ATMIRE

Title	Aplicación de Lean Manufacturing para incrementar la disponibilidad de la línea de chancado en una empresa minera
Item Type	info:eu-repo/semantics/bachelorThesis
Authors	Cardenas Alvaro, Edwin Stuar;Cordova Montes, Jose Luis
Publisher	Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC)
Rights	info:eu-repo/semantics/openAccess
Download date	2026-11-26 21:46:12
Item License	http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/
Link to Item	http://hdl.handle.net/10757/683078

UNIVERSIDAD PERUANA DE CIENCIAS APLICADAS

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

Aplicación de Lean Manufacturing para incrementar la disponibilidad de la línea de chancado en una empresa minera

TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

Para optar el título profesional de Ingeniero Industrial

AUTORES

Cardenas Alvaro, Edwin Stuar	0009-0003-4095-5266
Cordova Montes, Jose Luis	0009-0007-1714-1896

ASESOR

Recuay Uribe, Anibal Erick	0000-0002-7181-3151

Lima, 22 de Agosto de 2024

Dedicatoria

En primer lugar, a Dios, por otorgarnos fuerza y perseverancia en este proceso. A nuestras familias por su comprensión, aliento y amor, gracias a ustedes hemos logrado llegar hasta aquí. A todos los involucrados que han hecho posible culminar este trabajo con el aporte de su conocimiento y sabiduría

Agradecimientos

Queremos expresar nuestra gratitud hacia nuestras familias por su apoyo constante, que se ha convertido en un ejemplo de éxito para nosotros. Ampliamos nuestro agradecimiento a los docentes de la UPC y consultor que fueron fundamentales en la creación y mejora continua de este proyecto.

Resumen

Esta investigación analiza una empresa minera dedicada a la extracción y venta de oro, donde se identificó un problema en la línea de chancado, específicamente en la zaranda vibratoria Telsmith 5X16 JCI ZV007. Este equipo presenta numerosas paradas imprevistas, lo que reduce la capacidad de producción y representa una pérdida de $31,095,540 anuales, equivalente al 17.89% de las ventas totales. La disponibilidad de la zaranda es del 86.3%, menor al 95% de estándares de clase mundial. Los análisis muestran que el tiempo medio entre fallas (MTBF) es de 25.7 horas y el tiempo medio de reparación (MTTR) es de 4 horas, valores atribuidos a la falta de mantenimiento preventivo y planificación adecuada.

Las causas principales de este bajo rendimiento incluyen la ausencia de un mantenimiento preventivo sistemático y demoras en las reparaciones. Como solución, se propone implementar la filosofía Lean Manufacturing, utilizando herramientas de Total Productive Maintenance (TPM) con mantenimiento autónomo y preventivo, el sistema 5S para mejorar el orden y la limpieza y SMED para reducir los tiempos de parada en el mantenimiento de la zaranda. Estas medidas buscan incrementar la disponibilidad de la maquinaria y optimizar la producción en la línea de chancado.

Palabras clave: Mantenimiento Productivo Total; TPM; SMED; 5S; Lean Tools; Minery

Application of Lean Manufacturing to Increase the Availability of the Crushing Line in a Mining Company

Abstract

This research analyzes a mining company dedicated to gold extraction and sales, where an issue was identified in the crushing line, specifically with the Telsmith 5X16 JCI ZV007 vibrating screen. This equipment experiences numerous unplanned stoppages, reducing production capacity and resulting in an annual loss of $31,095,540, equivalent to 17.89% of total sales. The screen's availability is at 86.3%, lower than the 95% world-class standard. Analyses indicate that the mean time between failures (MTBF) is 25.7 hours, and the mean time to repair (MTTR) is 4 hours, values attributed to the lack of preventive maintenance and adequate planning.

The primary causes of this low performance include the absence of systematic preventive maintenance and delays in repairs. As a solution, the implementation of Lean Manufacturing philosophy is proposed, utilizing Total Productive Maintenance (TPM) tools with autonomous and preventive maintenance, the 5S system to improve order and cleanliness, and SMED to reduce downtime during screen maintenance. These measures aim to increase machinery availability and optimize production in the crushing line.

Keywords: Total Productive Maintenance; TPM; SMED; 5S; Lean Tools; Minery.

CAP4_Cárdenas_Córdova_final - REV03 (1).docx

INFORME DE ORIGINALIDAD

10%	9%	0%	5%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	repositorioacademico.upc.edu.pe Fuente de Internet	5%
2	upc.aws.openrepository.com Fuente de Internet	1%
3	Submitted to Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas Trabajo del estudiante	1%
4	Submitted to Universidad Francisco de Vitoria Trabajo del estudiante	<1%
5	www.rumbominero.com Fuente de Internet	<1%
6	Submitted to Universidad Continental Trabajo del estudiante	<1%
7	repositorio.usil.edu.pe Fuente de Internet	<1%
8	www.pwc.pe Fuente de Internet	<1%
9	hdl.handle.net Fuente de Internet	

Tabla de contenido

Capítulo 1 – Antecedentes del proyecto 1

1.1 Antecedentes 1

1.1.1 Antecedentes a Nivel Nacional 1

1.1.2 Antecedentes del sector. 2

1.2 Marco Teórico 3

1.2.1 Lean Manufacturing 3

1.2.2 Mantenimiento Productivo Total (TPM) 4

1.2.3 5S 6

1.2.4 Reducción de los Tiempos de Cambio (SMED) 7

1.2.5 Disponibilidad 8

2 Capítulo 2 – Problemática de la organización 9

2.1 Descripción de la organización. 9

2.2 Identificación del problema. 10

2.2.1 Brecha técnica 11

2.2.2 Impacto económico 11

2.3 Análisis de las causas. 12

2.4 Planteamiento de objetivos. 14

2.4.1 Objetivo general. 14

2.4.2 Objetivos específicos. 14

Capítulo 3: Problemática de la organización 16

3.1 Vinculación de causa con la solución 16

3.2 Diseño detallado de la solución. 16

3.2.1 Implementación de 5S – Tiempo de búsqueda de herramientas 17

3.2.2 Implementación de SMED - Demora en cambio de paneles. 20

3.2.3 Implementación del Mantenimiento Autónomo. 21

3.2.4 Implementación TPM – Mantenimiento preventivo 22

3.3 Diseño de indicadores 25

3.4 Consideraciones para la implementación 26

3.4.1 Presupuesto de la solución 26
3.4.2 Cronograma de desarrollo 27

Capítulo 4: Resultados del proyecto 28

4.1 Validación funcional. 28
4.1.1 Desarrollo de los Flujos Económicos 30
4.2 Evaluación de impactos no económicos. 31
4.2.1 Impacto en la Contaminación visual. 31

5. Conclusiones y recomendaciones 32

Referencias 34

Anexos 38

Anexo 1 - Implementación de las 5S 38
Anexo 2 - Implementación de SMED 51
Anexo 3 - Detalle de actividades a realizar en el mantenimiento autónomo 53

Lista de Tablas

Tabla 1 *Cuadro de disponibilidad en la línea de producción* 11
Tabla 2 Cálculo del impacto económico por la baja disponibilidad. 12
Tabla 3 *Cantidad de eventos por tipo de causa* 13
Tabla 4 Cuadro comparativo de tiempos (min.) actividades actuales – propuestas. 21
Tabla 5 Intervalos de tiempos de lubricación. 22
Tabla 6 Resultados de la implementación de las herramientas LEAN 25
Tabla 7 Resumen de costo para la implementación de herramientas Recursos Humanos . 26
Tabla 8 Resumen de costo de materiales y herramientas para la implementación 26
Tabla 9 Indicadores para la mejora 28
Tabla 10 Resultados de los indicadores 29
Tabla 11 Flujo económico financiero esperado 30
Tabla 12 Tabla de frecuencias de uso de materiales 47
Tabla 13 Lista de actividades externas e internas 51
Tabla 14 Lista de actividades externas e internas - propuesto 52

Lista de Figuras

Figura 1 Ranking de producción en minas de oro. 1
Figura 2 *Ventas por mineral en porcentaje.* 2
Figura 3 Participación de producción de oro por minas. 2
Figura 4 Adaptación actualizada de la casa Toyota 3
Figura 5 Los 08 pilares del TPM 4
Figura 6 Objetivos del Lean Manufacturing 6
Figura 7 Beneficios de las 5S 6
Figura 8 Metodología SMED 7
Figura 9 *Localización geográfica* 9
Figura 10 *Diagrama de proceso de planta concentradora.* 10
Figura 11 *Diagrama de proceso detallado de área de chancado.* 10
Figura 12 *Diagrama de cantidad de paradas anual – entre 2023 y 2024* 11
Figura 13 Cantidad de intervenciones por equipos durante el último año. 12
Figura 14 Disponibilidad del equipo zaranda 5x16. 13
Figura 15 Árbol de problemas. 14
Figura 16 *Árbol de objetivos* 15
Figura 17 *Vinculación de las causas con la solución.* 16
Figura 18 *Modelo de implementación* 16
Figura 19 *Modelo de implementación 5S* 18
Figura 20 Tabla roja de identificación de materiales 19
Figura 21 *Modelo de implementación SMED.* 20
Figura 22 *Implementación de mantenimiento autónomo.* 21
Figura 23 *Implementación de mantenimiento preventivo* 23
Figura 24 *Procedimiento para la implementación del MP* 24
Figura 25 *Cronograma de desarrollo de las herramientas lean implementadas.* 27
Figura 26 *Grafica de la mejora de la disponibilidad en la línea de chancado* 29
Figura 27 Equipo 5S 38
Figura 28 Anuncio de capacitación 5S 40
Figura 29 Zaranda 5’x16’. 41
Figura 30 *Almacén de chancado.* 42
Figura 31 Tabla roja de identificación de materiales 43
Figura 32 Orden y clasificación en almacén de chancado 45

