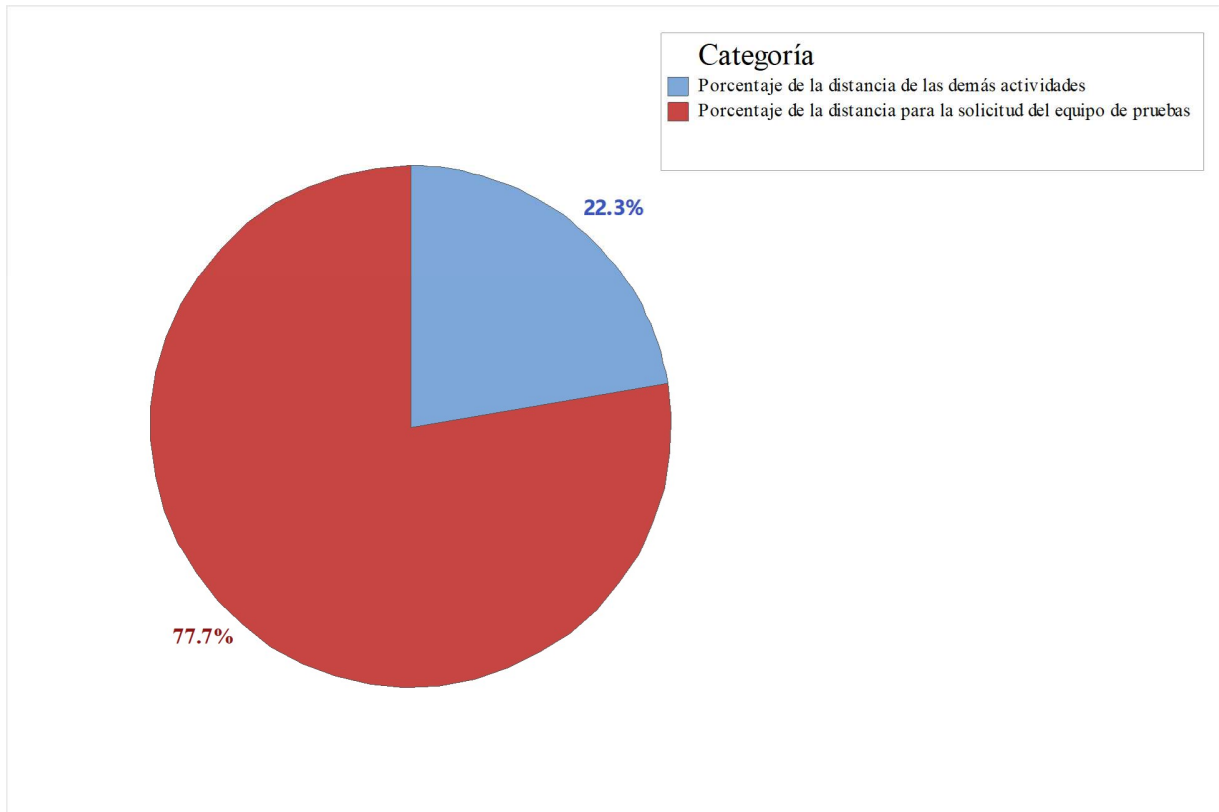


Figura 4.11 Proporción de distancias recorridas entre actividades y solicitud de equipo de pruebas

Fuente: Elaboración propia

4.1.4. Impacto de la optimización en las demoras de los equipos de extracción

En la presente sección se presentan los resultados respecto a la optimización del proceso de mantenimiento en los equipos de extracción. Primeramente, se analiza la estrategia mejorada del proceso de gestión y reparación de los equipos de extracción, donde se eliminan las principales demoras identificadas en el proceso de diagnóstico y análisis de la presente investigación. Primordialmente se eliminan las demoras del almacén al tener una gestión de refacciones críticas y por ende se elimina por completo la espera del tiempo de llegada de las refacciones solicitadas y las demoras de reparación de los equipos de extracción al tener una optimización del tiempo de

reparación con holguras y suplementos disponibles que no exceden el tiempo de cambio de los equipos de extracción (véase Figura 4.12)

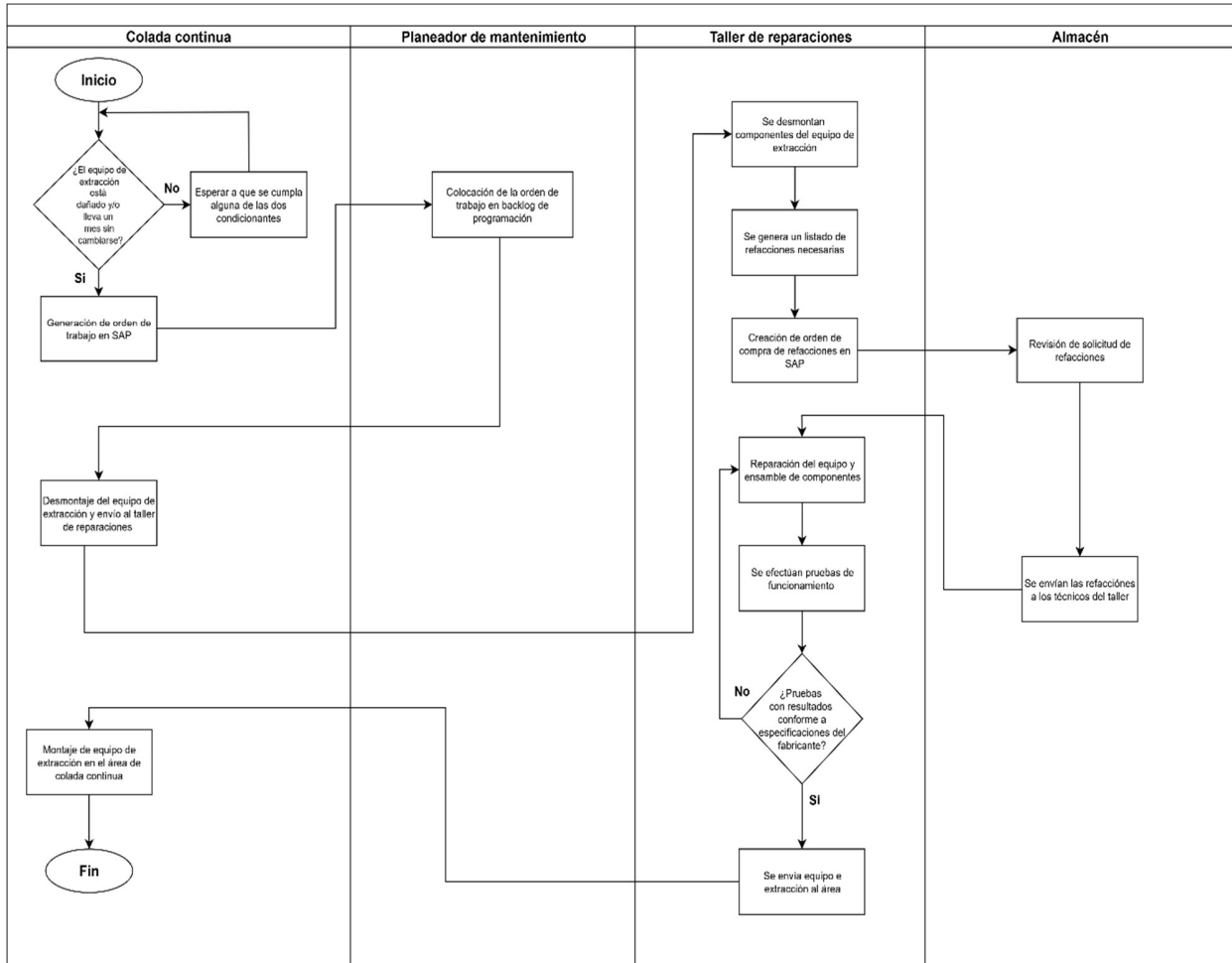


Figura 4.12 Proceso de gestión y ejecución del mantenimiento a los equipos de extracción optimizado
Fuente: Elaboración propia

De igual forma se analiza las demoras mensuales del año 2024 para evaluar el impacto de las mejoras aplicadas a la optimización del proceso de mantenimiento y como influyeron directamente en el área de colada continua, reportando un total de 491.04 minutos (véase Figura 4.13).