Figura 33 Ordenamiento de herramientas 46
Figura 34 Estante de materiales para Zaranda 5x16..... 48
Figura 35 Afiche de 5S..... 50
Figura 36 Carteles de uso obligatorio de EPP 50
Figura 37 Catilla de mantenimiento preventivo de la zaranda 5 x 16 54
Figura 38 Bastidor Zaranda 5 x 16’..... 55

Capítulo 1 – Antecedentes del proyecto

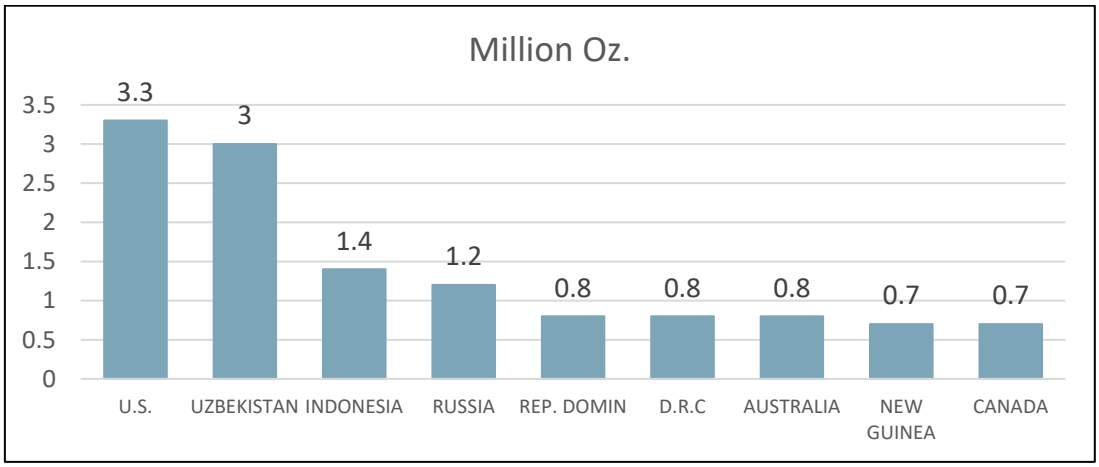
1.1 Antecedentes

La minería de oro es una de las principales fuentes de ingresos para el Perú. Genera empleo directo e indirecto, contribuye al producto bruto interno (PBI) y es una de las mayores fuentes de divisas a través de las exportaciones.

De acuerdo con lo publicado por (Takeshi Chacon, 2022) las 10 minas de oro más grandes están ubicadas en nueve países diferentes de América del Norte, Oceanía, África y Asia. Juntos, representaron alrededor de 13 millones de onzas o el 12% de la producción mundial de oro en el 2021.

Figura 1

Ranking de producción en minas de oro.



Nota. Adaptado de "título de la publicación", por Takeshi Chacón, 2022

Según (Daniel Salazar Castellanos, 2024), "El precio del oro viene subiendo por ser un activo refugio, lo que quiere decir que en momentos de alta incertidumbre se considera que puede perder menos valor que otros activos".

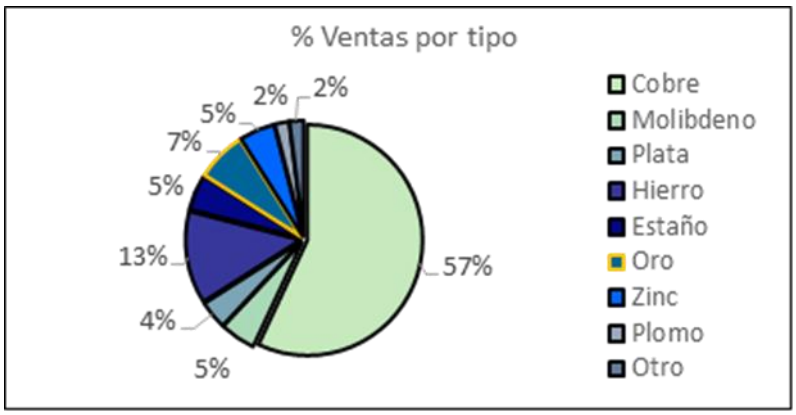
1.1.1 *Antecedentes a Nivel Nacional*

Según (Andries Rossouw, s/f) las ventas de las empresas mineras top en el Perú experimentaron una disminución del 1.5% en relación con el año anterior. Esta disminución principalmente se debe a variaciones en la cotización de precios de Oro US$/Oz (+7.9%),

Plata US$/Oz (+7.7%), Cobre US$/lb (-3.6%), Plomo US%/lb (-0.6%), Estaño US$/lb (-16.8%), Hierro US$/lb (-0.3%) y Molibdeno US$/lb (+30.6%).

Figura 2

Ventas por mineral en porcentaje.



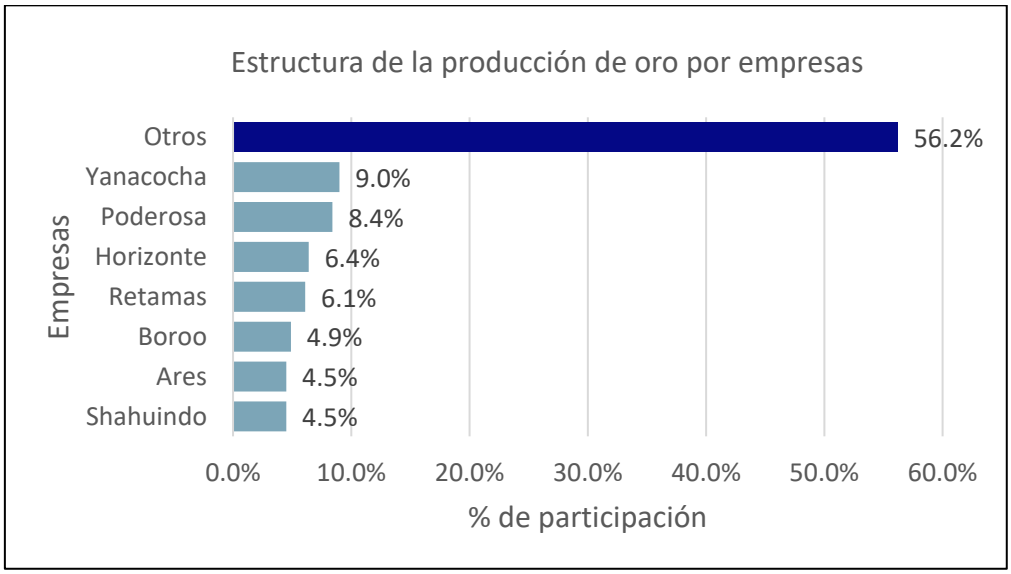
Nota. Adaptado de "preparándonos para el impacto", por (Andries Rossouw, 2023). (https://www.pwc.pe/es/esp-pwc-global-mine-2024-capitulo-peruano.pdf)

1.1.2 *Antecedentes del sector.*

Según lo menciona (Gómez et al., 2021) la producción de oro en el Perú ha tenido el mayor crecimiento, con un equivalente a 2.56% entre los años 1980 y 2000.

Figura 3

Participación de producción de oro por minas.



Nota. Elaborado a partir de "2024: estructura de la producción de oro por empresas, enero abril", por Gómez et al., 2021. (https://www.rumbominero.com/peru/noticias/mineria/produccion-nacional-de-oro-en-abril-con-yanacocha-lider/)