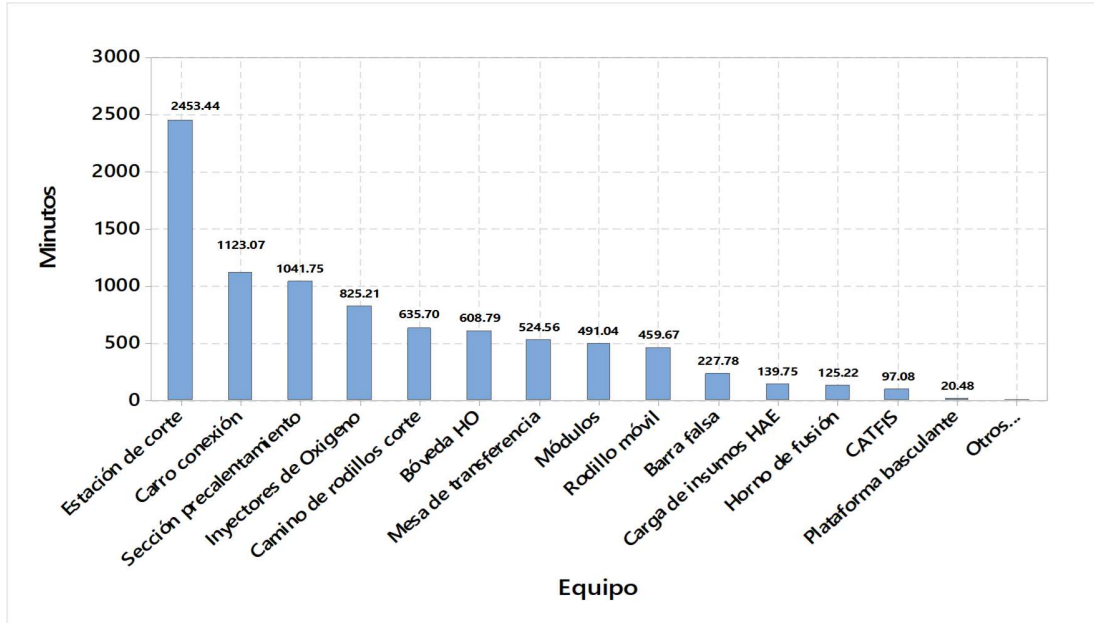


Figura 4.13 Gráfico de barras de demoras por equipo en el año 2024
Fuente: Elaboración propia

Efectuando una comparación del año 2023 y el año 2024 de los tiempos de inactividad que se reportan en los equipos de extracción, se señala una mejora del 77.04% en cuanto a la disminución del tiempo de inactividad (véase Figura 4.14)

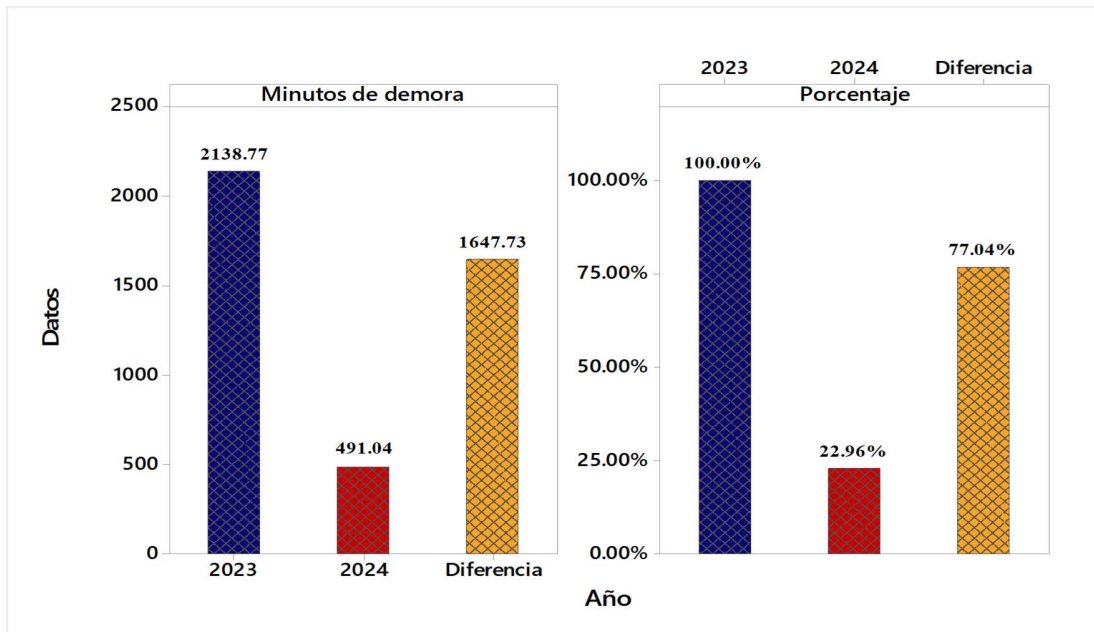


Figura 4.14 Comparación de tiempos de inactividad en equipos de extracción año 2023 y 2024
Fuente: Elaboración propia

4.2. Discusión

Los resultados obtenidos permitieron identificar que el proceso de reparación de los equipos de extracción presenta diversas áreas de oportunidad relacionadas con la organización del trabajo, la disponibilidad de recursos y la estandarización de los métodos de mantenimiento.

En relación con el factor humano, se observó que la ausencia de una asignación definida de personal para la reparación de los equipos de extracción provoca variabilidad en los tiempos de intervención. La rotación constante de técnicos y la falta de especialización en el proceso generan demoras asociadas a la adaptación del personal y a la repetición de actividades no estandarizadas. Este comportamiento coincide con lo señalado en la literatura, donde se destaca que la especialización y la experiencia del personal influyen directamente en la eficiencia de los procesos de mantenimiento.

Por otro lado, el análisis de la gestión de materiales y refacciones permitió identificar que la falta de control sobre refacciones críticas representa una de las principales causas de retraso en la reparación de los equipos. La dependencia de proveedores externos y los largos tiempos de entrega generan interrupciones en el proceso de mantenimiento, incrementando los tiempos muertos.

Asimismo, el estudio de los métodos de trabajo mediante herramientas como el cursograma analítico permitió identificar actividades innecesarias, movimientos redundantes y recorridos excesivos dentro del taller de reparaciones. La redistribución del área y la mejora en la secuencia de operaciones evidencian que una adecuada organización del espacio y de las actividades contribuye a reducir los tiempos de reparación y a mejorar el flujo del proceso. Estos hallazgos confirman la utilidad del estudio del trabajo como una herramienta fundamental para la mejora de procesos de mantenimiento industrial.

En conjunto, los resultados discutidos evidencian que la optimización del proceso de reparación de los equipos de extracción es viable mediante la aplicación de herramientas de ingeniería industrial. La identificación de desperdicios, la mejora en la organización del trabajo y la gestión adecuada de recursos permiten sentar las bases para reducir los tiempos improductivos y mejorar la eficiencia del mantenimiento en el proceso de colada continua.