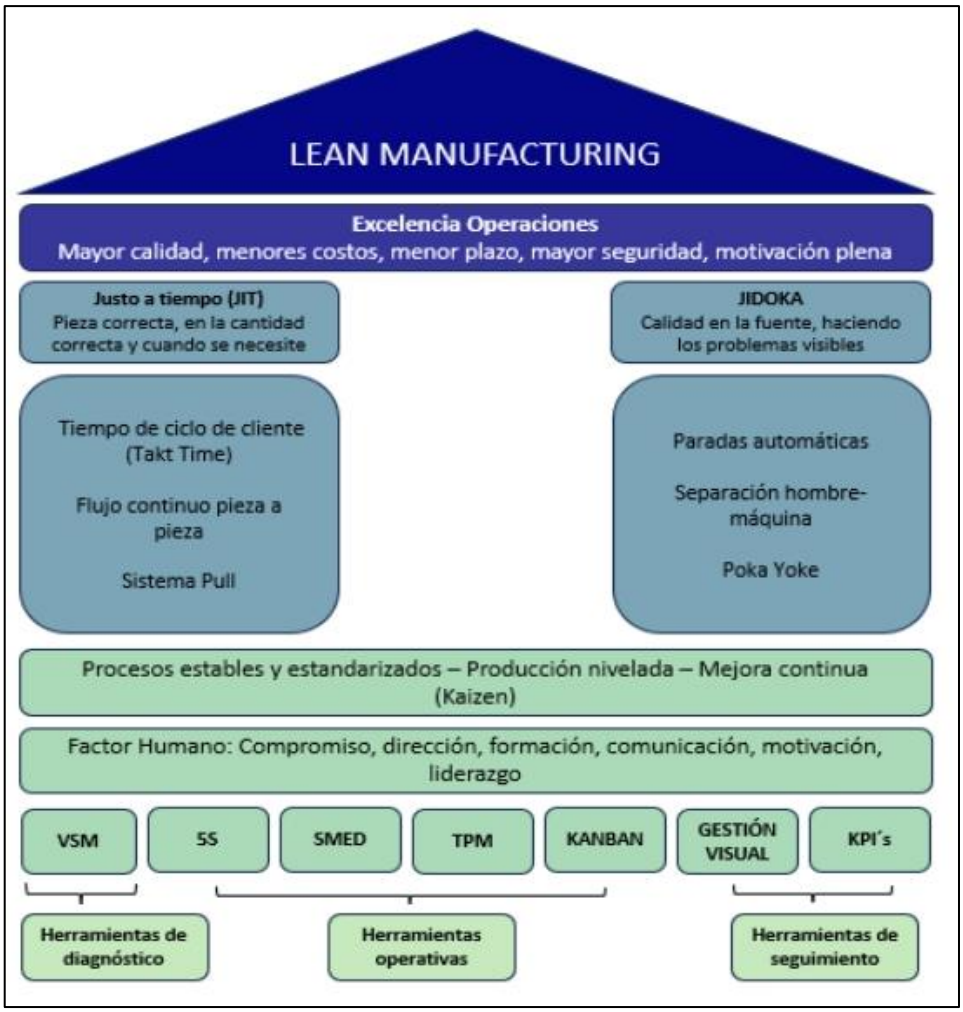
1.2 Marco Teórico

1.2.1 *Lean Manufacturing*

El autor (Socconini, 2019)describe al Lean Manufacturing como un proceso continuo y sistemático de identificación y eliminación de desperdicios o redundancias, entendiendo como redundancia cualquier actividad que no agrega valor a un proceso, pero sí representa un costo y trabajo.

Figura 4

Adaptación actualizada de la casa Toyota



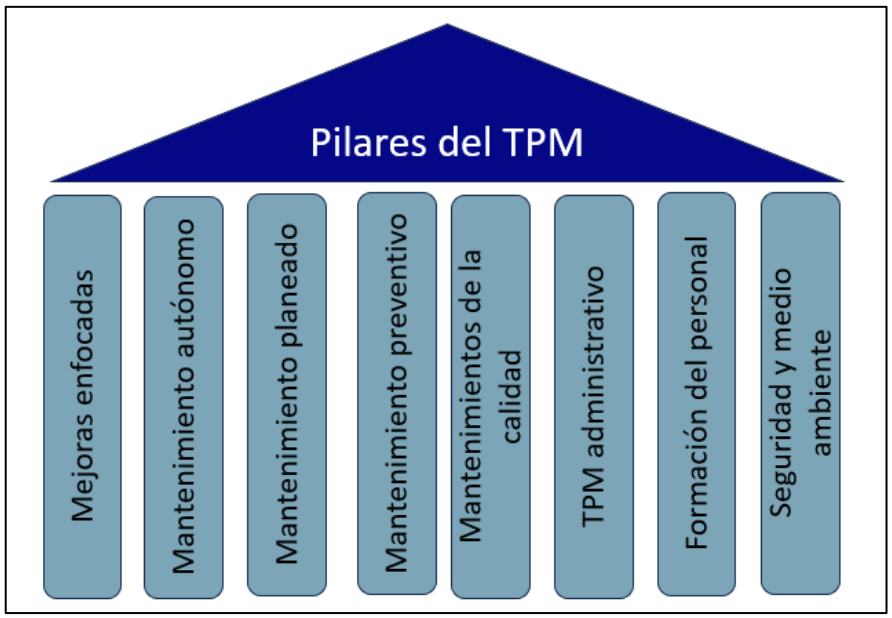
Nota. Elaborado a partir de "Adaptación de la casa toyota", Hernández y Vizán, 2013.

1.2.2 *Mantenimiento Productivo Total (TPM)*

Se considera como un paradigma de la gestión en sistemas productivos, para el autor (Madariaga, 2013) "Las herramientas del Lean Manufacturing no comparten el principal indicador que utiliza el TPM, la Efectividad Global de Equipos (OEE), pese a ello, se imponen sus metodologías para obtener la estabilidad de las maquinarias". El TPM inició en Japón en la década de los setenta, la empresa japonesa fue la pionera en obtener el certificado TPM otorgado por Japan Insitute of Plant Engineers (JIPE). Esta herramienta tiene como objetivo principal maximizar el OEE y optimizar los costos que involucran durante todo el ciclo de vida, por lo cual compromete a todas las áreas de una organización: Mantenimiento, ingeniería, producción, compras, calidad entre otros.

Figura 5

Los 08 pilares del TPM



Nota. Adaptado de "guía sobre el sistema de mantenimiento productivo total", (Oficina General de Planeamiento y Presupuesto - OGPP, 2024)

Objetivos del Lean Manufacturing

Según (María Chavarry, 2020) indica que los principales objetivos del Lean Manufacturing son:

- Eliminación de desperdicios: Uno de los pilares principales del Lean es la identificación y eliminación de las actividades, procesos o recursos que sumen valor al producto final

o servicio. Estos desperdicios pueden ser de diferentes tipos, como producción, tiempo de espera, transporte innecesario y defectos en los productos. El principal objetivo es aumentar la eficiencia al reducir o eliminar estos desperdicios.

- Mejora continua: El Lean Manufacturing promueve la mentalidad de mejora constante, donde los procesos se revisan constantemente para identificar oportunidades de optimización. Esta mejora continua se logra a través de métodos como el ciclo PDCA (Plan-Do-Check-Act) y el Kaizen, que fomentan la revisión y ajuste constantes de los procesos.

- Flexibilidad y capacidad de respuesta: busca obtener sistemas de producción flexibles que puedan adaptarse rápidamente a cambios en la demanda del cliente o en las condiciones del mercado. La flexibilidad permite a las empresas responder de manera ágil a los cambios.

- Calidad total: eliminar los desperdicios y optimizar los procesos, se reduce la posibilidad de errores y defectos.

- Reducción de tiempos de ciclo: se centra en reducir los tiempos necesarios para completar cada etapa del proceso, desde que se genera el pedido hasta la entrega del producto terminado al cliente. Esto permite que los productos lleguen al mercado más rápidamente y mejora la capacidad de la empresa para responder a las demandas cambiantes del mercado.

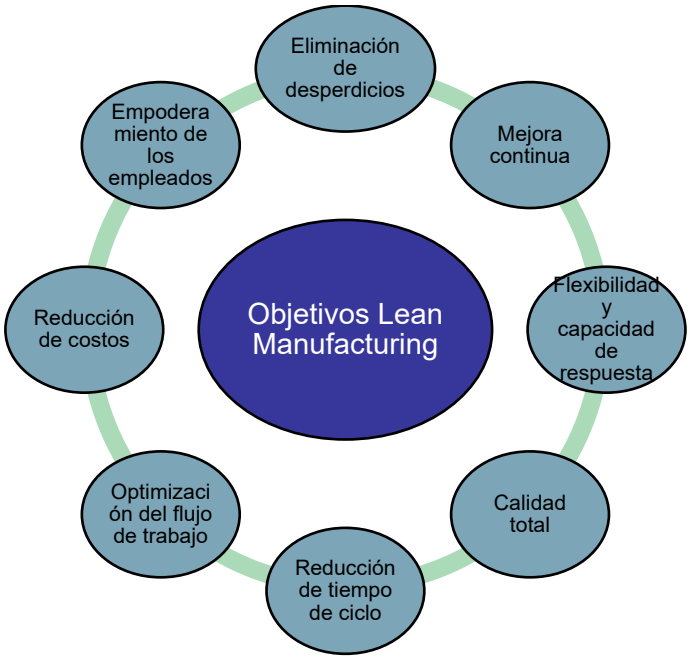
- Optimización del flujo de trabajo: busca crear flujos de trabajo más eficientes y suaves, eliminando cuellos de botella y retrasos. Esto se logra a través de la estandarización de procesos.

- Reducción de costos: Al reducir los desperdicios y optimizar los procesos, el Lean Manufacturing tiende a disminuir los costos operativos y de producción, lo que mejora las ganancias de la empresa.

- Empoderamiento de los empleados: fomenta la participación y el compromiso de los empleados en mejorar los procesos. Los trabajadores son alentados a identificar problemas, proponer soluciones y tomar decisiones en sus áreas de responsabilidad.