Conclusiones

Esta investigación permitió determinar que el área de mantenimiento de una empresa tiene gran importancia en aumentar los tiempos productivos en cualquier proceso, esta aportación toma sentido al garantizar la disponibilidad de los equipos utilizados en el proceso productivo. Un punto principal de esta investigación es la implementación de mejoras al proceso de mantenimiento tomando en cuenta aspectos como gestión de materiales, personal, métodos y maquinaria utilizando herramientas de análisis y mejora. Lo anterior se confirma en los siguientes puntos:

- Reducción de los tiempos de inactividad en un 77.04%, cumpliendo el objetivo general de la investigación.
- El análisis y rediseño del proceso de gestión y ejecución del mantenimiento mostraron mayor eficiencia en la atención de fallas y en la disponibilidad de recursos al eliminar demoras.
- La identificación de causas que afectaban principalmente a las demoras en la reparación de los equipos de extracción.
- Se concluye que una gestión integral del mantenimiento constituye un factor clave para mejorar la productividad y confiabilidad de procesos industriales críticos como la colada continua.

Asimismo, se destaca el uso de diferentes herramientas como diagramas y metodologías para dar solución cada una de las deficiencias y áreas de oportunidad. Igualmente se refuerza la idea que dichas herramientas pueden utilizarse en diferentes áreas y sectores donde se busque la optimización de procesos productivos y de igual forma donde se vea implicado el uso de recursos humanos, como lo fue en este caso a un área de mantenimiento donde no es común la implementación de las técnicas de esta investigación.

Referencias

- Africano, S. A., & Cañón López, A. N. (2022). *Propuesta de optimización de tiempos y procesos en el taller automotriz KIA 224*. Universidad ECC.
- Alting, L. (1996). *Procesos para ingeniería de manufactura* (3a ed.). Alfaomega Grupo Editor, S.A. de C.v. <http://jurgenssoft.co.cc/>
- Andrés Ortiz, M., Fernanda García Narváez, M., Paladines, M., Rodríguez Córdoba, R., & Johanna Murcia, L. (2018). *Gestión de inventarios, almacenes y aprovisionamientos*.
- Arango Serna, M. D., Ortega Pérez, G., & Pinzón Guevara, I. (2010). Mejoramiento en la gestión de inventarios. Propuesta metodológica. *Revista Universidad EAFIT*, 46(160), 9–21.
- Araujo Ramírez, P. (2021). *Desarrollo de estudio de tiempos como método análisis del proceso de extracción de la Mina Lucero*. Instituto Tecnológico Superior de Guanajuato.
- Ballou, R. H. (2004). *Logística: Administración de la cadena de suministro* (5a ed.). Pearson Educación.
- Bright Maynard, H. (1995). *Manual del ingeniero industrial : maynard* (W. K. Hodson, Ed.; 4a ed). McGraw-Hill Interamericana.
- Callister, W. D. Jr. (1996). *Introducción a la Ciencia e Ingeniería de los Materiales* (2.^a ed). Editorial Reverté, S.A.
- Carro Paz, R., & González Gómez, D. (2000). Gestión de stocks. In *Administración de las operaciones* (1a ed.). Nueva Librería.
- Carvajal, L. F. C. (2011). Reflexión sobre la industria del acero en el mercado globalizado. *Apuntes Del CENES*, 30(51), 165–182.
- Chase, R. B., Jacobs, F. R., & Aquilano, N. J. (2017). *Administración de operaciones: Producción y cadena de suministros* (P. Mascaró Sacristán & M. E. Mauri Hernández, Trans.; 12th ed.). McGraw-Hill Educación.
- Chiesa, F. (2004). Metodología para selección de sistemas ERP. *Reportes Técnicos en Ingeniería de Software*, 6, 17–37. <http://www.itba.edu.ar/capis/webcapis/planma.html>
- Díaz Jiménez, L. R. (2019). *Propuesta de un plan de mantenimiento para la disponibilidad del coresampler en un ingenio azucarero, utilizando el diagrama de Ishikawa para elevar la confiabilidad del sistema de muestreo* [Doctoral]. Universidad de San Carlos de Guatemala.
- García Criollo, R. (2005). *Estudio del trabajo : ingeniería de métodos y medición del trabajo* (2a ed). McGraw-Hill Interamericana.

- García Garrido, S. (2003a). *Organización y gestión integral de mantenimiento* (1a ed.). Ediciones Díaz de Santos, S. A.
- García Garrido, S. (2003b). *Organización y gestión integral de mantenimiento*. Ediciones Díaz de Santos, S. A.
- García, J., Cárcel, J., & Mendoza, J. (2019). Importancia del mantenimiento, aplicación a una industria textil y su evolución en eficiencia. *3C Tecnología_Glosas de Innovación Aplicadas a La Pyme*, 8(2), 50–67.
- Groover, M. (2007). *Fundamentos de manufactura*. McGraw-Hill Interamericana de España S.L.
- Heizer, J., & Render, B. (2009). *Principios de administración de operaciones* (7a ed). Pearson Educación.
- Kalpakjian, S., & Schmid, R. S. (2014). *Manufactura, ingeniería y tecnología*. (J. E. Murrieta Murrieta, Tran.; 7a ed., Vol. 1). Pearson Educación.
- Kanawaty, George. (1996). *Introducción al estudio del trabajo*. Oficina Internacional del Trabajo.
- León-Duarte, J. A., & Martínez-Cadena, G. F. (2024). Desarrollo de un plan de mantenimiento vehicular apoyado por un sistema de gestión asistido por ordenador. *Información Tecnológica*, 35(1), 23–32. <https://doi.org/10.4067/s0718-07642024000100023>
- López Gómez, F. A., & García Carcedo, F. (2024). El reciclado del acero. *DYNA*, (Vol. 77 No. 1 (2002)), 43–44.
- López Peralta, J., Alarcón Jiménez, E., & Rocha Pérez, M. A. (2014). *Estudio del trabajo. Una nueva visión* (1a ed.). Grupo Editorial Patria.
- Lozada, J. O. (2014). Investigación Aplicada: Definición, Propiedad Intelectual e Industria. *CienciAmérica: Revista de Divulgación Científica de La Universidad Tecnológica Indoamérica*, 3, 34–39.
- Meyers, F. E., & Stephens, M. P. (2006). *Diseño de instalaciones de manufactura y manejo de materiales* (J. Enríquez Brito, Tran.; 3.^a ed.,). Pearson Educación.
www.pearsoneducacion.net
- Milano, T. (2005). *Planificación y Gestión del Mantenimiento Industrial*. Editorial Panapo de Venezuela, Venezuela,2.
- Montilla, C. A. (2016). *Fundamentos de mantenimiento industrial*. Universidad Tecnológica de Pereira.