Figura 6

Objetivos del Lean Manufacturing

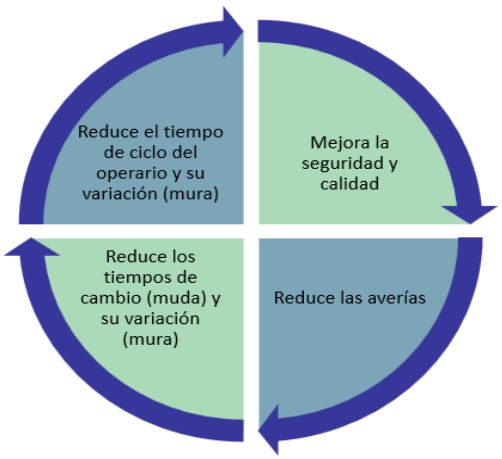


1.2.3 *5S*

El autor (Madariaga, 2013)dice que el significado de "cinco S" proviene de las cinco palabras japonesas seiri (separar), seiton (orden), seiso (limpieza), seiketsu (control visual) y shitsuke (disciplina). Es una técnica de gestión Lean que se centra en la organización y el mantenimiento de un entorno de trabajo limpio y eficiente. En la figura 11 se observa los beneficios que trae esta herramienta.

Figura 7

Beneficios de las 5S



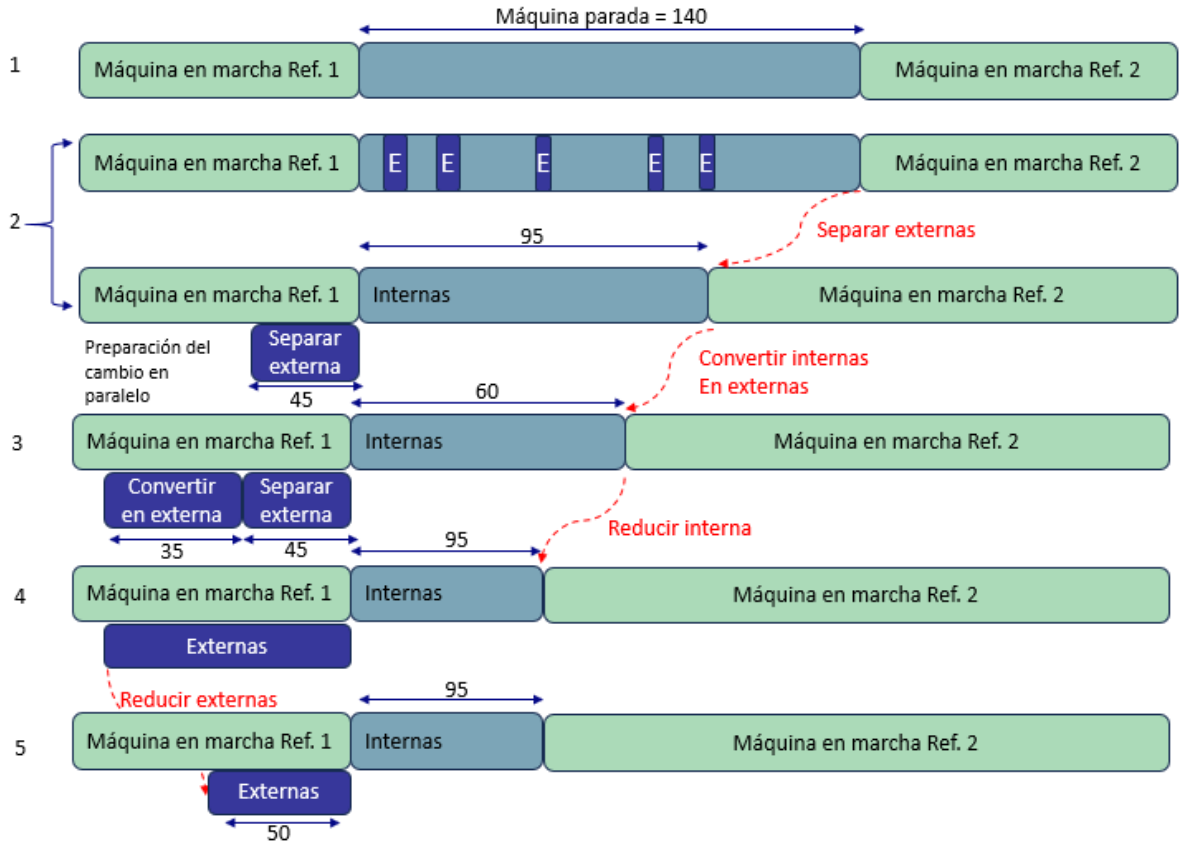
1.2.4 *Reducción de los Tiempos de Cambio (SMED)*

Los tiempos en la línea de producción y la variabilidad de presentaciones de los productos en organizaciones provocan que, tener una fabricación veloz y los tiempos de cambio de una presentación a otra dentro de una misma línea de fabricación sea un elemento potencial, ya sea en el aspecto financiero y productivo.

De acuerdo con (Junior et al., 2022) SMED tiene como propósito realizar tiempos de configuración en menos de diez minutos. La solución al tiempo de cambio rápido en la industria manufacturera lleva consigo la precisión de realizar modificaciones y ajustes en el mínimo tiempo posible, la base del SMED consiste en un cambio veloz de componentes o procesos a fin de obtener un producto de calidad y aumentando la productividad.

Figura 8

Metodología SMED



Nota: Adaptado de (Madariaga Neto, s/f)

1.2.5 *Disponibilidad*

Se trata del tiempo perdido por paradas de las maquinas por averías, esperas y cambios de modelos. En las siguientes líneas se detallarán los indicadores utilizados en la gestión del mantenimiento.

MTBF *(*Mean Time Between Failures) se traduce como "Tiempo Promedio entre Fallas" en español. Es una métrica utilizada en la gestión de mantenimiento y la ingeniería para evaluar la confiabilidad de un sistema, equipo o componente. MTBF se refiere al tiempo promedio que transcurre entre dos fallas sucesivas de un componente.

El cálculo básico del MTBF es:

$$MTBF = \frac{Tiempo\ total\ disponible - Tiempo\ de\ inactivdad}{Número\ de\ fallas}$$

El MTBF se expresa generalmente en la misma unidad de tiempo que se utilizó para el Tiempo Total de Operación.

MTTR Significa (Mean Time To Repair) en inglés, se traduce como "Tiempo Promedio de Reparación" en español. Esta métrica se utiliza para evaluar la eficiencia y la rapidez del proceso de reparación de un sistema, equipo o componente después de que ha ocurrido una falla. El MTTR se calcula de la siguiente manera:

Donde:

$$MTTR = \frac{Tiempo\ con\ el\ equipo\ en\ falla}{Número\ de\ paradas}$$

Tiempo Total de Tiempo de Reparación es el resultado de sumar todos los tiempos que tomó reparar el equipo o componente cada vez que ocurrió una falla. Puede expresarse en horas, minutos, días, etc.

La disponibilidad entonces es el tiempo que la máquina está operativa y lista para ser usada en la producción, se calcula de la siguiente manera:

$$Disponibilidad = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR}$$

2 Capítulo 2 – Problemática de la organización

2.1 Descripción de la organización

La empresa minera es una de las principales empresas de Perú, especializada en la extracción y procesamiento de oro, la compañía ha consolidado su posición como uno de los productores de oro más importantes del país, contribuyendo significativamente a la economía peruana. En el 2023 la minería contribuyo con el PBI en 10,4% Oficina General de Planeamiento y Presupuesto - OGPP (2024)

Figura 9

Localización geográfica



Nota. La información fue extraída de una fuente privada la misma que es consecuencia de la recopilación y análisis de la empresa de estudio. De “TDR visita técnica” por CMH, 2023.

La empresa se ubica en Pataz, en la sierra de Trujillo.

Actividades Principales:

Extracción de Oro: La empresa se dedica principalmente a la extracción de oro en sus unidades mineras. Sus operaciones se centran en la minería subterránea, utilizando tecnologías avanzadas para maximizar la eficiencia y minimizar el impacto ambiental.

Procesamiento de Minerales: La empresa cuenta con plantas de procesamiento donde el mineral extraído es sometido a procesos de trituración, molienda y lixiviación para recuperar el oro. Este proceso es vital para convertir el mineral bruto en un producto comercializable.

Seguridad y Salud Ocupacional: La seguridad de sus empleados es una prioridad. La empresa sigue estrictos protocolos de seguridad y salud ocupacional para proteger a sus trabajadores, promoviendo una cultura de trabajo seguro en todas sus operaciones.

Impacto Económico: Con una producción significativa de oro, la empresa juega un papel crucial en la economía minera de Perú. Sus operaciones generan empleo directo e indirecto y contribuyen al desarrollo económico de las comunidades aledañas a sus minas.

Figura 10

Diagrama de proceso de planta concentradora.