- Mora García, L. A. (2011). *Diccionario de supply chain management : terminología de la cadena de abastecimientos* (1a ed.). Ecoe Ediciones.
- Mora Gutiérrez, L. A. (2009). *Mantenimiento. Planeación, ejecución y control* (1a ed.). Alfaomega Grupo Editor, S.A. de C.V.
- Moyo, E. (1959). Importancia de la Industria Siderúrgica en México. *Investigación Económica*, 19(74), 337–363.
- Muñoz Negrón, D. F. (2009). *Administración de operaciones. Enfoque de administración de procesos de negocios*. Cengage Learning.
- Muther, R. (1981). *Distribución en planta* (C. M. Cabré Rabada, Tran.; 2a ed.). Hispano Europea.
- Niebel, B. W., & Freivalds, A. (2009). *Ingeniería industrial: Métodos, estándares y diseño del trabajo* (12th ed.). Mc Graw Hill.
- Pérez, C. M. (2021). Definición de frecuencias de tareas de un plan de mantenimiento. *Soporte & Compañía*. <https://soporteycia.com/system/files/articulos-pdf/rcm-articulo-frecuencias-21-oct-2021-v3.pdf>
- Pérez Rondón, F. A. (2021). *Conceptos generales en la gestión del mantenimiento industrial*. <https://repository.usta.edu.co/>
- Quinto De La Cruz, J. L. (2019). *Aplicación del estudio de tiempos y su relación con la productividad del personal operativo en el área de reparación en una empresa metalmecánica dedicada al mantenimiento de maquinaria pesada* [Tesis de maestría, Universidad Nacional del Callao]. <https://hdl.handle.net/20.500.12952/4240>
- Reina Archilla, I. F. (2014). *Estudio de tiempos del proceso de mantenimiento de vehículos en la empresa ALBORAUTOS S.A.S. TOYOTA*. Universidad Santo Tomás.
- Secretaría de Economía. (2025). *Fundición, Hierro y Acero*. DataMéxico. <https://www.economia.gob.mx/datamexico/es/profile/product/smelting-iron-and-steel>
- Shupingahua Leon, E. (2021). *Implementación de un plan de mantenimiento preventivo para mejorar la disponibilidad de la maquinaria línea amarilla, empresa CONCREMAX-Lurín, 2020*. Universidad César Vallejo.
- Terbullino Carbajal, M. V. (2018). *Propuesta de mejora en la gestión de inventarios de mantenimiento de equipos mina* [Tesis de maestría]. Pontificia Universidad Católica del Perú.

Thomas, C., Rosales, J., Polanco, J. A., & Agrela, F. (2019). Steel slags. *New Trends in Eco-Efficient and Recycled Concrete*, 169–190. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102480-5.00007-5>

Vidal Holguín, C. J. (2010). *Fundamentos de control y gestión de inventarios* (1.^a ed.). Cali, Colombia: Programa Editorial Universidad del Valle.

Bobadilla, W. (2018). *Gestión de Mantenimiento Industrial en los Procesos Productivos* [Tesis de Licenciatura].

World Steel Association. (2025). *Producción total de acero bruto*. World Steel Association. https://worldsteel.org/data/annual-production-steel-data/?ind=P1_crude_steel_total_pub/CHN/IND

Anexos

Tabla A.1 Clasificación ABC de refacciones con árbol de decisión

Fuente: Elaboración propia

Código SAP	Descripción	¿Afecta a un equipo o componente crítico? (Si o No)	¿Su uso es frecuente? (Si o No)	¿Ha afectado a seguridad, producción o calidad? (Si o No)	¿Se puede prevenir el fallo si se hacen inspecciones periódicas? (Si o No)	¿La reposición de la refacción es de forma inmediata si se detecta el fallo? (Si o No)	¿Existe alguna medida provisional en la espera de la refacción? (Si o No)	¿El proceso asociado tarda lo mismo haya o no haya repuesto? (Si o No)	Clasificación (A, B, C)
24334147	Racor recto unión tubo a tubo	Sí	Sí	No	No	No	Sí	No	B
20025510	Racor recto 8s x 1/4" BSP	Sí	Sí	No	No	No	Sí	No	B
24300930	Laina de lamina	Sí	Sí	No	No	No	Sí	No	B
24242533	Conector recto 3/4" NPT x 3/4" BSP	Sí	Sí	No	No	No	Sí	No	B
24242581	Adaptador recto 1/4" NPT x 1/4" NPT	Sí	Sí	No	No	No	Sí	No	B
24276894	conector 1" NPT/cono 60	Sí	Sí	No	No	No	Sí	No	B
24298670	Racor 8l x 1/4" BSP	Sí	Sí	No	No	No	Sí	No	B
24294631	Racor 16s x 1/2" NPT	Sí	Sí	No	No	No	Sí	No	B
24298152	Racor 16s x 3/8" NPT	Sí	Sí	No	No	No	Sí	No	B
20008761	Tubing 16 mm, a. inox. (6 mts)	Sí	Sí	No	No	No	Sí	No	B
20971395	Manguera 1 1/4" x 1200 mm	Sí	Sí	Sí	No	No	No	No	A
20971396	Manguera 1 1/4" x 1550 mm	Sí	Sí	Sí	No	No	No	No	A

209713 86	Manguera 3/4" x 900 mm	Sí	Sí	Sí	No	No	No	No	A
209713 90	Manguera 3/4" x 900 mm	Sí	Sí	Sí	No	No	No	No	A
209713 91	Manguera 3/4" x 1600 mm	Sí	Sí	Sí	No	No	No	No	A
242413 85	Manguera 19mm x 1000 mm	Sí	Sí	Sí	No	No	No	No	A
242995 09	Válvula de seguridad 7 bar	Sí	Sí	No	No	No	Sí	No	B
209713 88	Manguera 3/4" x 1100 mm	Sí	Sí	Sí	No	No	No	No	A
209713 89	Manguera 3/4" x 2700 mm	Sí	Sí	Sí	No	No	No	No	A
200086 47	Pintura azul 3 litros	No	No	No	No	No	Sí	No	C
242898 98	Caja de refrigeración	Sí	Sí	Sí	No	No	No	No	A
242425 84	Adaptador recto de 1" macho NPT x 1" BSP cono 60° extractora	Sí	Sí	No	No	No	Sí	No	B
242946 31	Racor recto 8l x 1/4 BSP	Sí	Sí	No	No	No	Sí	No	B
200058 01	Tornillo hexagonal M16 x 35 mm acero galvanizado	No	No	No	Sí	Sí	Sí	No	C
242779 25	codo 90° rotativo de 1/4" macho NPT x 8s	Sí	Sí	No	No	No	Sí	No	B
242979 52	Codo 90° métrico 8l x 1/4" macho NPT we0811/4nptc f extractora	Sí	Sí	No	No	No	Sí	No	B
206465 15	Tornillo hexagonal m24x90 din933	No	No	No	Sí	Sí	Sí	No	C
200053 02	Tornillo hexagonal M6 x 20 mm	No	No	No	Sí	Sí	Sí	No	C

200054 84	Tornillo hexagonal m8 x 25 mm	No	No	No	Sí	Sí	Sí	No	C
200051 50	Tornillo Allen 8 x 25 mm.	No	No	No	Sí	Sí	Sí	No	C
200383 34	Tornillo Allen m12x50 paso 1.75	No	No	No	Sí	Sí	Sí	No	C
209073 72	Tornillo hexagonal M12 x 50 mm. paso 1.75 grado 5	No	No	No	Sí	Sí	Sí	No	C
200386 30	Tornillo hexagonal m12x35 mm	No	No	No	Sí	Sí	Sí	No	C
200382 22	Tornillo allen m12x25 mm	No	No	No	Sí	Sí	Sí	No	C
200051 26	Tornillo hexagonal m16x50 mm	No	No	No	Sí	Sí	Sí	No	C
200052 03	Tornillo hexagonal m16x40 mm	No	No	No	Sí	Sí	Sí	No	C
242642 83	Tornillo hexagonal M24 x 160 mm	No	No	No	Sí	Sí	Sí	No	C
200054 28	Tornillo hexagonal M24x90 mm paso 3 grado 5.5	No	No	No	Sí	Sí	Sí	No	C
200057 92	Tornillo hexagonal M24x120 mm paso 3 grado 5.5	No	No	No	Sí	Sí	Sí	No	C
200386 44	Tornillo hexagonal M20x60 paso 2.5 grado 5.5	No	No	No	Sí	Sí	Sí	No	C
200051 58	tornillo hexagonal M20 x 50 mm. paso 2.5 grado 5.5	No	No	No	Sí	Sí	Sí	No	C
200496 19	Arandela plana de 1/2" acero al carbón	No	No	No	Sí	Sí	Sí	No	C
200495 95	Arandela plana M16 acero al carbón	No	No	No	Sí	Sí	Sí	No	C