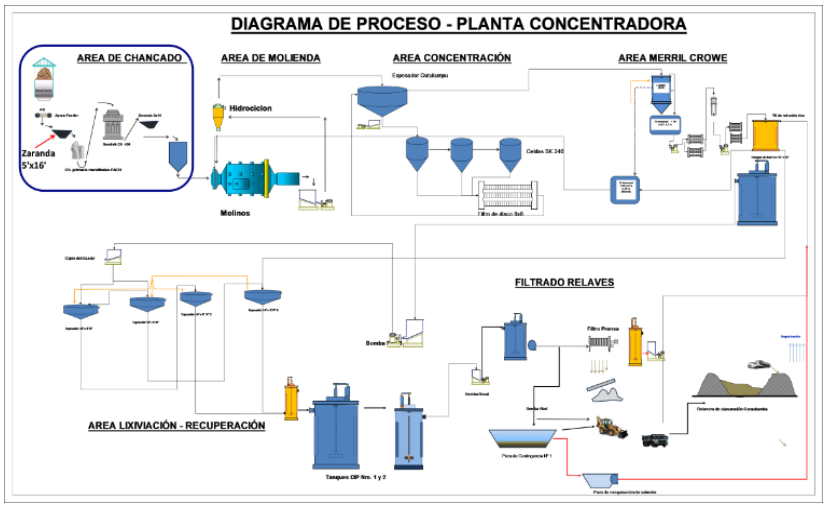
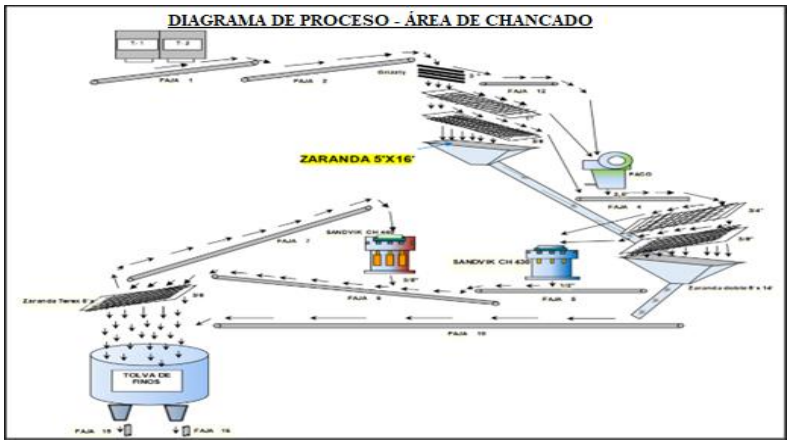


Figura 11

Diagrama de proceso detallado de área de chancado.



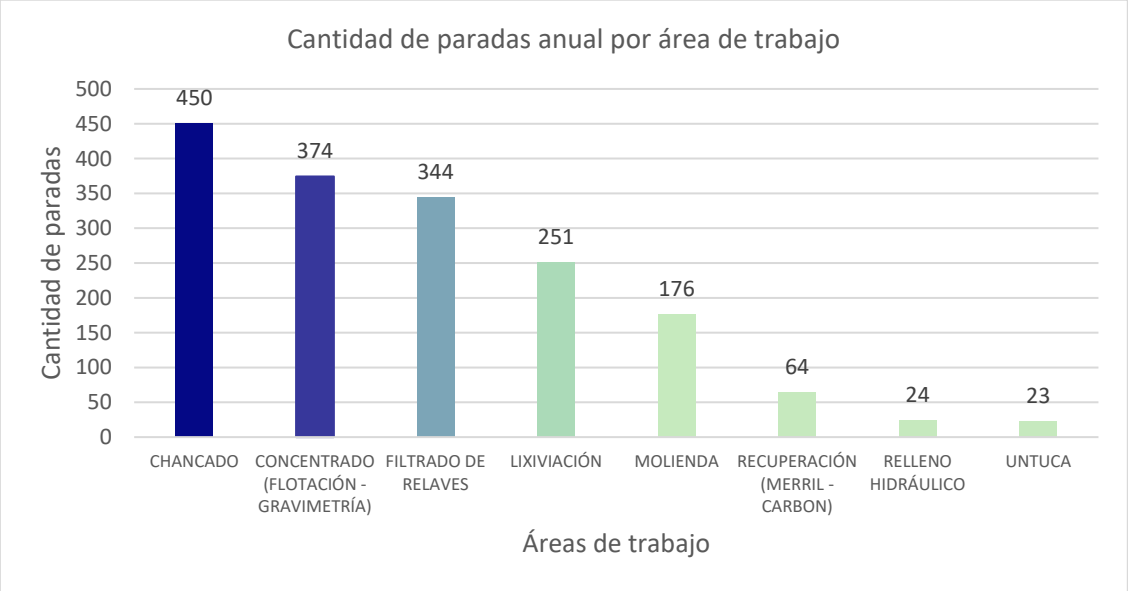
2.2 Identificación del problema.

La zaranda vibratoria 5’x16’, es un equipo crítico en el área de chancado, provoca interrupciones constantes, impactando negativamente toda la operación. Al tener una

disponibilidad baja, su mal funcionamiento afecta de manera crítica el rendimiento y la producción de la planta concentradora.

Figura 12

Diagrama de cantidad de paradas anual – entre 2023 y 2024



2.2.1 *Brecha técnica*

De varios artículos leídos en la industria minera, el valor de disponibilidad referenciado por el autor (Ondra, 2022a) es de 95%, considerando ello se utilizará como referencia para calcular la brecha técnica tal como se contempla en la tabla 1.

Tabla 1

Cuadro de disponibilidad en la línea de producción

Parámetros	Valor del sector minero	Valor real de Minera C.M.H.	Diferencia
Disponibilidad de línea de chancado	95.0%	86.3%	-8.7%

2.2.2 *Impacto económico*

Para tener en cuenta el impacto económico por la baja disponibilidad de la línea de chancado, se ha evaluado el nivel de producción de toda la línea, y se ha realizado el análisis de cómo ha sido la tendencia de cada uno durante el periodo 2023. En este sentido, la disminución en la disponibilidad de la línea de chancado se debió a muchos factores como se verán más adelante.

Tabla 2

Cálculo del impacto económico por la baja disponibilidad.

Proceso	Oz Oro No producido por año	Precio Oz	Pérdida anual	Venta anual	Impacto económico
Línea de chancado	15 318	$ 2 030	$31 095 540	$173 799 236	17.89%

Reducir este margen hará que la empresa sea más competitiva y logre mejorar sus márgenes de utilidad, a continuación, la representación del impacto.

2.3 Análisis de las causas.

El siguiente análisis se muestra la cantidad de intervenciones por cada equipo dentro de la línea de chancado, con esta información se realizará un Pareto para determinar los equipos con mayor intervención durante el año.

Figura 13

Cantidad de intervenciones por equipos durante el último año.

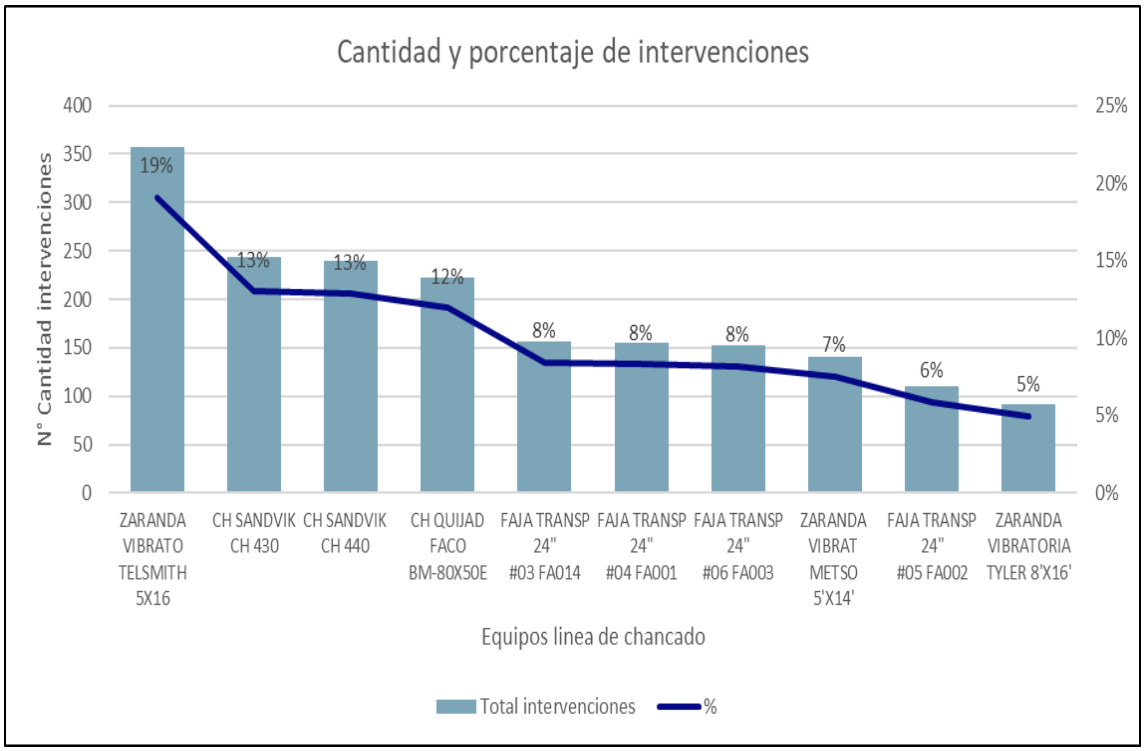
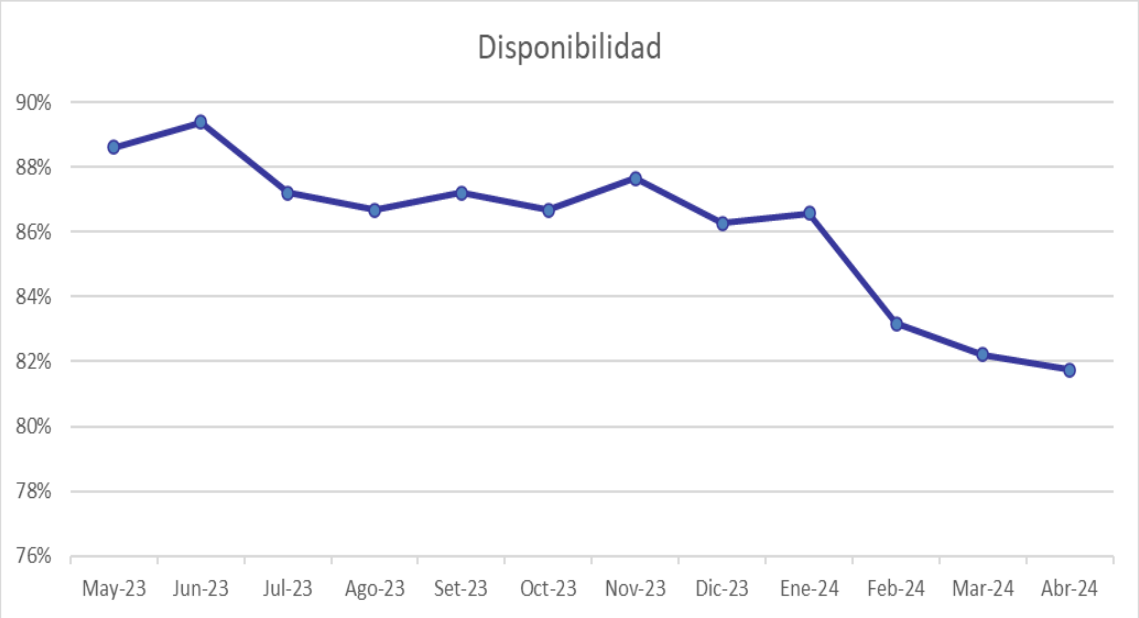


Figura 14

Disponibilidad del equipo zaranda 5x16.



Analizando las causas relevantes en producción los problemas generados por el equipo zaranda vibratoria 5'x16' presenta mayores intervenciones.

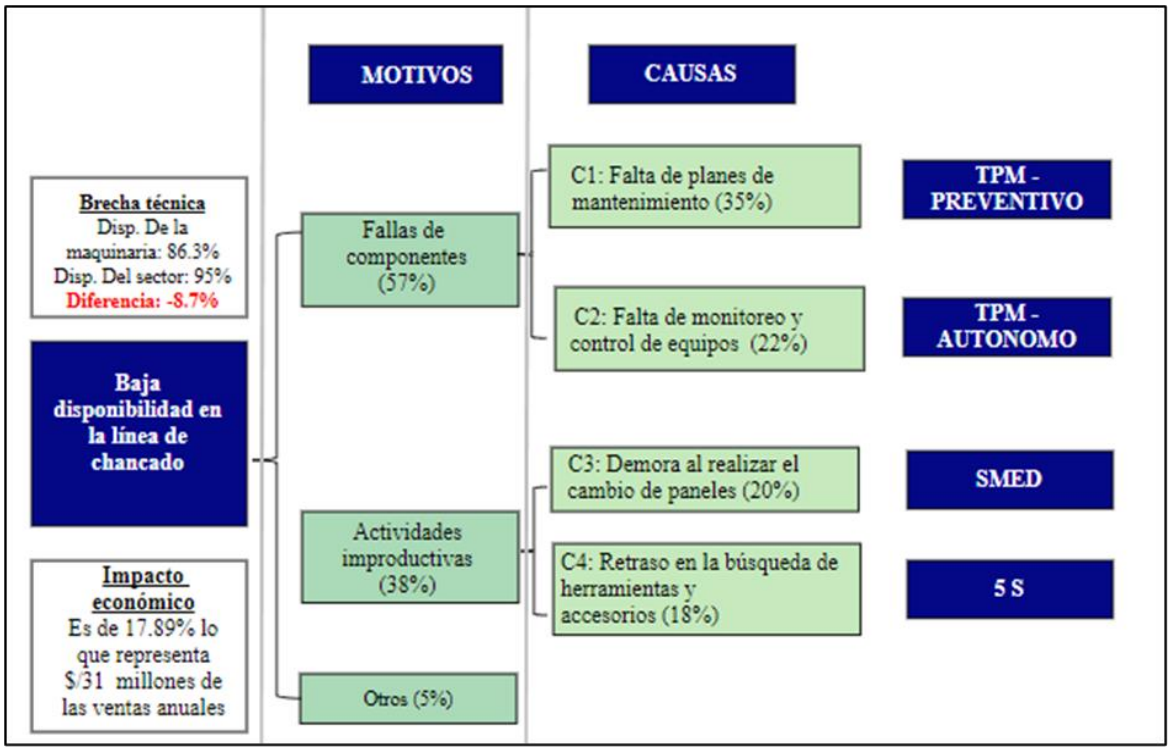
Tabla 3

Cantidad de eventos por tipo de causa

Item	Causa detallada	Asociada a	Cantidad incidencias	Porcentaje
1	Demoras por realizar cambio de panel.	Causa 3	64	20%
2	Retraso por búsqueda de herramientas.	Causa 4	58	18%
3	Bastidores dañados.	Causa 1	56	17%
4	Falta de Limpieza.	Causa 2	41	13%
5	Desgaste anormal de las platinas.	Causa 1	38	12%
6	Falla por lubricación.	Causa 2	29	09%
7	Rotura de fajas.	Causa 1	20	06%
8	Otros.	Otros	18	05%
Total			324	100%

Figura 15

Árbol de problemas.



2.4 Planteamiento de objetivos.

2.4.1 *Objetivo general.*

Incrementar la disponibilidad de la línea de chancado con la implementación de herramientas clave de Lean Manufacturing como SMED para reducir tiempos de cambio, 5S para optimizar el orden y la limpieza en áreas de trabajo, y TPM en Enfoques de mantenimiento preventivo y autónomo. Estas estrategias integradas buscan reducir interrupciones y mejorar la eficiencia operativa, permitiendo así maximizar la disponibilidad del equipo y minimizar los tiempos de inactividad en el proceso de chancado.

2.4.2 *Objetivos específicos.*

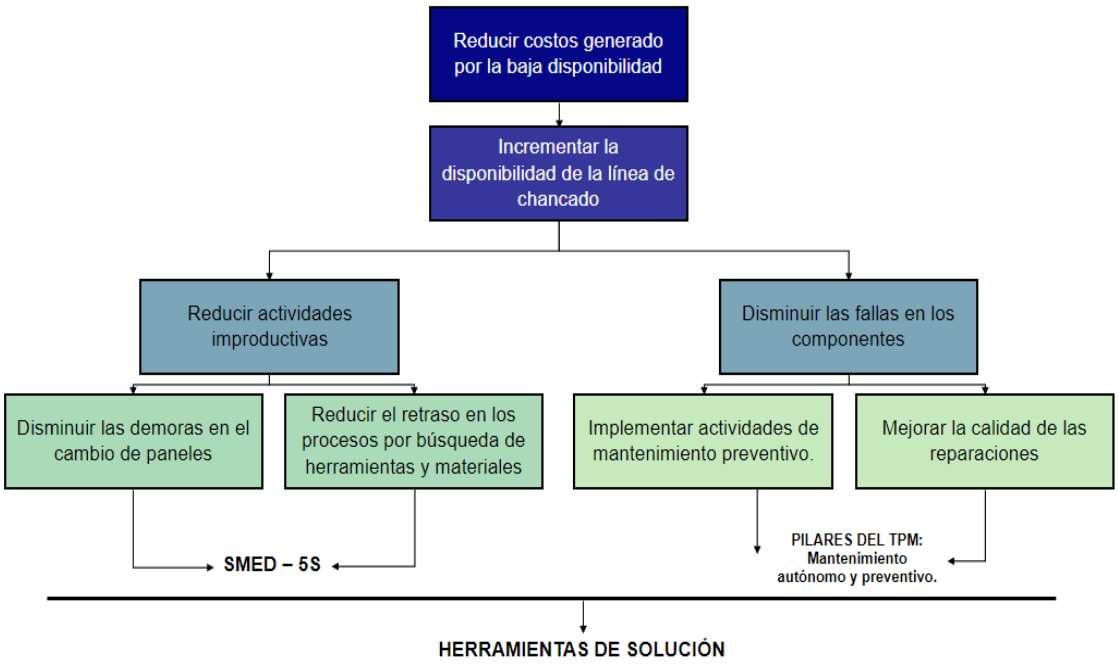
En este estudio, se examinó la problemática de la disminución de la disponibilidad la línea de chancado en la etapa de producción y se realizó el árbol de problemas para obtener una visibilidad simplificada, específica y secuencial de cada motivo, causa y contramedida de esta. Se identificaron varios aspectos problemáticos. En primer lugar, se identificó un

incremento en las paradas debido a la falta de planificación del mantenimiento preventivo en la línea de chancado, se observó que el área de mantenimiento de planta no tiene implementado esta herramienta pilar del TPM, y por el contrario está enfocado en realizar mantenimientos reactivos. Por último, este escenario conduce a un aumento en la intervención de equipos y a una disminución en la disponibilidad de toda la línea, generando pérdidas de producción.