200495 94	Arandela plana M20 acero al carbón	No	No	No	Sí	Sí	Sí	No	C
200007 47	Arandela plana de 1" acero al carbón	No	No	No	Sí	Sí	Sí	No	C
200496 04	Rondana de presión m12	No	No	No	Sí	Sí	Sí	No	C
242642 92	rondana de presión m16 din 127	No	No	No	Sí	Sí	Sí	No	C
200496 01	Rondana de presión m20	No	No	No	Sí	Sí	Sí	No	C
200496 12	Rondana de presión m24 acero inoxidable 304	No	No	No	Sí	Sí	Sí	No	C

Tabla A.2 Cursograma analítico del método actual para la reparación de un equipo de extracción

Fuente: Elaboración propia

Diagrama Numero:		1	Lugar de estudio:		MÉTODO ACTUAL				
Método Registrado:		Actual	Taller de reparaciones						
Proceso Estudiado:		Reparación a equipos de extracción							
Nombre Analista:		Alejandro Lezama Rosas			Metros:	2573.5	Minutos:	6,440.4	
N° DIAG.	N° ACT.	DESCRIPCIÓN DEL PROCESO	Distancia metros	Tiempo Min.	Símbolos básicos				
									
1	1	Colocar sistema de izaje a base de acuerdo con el peso.		45	•				
1	2	Enganchar sistema de izaje a grúa puente 125.		10	•				
1	3	Traslado de equipos al área mecánica	15.0	30			•		
1	4	Colocar soportes debajo del módulo		20	•				
1	5	Retirar las dos cadenas enganchadas a la base.		10	•				
1	6	Colocar sistema de izaje a motor de acuerdo con el peso de este.		30	•				
1	7	Enganchar sistema de izaje a grúa puente 125 y tensar motor.		10	•				
1	8	Conectar pistola de impacto		10	•				
1	9	Desatornillar motor con pistola de impacto o llaves mixtas.		40	•				
1	10	Generar palanca con barreta o desarmador para desmontar motor de base.		10	•				
1	11	Trasladar motor junto con su ficha correspondiente con la orden de trabajo al área eléctrica con grúa 125 para su revisión y reparación.	45.0	4.5			•		
1	12	Regreso de grúa a zona mecánica	45.0	4.5			•		
1	13	Colocar sistema de izaje a reductor		20	•				
1	14	Enganchar sistema de izaje a grúa puente 125		10	•				
1	15	Retirar seguros del reductor usando pistola de impacto.		40	•				
1	16	Trasladar reductor.	5.0	0.5			•		
1	17	Traslado de grúa a zona de estación temporal	20.0	2			•		
1	18	Retirar mangueras conectadas a las tuberías hidráulicas.		120	•				
1	19	Desatornillar abrazaderas de tuberías hidráulica.		120	•				
1	20	Desatornillar bridas de tuberías hidráulica.		120	•				
1	21	Trasladar desechos.	5.0	15			•		

1	22	Solicitud de personal pailero.		20				•	
1	23	Personal pailero retira guardas.		100	•				
1	24	Limpiar superficie de tubería con carda.		96	•				
1	25	Prueba de líquidos penetrantes en los puntos de unión con soldadura.		96	•				
1	26	Pintar tubería.		120	•				
1	27	Retirar guarda de protección		100	•				
1	28	Traslado de grúa a zona mecánica	20.0	2			•		
1	29	Colocar un polipasto de 10 tonal gancho de la grúa viajera y un pulpo de cadena		60	•				
1	30	Colocar grilletes en los dos orificios inferiores y superiores.		30	•				
1	31	Colocar una eslinga a los grilletes y enganchar a polipasto de 10 toneladas.		30	•				
1	32	Levantar e inclinar el equipo alternado la grúa viajera y polipasto hasta posicionar de forma horizontal.		40			•		
1	33	Una vez colocado el equipo a nivel cero, retirar sistema de izaje.		40	•				
1	34	Eslingar pistón hidráulico.		10	•				
1	35	Retirar perno del clevis.		70	•				
1	36	Tensar y retirar pistón hidráulico con grúa 125.		40	•				
1	37	Revisión a pistón hidráulico.		20		•			
1	38	Trasladar pistón para servicio externo	5.0	4			•		
1	39	Trasladar grúa a zona mecánica	5.0	4			•		
1	40	Colocar sistema de izaje, de acuerdo con el peso del rodillo de transmisión, y enganchar a grúa puente 125.		30	•				
1	41	Retirar tornillería M 24x100 de chumaceras.		50	•				
1	42	Desmontar rodillo superior utilizando con grúa puente 125		25	•				
1	43	Traslado de rodillo en área designada para su revisión	5.0	2			•		
1	44	Traslado de grúa a zona de estación temporal	20.0	2			•		
1	45	Revisión de rodillo		40		•			
1	46	Retirar guardas de protección.		72	•				
1	47	Cortar placas de sujeción de la caja.		72	•				
1	48	Retirar mangueras de refrigeración y válvulas de alivio y desechar.		50	•				
1	49	Trasladar grúa a zona mecánica	20.0	2			•		
1	50	Eslingar caja refrigerada y enganchar a grúa puente 125.		20	•				

1	51	Desmontar caja refrigerada con grúa 125 para su reparación o reemplazo.		25	•				
1	52	Trasladar caja refrigerada a zona designada para su desecho	5.0	4			•		
1	53	Regresar grúa a zona mecánica	5.0	4			•		
1	54	Colocar sistema de izaje, de acuerdo con el peso del rodillo inferior y enganchar a grúa puente 125.		30	•				
1	55	Retirar tornillería M 24x90 de chumaceras.		240	•				
1	56	Desmontar rodillo inferior utilizando con grúa puente 125		50	•				
1	57	Traslado de rodillo en área designada para su revisión	5.0	4			•		
1	58	Traslado de grúa a zona de estación temporal	20.0	2			•		
1	59	Inspección y revisión de rodillo inferior		40		•			
1	60	Trasladar grúa a zona mecánica	20.0	2			•		
1	61	Sujetar base superior con eslingas, de acuerdo con su peso, y enganchar a grúa puente 125		20	•				
1	62	Retirar seguros de pernos.		40	•				
1	63	Retirar pernos para verificar dimensionamiento.		120	•				
1	64	Retirar bujes de bronce.		40	•				
1	65	Tensor y trasladar la base superior a nivel cero para su evaluación superficial.	1.0	0.1			•		
1	66	Traslado de grúa a zona de estación temporal	20.0	2			•		
1	67	Limpieza pernos		30	•				
1	68	Verificar dimensiones de pernos respecto a un plano		30		•			
1	69	Limpieza de base		60	•				
1	70	Verificar daños en base		45		•			
1	71	Trasladar grúa a zona mecánica	20.0	2			•		
1	72	Eslingar brazo soporte o palanca		20	•				
1	73	Retirar seguros de pernos		50	•				
1	74	Retirar pernos		40	•				
1	75	Inspeccionar pernos conforme a dimensiones de su respectivo plano		20		•			
1	76	Trasladar brazo a zona designada	1.5	0.15			•		
1	77	Traslado de grúa a zona de estación temporal	20.0	2			•		
1	78	Cambiar bujes de brazo soporte		60	•				
1	79	Cambio de conexiones de las líneas de lubricación de los pernos		60	•				