En segundo lugar, tenemos los tiempos elevados al realizar el cambio de paneles, es una tarea repetitiva que no tiene un tiempo estándar definido, los paneles tienden a salirse del bastidor y así mismo existe falta de las herramientas adecuadas; las herramientas y equipos que utilizan no están distribuidos de manera ordenada lo que tarda al operario en la búsqueda, y esto se traduce en mayor tiempo improductivo en dichos cambios de paneles.

Figura 16

Árbol de objetivos



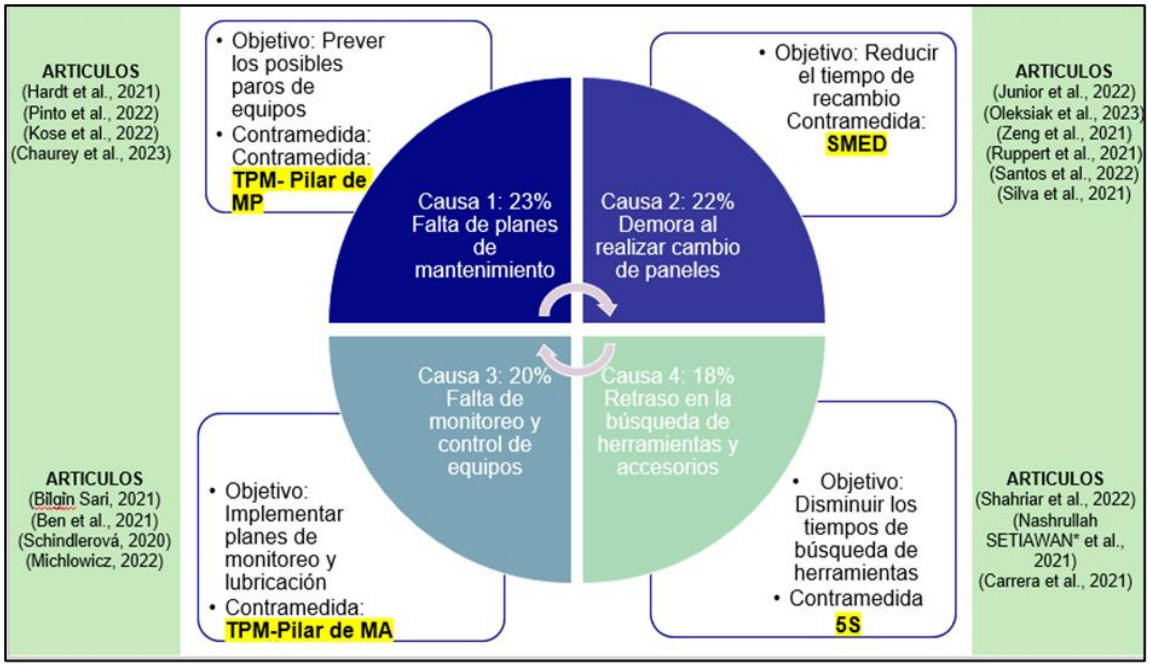
Capítulo 3: Problemática de la organización

3.1 Vinculación de causa con la solución

Para abordar la demora al realizar los cambios de paneles se empleará la herramienta de solución SMED, que nos permitirá analizar las actividades relacionadas con la finalidad de reducir los tiempos de recambio y por último la causa de retraso en la búsqueda de herramientas y accesorios lo trabajaremos con la herramienta 5S.

Figura 17

Vinculación de las causas con la solución.

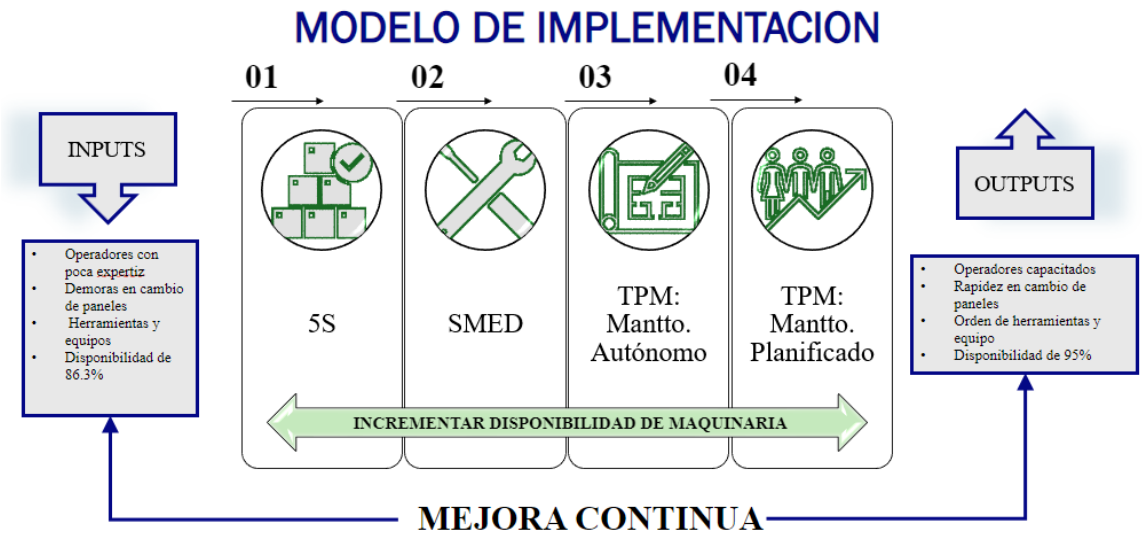


3.2 Diseño detallado de la solución.

La propuesta en consiste en la integración de herramientas de solución clave, que son las 5S, el SMED y los pilares del TPM, específicamente el MA y preventivo. Estas herramientas se aplicarán de manera secuencial y coordinada para abordar los desafíos identificados en la investigación.

Figura 18

Modelo de implementación



Adaptado de "Impacto de SMED y TPM en la Efectividad General de Equipos" por (Ondra, 2022b), Journal of Competitiveness & "Implementatión de 5S en la industria de manufactura plástica: Un caso de estudio" por (Shahriar et al., 2022), Cleaner Engineering and Technology.

3.2.1 *Implementación de 5S – Tiempo de búsqueda de herramientas*

La implementación de la metodología 5S comprende el desarrollo de las siguientes fases: Clasificar (Seiri), Ordenar (Seiton), Limpiar (Seiso), Estandarizar (Seiketsu) y Sostener (Shitsuke). La empresa requiere para implementar con éxito esta metodología el compromiso de la alta dirección, capacitación constante sobre la metodología 5S a todo el personal, promover la participación activa de cada integrante del equipo de trabajo y realizar una revisión constante de los avances.

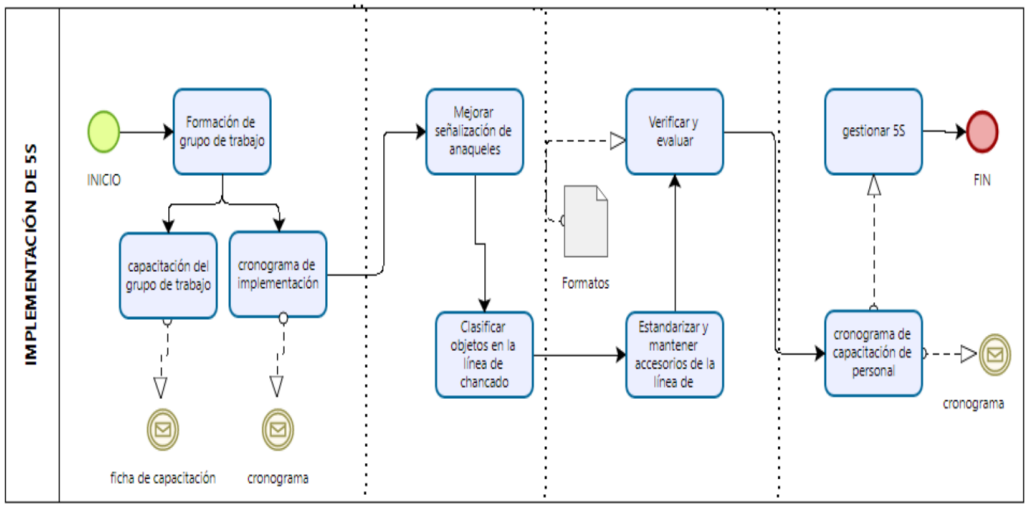
Tabla 4

Cuadro comparativo de tiempos (min.) actividades actuales – propuestas.

Descripción	Actual	Proyectado
Tiempo promedio por búsqueda de herramientas	498	246

Figura 19

Modelo de implementación 5S



Fase 1 - Planificar

La primera etapa de la implementación de 5S, se centrará en la formación del equipo de trabajo, inicialmente este equipo estará formado por personal de producción.

Formación De Equipos 5S

El equipo 5S estará conformado por el que está relacionado de manera directa con el proceso de producción (Gerente de operaciones, jefe de operaciones, supervisión de mantenimiento, supervisor de producción).

Fase 2 – Hacer

Esta etapa también conocida como la de implementación, se describen las actividades que se ejecutaran durante el proceso de implementación.