1	80	Evaluar dimensiones de los pernos conforme a su respectivo plano		40		•			
1	81	Revisión de la estructura (base inferior)		120		•			
1	82	Revisión de las tomas de línea de agua y medición para comparar con plano		90		•			
1	83	Realizar cambio de conexiones en las tomas de agua		120		•			
1	84	Limpieza y pintura con rodillo o brocha de todas las estructuras		140		•			
1	85	Cortar tubería de acero inoxidable de acuerdo con las longitudes especificadas		90		•			
1	86	Rolar tubería con dobladora de acuerdo a la especificación del plano		90		•			
1	87	Trasladar grúa a zona donde se encuentra brazo soporte o palanca	20.0	2			•		
1	88	Posicionar el brazo sobre la estructura, con ayuda de la grúa puente 125.	1.5	5			•		
1	89	Colocar bujes		72		•			
1	90	Colocar pernos		72		•			
1	91	Fijar brazo		60		•			
1	92	Trasladar sistema de izaje donde se encuentra base superior	1.5	0.15			•		
1	93	Sujetar con eslingas de acuerdo con el peso de la base		20		•			
1	94	Colocar bujes de bronce		30		•			
1	95	Colocar pernos		30		•			
1	96	Colocar seguros y tornillería		30		•			
1	97	Retirar sistema de izaje		20		•			
1	98	Traslado de grúa a rodillo inferior	5.0	0.5			•		
1	99	Colocación de sistema de izaje a rodillo		40		•			
1	100	Traslado de rodillo a estructura	5.0	0.5			•		
1	101	Posicionar y ensamble de rodillo a estructura		45		•			
1	102	Colocación de tornillería		30		•			
1	103	Inspección de alineación de rodillos		60			•		
1	104	Traslado de grúa a la posición de rodillo superior	5.0	0.5			•		
1	105	Colocación de sistema de izaje a rodillo		20		•			
1	106	Traslado de rodillo a estructura	5.0	0.5			•		
1	107	Colocación de tornillería		80		•			
1	108	Retiro de sistema de izaje		15		•			
1	109	Inspección de alineación de rodillos		60			•		

1	110	Traslado de grúa a la posición de caja refrigerada	5.0	0.5			•		
1	111	Colocación de sistema de izaje a caja refrigerada		30	•				
1	112	Traslado de caja refrigerada a estructura	5.0	0.5			•		
1	113	Solicitud de personal pailero.		20				•	
1	114	Aplicación de soldadura a partes de sujeción de la caja		48	•				
1	115	Traslado de grúa a zona de estación temporal	20.0	2			•		
1	116	Colocación de dos válvulas de alivio		50	•				
1	117	Traslado de mangueras y tubería hidráulica hacia zona de reparaciones	3.0	10			•		
1	118	Colocación de mangueras de enfriamiento		60	•				
1	119	Colocación de abrazaderas		60	•				
1	120	Colocación de tuberías hidráulicas a pistón hidráulica		60	•				
1	121	Solicitud de personal de soldadura.		20				•	
1	122	Soldadura a guardas de protección		80	•				
1	123	Conexión de mangueras de enfriamiento		80	•				
1	124	Conexión de líneas de lubricación		120	•				
1	125	Traslado de grúa a posición de los reductores	20.0	2			•		
1	126	Colocación de sistema de izaje a reductores		30	•				
1	127	Traslado de reductores a posición de ensamblaje	5.0	0.5			•		
1	128	Ensamblar reductor a eje de rodillo superior		100	•				
1	129	Conectar líneas de lubricación		240	•				
1	130	Traslado de grúa a zona eléctrica	45.0	4.5			•		
1	131	Colocar sistema de izaje a motor reparado		20	•				
1	132	Traslado de motor a posición de ensamblaje	45.0	4.5			•		
1	133	Posicionar motor y atornillar con pistola de impacto		40	•				
1	134	Retirar sistema de izaje de motor		10	•				
1	135	Traslado de grúa a zona de estación temporal	20.0	2			•		
1	136	Solicitud de personal eléctrico con equipo para pruebas de giro y amperaje		40				•	
1	137	Pruebas de giro y amperaje		85		•			
1	138	Conexión de tubería de agua para pruebas hidrodinámicas		60	•				
1	139	Solicitud de montacargas		20				•	

1	140	Valoración médica		30				•	
1	141	Llenado de checklist de montacargas		10		•			
1	142	Traslado de montacargas hacia lado sur	1000.0	30			•		
1	143	Levantamiento de equipo para pruebas hidráulicas		40	•				
1	144	Traslado hacia taller central	1000.0	40			•		
1	145	Conexiones eléctricas de equipo para pruebas		40					
1	146	Pruebas hidrodinámicas a 130 bares		90		•			
1	147	Aplicación de movimientos a pistón y verificación de desplazamiento		40		•			
1	148	Inspección de distancia de rodillo superior e inferior de acuerdo con especificación del fabricante		45		•			
1	149	Realización de pruebas de lubricación		80		•			
1	150	Llenado de Checklist de entrega junto con padrino		60		•			
1	151	Limpiar bases de la unidad de extracción		120	•				
1	152	Aplicación de grasa a alineación		100	•				
1	153	Traslado de grúa a posición del módulo	20.0	2			•		
1	154	Colocación de elementos de izaje para traslado de equipo de extracción		40	•				
1	155	Traslado de equipo a grúa titan	15.0	30			•		

Tabla A.3 Ítems de verificación para el Check-List de entrega de equipos

Fuente: Elaboración propia

Datos generales	
Responsable:	
Equipo reparado:	
Fecha de entrega:	
Orden de SAP:	
Revisar	
Ítem	Evaluación
1. ¿El motor fue reparado o cambiado?	<input type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/> No aplica
2. ¿El reductor fue reparado o cambiado?	<input type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/> No aplica
3. ¿Cuáles mangueras fueron reparadas o sustituidas?	Describir las mangueras
4. ¿Cuáles tuberías fueron reparadas?	<input type="checkbox"/> Tubería hidráulica <input type="checkbox"/> Tubería sistema de lubricación <input type="checkbox"/> Tubería de acero inoxidable (sistema neumático) <input type="checkbox"/> Otros <input type="checkbox"/> No aplica
5. ¿Cuál de los cilindros o componentes de cilindros fueron reparados o sustituidos?	<input type="checkbox"/> Cilindros hidráulicos <input type="checkbox"/> Cilindros neumáticos <input type="checkbox"/> Cilindro de compuerta de inspección <input type="checkbox"/> Cilindro de puerta de lanza de argón <input type="checkbox"/> Guarda clevis cilindro <input type="checkbox"/> Pernos de sujeción cilindro <input type="checkbox"/> Base inferior cilindro <input type="checkbox"/> Cilindro de apertura <input type="checkbox"/> Cilindro de elevación <input type="checkbox"/> Otro <input type="checkbox"/> No aplica
6. Seleccione las juntas en caso de haberlas reparado o cambiado	<input type="checkbox"/> Juntas rotativas dobles rodillo inferior <input type="checkbox"/> Juntas rotativas dobles rodillo superior <input type="checkbox"/> Otra (Especifique) <input type="checkbox"/> No aplica

7. ¿Cuál de los rodamientos o componentes de rodamientos fueron reparados o sustituidos?	<input type="checkbox"/> Rodamientos brazos <input type="checkbox"/> Rodamientos excéntricos <input type="checkbox"/> Chumacera de pared <input type="checkbox"/> Separadores para rodamientos <input type="checkbox"/> Otro (Especifique) <input type="checkbox"/> No aplica
8. Seleccione que válvulas/reguladores/manómetros fueron reparadas o sustituidas	<input type="checkbox"/> Válvula reguladora de flujo ½" de cilindro neumático <input type="checkbox"/> Electroválvula 5/2 vías aire ½" <input type="checkbox"/> Electroválvula 2/2 vías aire ½" <input type="checkbox"/> Válvula Worcester 1 1/2" <input type="checkbox"/> Válvula Worcester 2" <input type="checkbox"/> Válvula Vayremex 3/4" <input type="checkbox"/> Válvula de alivio de 3/4" roscada <input type="checkbox"/> Válvula de esfera de 2" NPT acero al carbón paso total <input type="checkbox"/> Regulador de presión de aire 3/8" del sistema neumático <input type="checkbox"/> Manómetro 0-6 bar <input type="checkbox"/> Otro (Especifique) <input type="checkbox"/> No aplica
9. ¿Fueron reparados rodillos? (especifique)	<input type="checkbox"/> Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/> No aplica
10. ¿Qué cambios realizó respecto a la caja refrigerada?	<input type="checkbox"/> Cambio o reparación de caja refrigerada <input type="checkbox"/> Purgas de caja refrigerada <input type="checkbox"/> Cambio o reparación de la guarda manguera caja refrigerada <input type="checkbox"/> Aplicación de pintura de alta temperatura a caja refrigerada <input type="checkbox"/> Otro <input type="checkbox"/> No aplica
11. ¿Qué conectores sustituyó?	<input type="checkbox"/> Conector Tee de 2" acero al carbón con cuerda NPT <input type="checkbox"/> Conectores de 2" con cuerda NPT ambos lados <input type="checkbox"/> Conectores rápidos

	<input type="checkbox"/> Codo 90° de acero al carbón con cuerda NPT C-40 <input type="checkbox"/> Codo pipa de 2" de acero al carbón con cuerda NPT C-80 <input type="checkbox"/> Conectores tipo D 2 <input type="checkbox"/> Conectores tipo F de 2"
12. ¿Qué placas se cambiaron o repararon?	<input type="checkbox"/> Placas superiores A36 <input type="checkbox"/> Placas inferiores A36 <input type="checkbox"/> Placas laterales A36 <input type="checkbox"/> Placa base A36 <input type="checkbox"/> Placa unión A36 <input type="checkbox"/> Placa de desgaste A36 <input type="checkbox"/> Otra <input type="checkbox"/> No aplica
13. ¿Qué pruebas se realizaron?	<input type="checkbox"/> Prueba neumática <input type="checkbox"/> Prueba hidrostática <input type="checkbox"/> Prueba motriz <input type="checkbox"/> Prueba de espesores <input type="checkbox"/> Pruebas de movimiento <input type="checkbox"/> Calibración <input type="checkbox"/> Líquidos penetrantes <input type="checkbox"/> Otra (Especifique)
14. ¿El equipo está sin exceso de polvo y/o pintado?	<input type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/> No aplica
15. ¿Se realizaron reparaciones adicionales? (especifique)	<input type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No
16. Observaciones de entrega del equipo	Añadir comentarios

Tabla A.4 Cursograma analítico del método propuesto para la reparación de un equipo de extracción

Fuente: Elaboración propia

Diagrama Numero:		2	Lugar de estudio:		MÉTODO PROPUESTO					
Método Registrado:		Actual	Taller de reparaciones							
Proceso Estudiado:		Reparación a equipos de extracción								
Nombre Analista:		Alejandro Lezama Rosas								Mts: 327.5
N° DIAG.	N° ACT.	DESCRIPCIÓN DEL PROCESO	Distanci a metros	Tiempo Min.	SÍMBOLOS PROCESOS					
										
2	1	Colocar sistema de izaje a base de acuerdo con el peso.		45	•					
2	2	Enganchar sistema de izaje a grúa puente 125.		10	•					
2	3	Traslado de equipos al área mecánica	25.0	35			•			
2	4	Colocar soportes debajo del módulo		20	•					
2	5	Retirar las dos cadenas enganchadas a la base.		10	•					
2	6	Colocar sistema de izaje a motor de acuerdo con el peso de este.		30	•					
2	7	Enganchar sistema de izaje a grúa puente 125 y tensar motor.		10	•					
2	8	Conectar pistola de impacto		10	•					
2	9	Desatornillar motor con pistola de impacto o llaves mixtas.		40	•					
2	10	Generar palanca con barreta o desarmador para desmontar motor de base.		10	•					
2	11	Trasladar motor junto con su ficha correspondiente con la orden de trabajo al área eléctrica con grúa 125 para su revisión y reparación.	35.0	3.5			•			
2	12	Regreso de grúa a zona mecánica	35.0	3.5			•			
2	13	Colocar sistema de izaje a reductor		20	•					
2	14	Enganchar sistema de izaje a grúa puente 125		10	•					
2	15	Retirar seguros del reductor usando pistola de impacto.		40	•					
2	16	Trasladar reductor.	5.0	0.5			•			
2	17	Traslado de grúa a zona de estación temporal	2.0	0.2			•			
2	18	Retirar mangueras conectadas a las tuberías hidráulicas.		120	•					
2	19	Desatornillar abrazaderas de tuberías hidráulica.		120	•					
2	20	Desatornillar bridas de tuberías hidráulica.		120	•					
2	21	Solicitud de personal pailero.		20				•		

2	22	Personal pailero retira guardas.		100	•				
2	23	Limpiar superficie de tubería con carda.		96	•				
2	24	Prueba de líquidos penetrantes en los puntos de unión con soldadura.		96	•				
2	25	Pintar tubería.		120	•				
2	26	Retirar guarda de protección		100	•				
2	27	Traslado de grúa a zona mecánica	5.0	0.5			•		
2	28	Colocar un polipasto de 10 tonal gancho de la grúa viajera y un pulpo de cadena		60	•				
2	29	Colocar grilletes en los dos orificios inferiores y superiores.		30	•				
2	30	Colocar una eslinga a los grilletes y enganchar a polipasto de 10 toneladas.		30	•				
2	31	Levantar e inclinar el equipo alternado la grúa viajera y polipasto hasta posicionar de forma horizontal.		40			•		
2	32	Una vez colocado el equipo a nivel cero, retirar sistema de izaje.		40	•				
2	33	Eslingar pistón hidráulico.		10	•				
2	34	Retirar perno del clevis.		70	•				
2	35	Tensor y retirar pistón hidráulico con grúa 125.		40	•				
2	36	Revisión a pistón hidráulico.		20			•		
2	37	Trasladar pistón para servicio externo	7.0	7			•		
2	38	Trasladar grúa a zona mecánica	7.0	7			•		
2	49	Colocar sistema de izaje, de acuerdo con el peso del rodillo de transmisión, y enganchar a grúa puente 125.		30	•				
2	40	Retirar tornillería M 24x100 de chumaceras.		50	•				
2	41	Desmontar rodillo superior utilizando con grúa puente 125		25	•				
2	42	Traslado de rodillo en área designada para su revisión	5.0	0.5			•		
2	43	Traslado de grúa a zona de estación temporal	2.0	0.2			•		
2	44	Revisión de rodillo		40			•		
2	45	Retirar guardas de protección.		72	•				
2	46	Cortar placas de sujeción de la caja.		72	•				
2	47	Retirar mangueras de refrigeración y válvulas de alivio y desechar.		50	•				
2	48	Trasladar grúa a zona mecánica	5.0	0.5			•		
2	49	Eslingar caja refrigerada y enganchar a grúa puente 125.		20	•				
2	50	Desmontar caja refrigerada con grúa 125 para su reparación o reemplazo.		25	•				
2	51	Trasladar caja refrigerada a zona designada para su desecho	7.0	7			•		

2	52	Regresar grúa a zona mecánica	7.0	7			•		
2	53	Colocar sistema de izaje, de acuerdo con el peso del rodillo inferior y enganchar a grúa puente 125.		30	•				
2	54	Retirar tornillería M 24x90 de chumaceras.		240	•				
2	55	Desmontar rodillo inferior utilizando con grúa puente 125		50	•				
2	56	Traslado de rodillo en área designada para su revisión	5.0	0.5			•		
2	57	Traslado de grúa a zona de estación temporal	2.0	0.2			•		
2	58	Inspección y revisión de rodillo inferior		40		•			
2	59	Trasladar grúa a zona mecánica	5.0	0.5			•		
2	60	Sujetar base superior con eslingas, de acuerdo con su peso, y enganchar a grúa puente 125		20	•				
2	61	Retirar seguros de pernos.		40	•				
2	62	Retirar pernos para verificar dimensionamiento.		120	•				
2	63	Retirar bujes de bronce.		40	•				
2	64	Tensor y trasladar la base superior a nivel cero para su evaluación superficial.	1.0	0.1			•		
2	65	Traslado de grúa a zona de estación temporal	5.0	0.5			•		
2	66	Limpiar pernos		30	•				
2	67	Verificar dimensiones de pernos respecto a un plano		30		•			
2	68	Limpieza de base		60	•				
2	69	Verificar daños en base		45		•			
2	70	Trasladar grúa a zona mecánica	5.0	0.5			•		
2	71	Eslingar brazo soporte o palanca		20	•				
2	72	Retirar seguros de pernos		50	•				
2	73	Retirar pernos		40	•				
2	74	Inspeccionar pernos conforme a dimensiones de su respectivo plano		20		•			
2	75	Trasladar brazo a zona designada	1.5	0.15			•		
2	76	Traslado de grúa a zona de estación temporal	5.0	0.5			•		
2	77	Cambiar bujes de brazo soporte		60	•				
2	78	Cambio de conexiones de las líneas de lubricación de los pernos		60	•				
2	79	Evaluar dimensiones de los pernos conforme a su respectivo plano		40		•			
2	80	Revisión de la estructura (base inferior)		120		•			
2	81	Revisión de las tomas de línea de agua y medición para comparar con plano		90		•			

2	82	Realizar cambio de conexiones en las tomas de agua		120	•				
2	83	Limpieza y pintura con rodillo o brocha de todas las estructuras		140	•				
2	84	Cortar tubería de acero inoxidable de acuerdo con las longitudes especificadas		90	•				
2	85	Rolar tubería con dobladora de acuerdo con la especificación del plano		90	•				
2	86	Trasladar grúa a zona donde se encuentra brazo soporte o palanca	5.0	0.5			•		
2	87	Posicionar el brazo sobre la estructura, con ayuda de la grúa puente 125.	1.5	5			•		
2	88	Colocar bujes		72	•				
2	89	Colocar pernos		72	•				
2	90	Fijar brazo		60	•				
2	91	Trasladar sistema de izaje donde se encuentra base superior	1.5	0.15			•		
2	92	Sujetar con eslingas de acuerdo al peso de la base		20	•				
2	93	Colocar bujes de bronce		30	•				
2	94	Colocar pernos		30	•				
2	95	Colocar seguros y tornillería		30	•				
2	96	Retirar sistema de izaje		20	•				
2	97	Traslado de grúa a rodillo inferior	5.0	0.5			•		
2	98	Colocación de sistema de izaje a rodillo		40	•				
2	99	Traslado de rodillo a estructura	5.0	0.5			•		
2	100	Posicionar y ensamble de rodillo a estructura		45	•				
2	101	Colocación de tornillería		30	•				
2	102	Inspección de alineación de rodillos		60			•		
2	103	Traslado de grúa a la posición de rodillo superior	5.0	0.5			•		
2	104	Colocación de sistema de izaje a rodillo		20	•				
2	105	Traslado de rodillo a estructura	5.0	0.5			•		
2	106	Colocación de tornillería		80	•				
2	107	Retiro de sistema de izaje		15	•				
2	108	Inspección de alineación de rodillos		60			•		
2	109	Traslado de grúa a la posición de caja refrigerada	2.0	0.2			•		
2	110	Colocación de sistema de izaje a caja refrigerada		30	•				
2	111	Traslado de caja refrigerada a estructura	2.0	0.2			•		

2	112	Solicitud de personal pailero.		20				•	
2	113	Aplicación de soldadura a partes de sujeción de la caja		48	•				
2	114	Traslado de grúa a zona de estación temporal	5.0	0.5			•		
2	115	Colocación de dos válvulas de alivio		50	•				
2	116	Traslado de mangueras y tubería hidráulica hacia zona de reparaciones	2.0	0.2			•		
2	117	Colocación de mangueras de enfriamiento		60	•				
2	118	Colocación de abrazaderas		60	•				
2	119	Colocación de tuberías hidráulicas a pistón hidráulica		60	•				
2	120	Solicitud de personal de soldadura.		20				•	
2	121	Soldadura a guardas de protección		80	•				
2	122	Conexión de mangueras de enfriamiento		80	•				
2	123	Conexión de líneas de lubricación		120	•				
2	124	Traslado de grúa a posición de los reductores	2.0	0.2			•		
2	125	Colocación de sistema de izaje a reductores		30	•				
2	126	Traslado de reductores a posición de ensamblaje	5.0	0.5			•		
2	127	Ensamblar reductor a eje de rodillo superior		100	•				
2	128	Conectar líneas de lubricación		240	•				
2	129	Traslado de grúa a zona eléctrica	35.0	3.5			•		
2	130	Colocar sistema de izaje a motor reparado		20	•				
2	131	Traslado de motor a posición de ensamblaje	35.0	3.5			•		
2	132	Posicionar motor y atornillar con pistola de impacto		40	•				
2	133	Retirar sistema de izaje de motor		10	•				
2	134	Traslado de grúa a zona de estación temporal	5.0	0.5			•		
2	135	Solicitud de personal eléctrico con equipo para pruebas de giro y amperaje		40				•	
2	136	Pruebas de giro y amperaje		85		•			
2	137	Conexión de tubería de agua para pruebas hidrodinámicas		60	•				
2	138	Conexiones eléctricas de equipo para pruebas		40					
2	139	Pruebas hidrodinámicas a 130 bares		90		•			
2	140	Aplicación de movimientos a pistón y verificación de desplazamiento		40		•			
2	141	Inspección de distancia de rodillo superior e inferior de acuerdo con especificación del fabricante		45		•			

2	142	Realización de pruebas de lubricación		80		•			
2	143	Llenado de checklist de entrega junto con padrino		60		•			
2	144	Limpiar bases de la unidad de extracción		120		•			
2	145	Aplicación de grasa a alineación		100		•			
2	146	Traslado de grúa a posición del módulo	5.0	0.5			•		
2	147	Colocación de elementos de izaje para traslado de equipo de extracción		40		•			
2	148	Traslado de equipo a grúa titan	25.0	30			•		