Identificación del área de trabajo

En primera instancia, se debe proceder a reconocer el área de trabajo en el que se desarrollan las actividades de zaranda, con ello poder identificar en campo donde se llevará la implementación.

Clasificación De Objetos

Para la ejecución y supervisión del correcto cumplimiento de esta actividad estará a cargo el supervisor de mantenimiento, se encargará de realizar la clasificación inicial de los

objetos dentro de planta. La actividad principal es de clasificar y agrupar los objetos y componentes que no sean de utilidad para el proceso

Figura 20

Tabla roja de identificación de materiales

METODOLOGÍA DE LAS 5S - SEIRI						
TARJETA ROJA						
Fecha de Identificación	23/08/2023		Tarjeta N°	1		
Nombre del artículo	Cajas de madera					
Responsable	Ricardo					
Área	Producción					
Cantidad	3					
Acción	Desechar					
Observaciones de la Identificación	Cajas que vinieron por la compra de materiales					
Categoría						
Materia Prima	X		Limpieza			
Equipo o Mobiliario			Producto en Proceso			
Papeleria			Desperdicios / Basura			
Herramientas			Cajas / Contenedores			
Maquinaria			Otros			
Producto Terminado						
Objetos Personales						
Motivo						
No se necesita	X		Material de Desperdicio			
Defectuoso			Contaminante			
No se necesita pronto			Otros			
Uso Desconocido						
Forma de Despacho						
Retirar como desperdicio / basura	X		Reubicar en almacen			
Vender			Otros			
Reubicar en otra área						
Fecha de Despacho	1/09/2023					
Observaciones del Despacho	Se debe agrupar varios elementos para realizar el despacho					

Fase 3 – Verificar

En esta fase se procederá a verificar el resultado de cumplimiento de la implementación de la filosofía 5S.

Estandarizar Y Mantener

En este punto se procederá a verificar la eficiencia de la aplicación de las primeras 3S, para ello es necesario realizar evaluaciones periódicas, guiándonos de una lista de evaluación previamente elaborado por el equipo de trabajo. Según el puntaje que se obtenga el equipo deberá tomar acciones para reforzar los puntos que están con un nivel bajo de eficiencia. Esta evaluación se deberá realizar sin previo aviso para que sea lo más objetivo posible y se pueda evidencia el verdadero nivel de compromiso.

Fase 4 - Actuar

Verificar

Esta última etapa es de suma importancia ya que permite asegurar la continuidad de la ampliación de la herramienta de solución 5S y conlleva a la mejora continua.

Al inicio de la gestión de implementación de esta filosofía 5S se realizarán auditorías internas hasta lograr que los colaboradores se familiaricen y se cree el hábito. Una vez se logre la implementación se deben realizar auditorías externas para tener una evaluación real y que otorgue observaciones que permitan realizar mejoras.

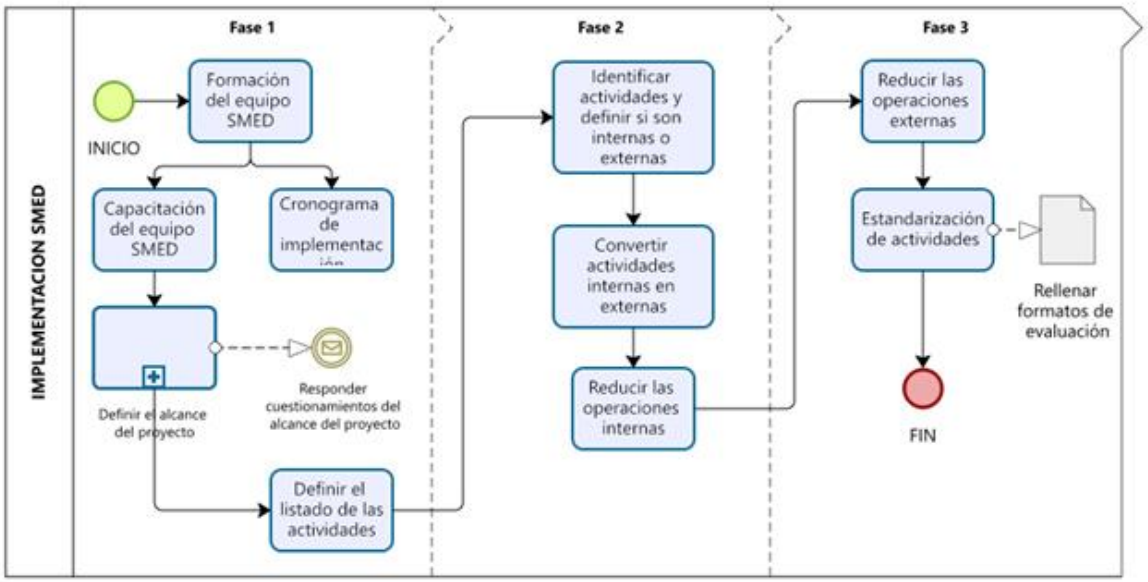
3.2.2 *Implementación de SMED - Demora en cambio de paneles.*

La metodología SMED busca reducir el tiempo de recambio por Setup, para la correcta implementación es necesario realizar los siguientes pasos: Identificar el proceso, analizar el proceso, eliminación desperdicios (simplificar y reducir el tiempo de las actividades internas y externas), establecer un procedimiento estandarizado e implementar mejoras continuas.

El proceso seleccionado será el cambio de paneles en la Zaranda 5x16.

Figura 21

Modelo de implementación SMED.



En el apéndice 8.1 se aprecia todo el proceso que implica el cambio de paneles de la zaranda vibratoria 5x16. El objetivo principal de SMED es minimizar los tiempos de preparación y cambio, asegurando que las intervenciones se realicen en el menor tiempo

posible sin comprometer la calidad ni la seguridad del equipo o de los operarios. Para alcanzar este objetivo, SMED se enfoca en transformar las actividades internas, aquellas que solo pueden realizarse cuando la máquina o el equipo están detenidos, en actividades externas, que pueden realizarse mientras la máquina sigue en operación.

Con los conceptos antes mencionados se propone un cuadro de actividades bajo un mantenimiento preventivo controlado, convirtiendo las actividades internas en externas, el cual se muestra en el apéndice 8.2.

Mediante la propuesta de mejora se ha reducido 17 actividades internas pasando a externas, y una actividad se ha retirado del proceso por un cambio en la mejora del equipo.

Tabla 5

Cuadro comparativo de tiempos (min.) actividades actuales – propuestas.

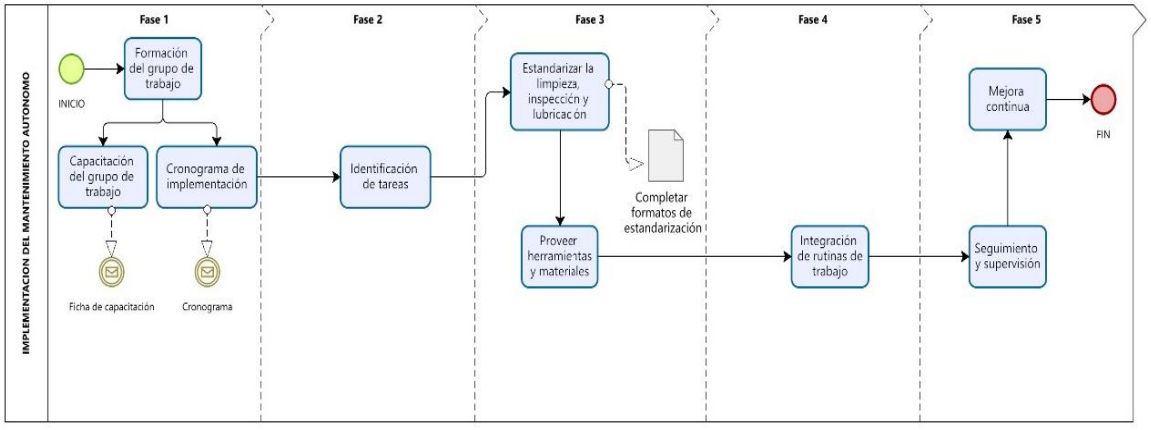
Descripción	Actual	Propuesto
Tiempo promedio de cambio de paneles	252.5	76.5

3.2.3 *Implementación del Mantenimiento Autónomo.*

La implementación del mantenimiento autónomo implica seguir una serie de pasos y adoptar ciertas prácticas para lograr que los operadores se involucren en el cuidado y la supervisión de los equipos y maquinarias en su entorno de trabajo. A continuación, presentamos el modelo de implementación de mantenimiento autónomo a seguir en la empresa minera.

Figura 22

Implementación de mantenimiento autónomo.



Una de las actividades de suma relevancia en este proceso es la de recopilar información sobre los equipos, maquinarias o sistemas que requieren lubricación. Esto incluye manuales del fabricante, especificaciones técnicas, recomendaciones de lubricantes, requisitos de funcionamiento y cualquier otro dato relevante que se pueda obtener.

Tabla 6

Intervalos de tiempos de lubricación.

Frecuencia	Descripción	Método	Lubricante
Trimestral	Rodamientos y cojinetes	Lubricación manual	Aceite lubricante
	Ejes, piñones y sistema de transmisión	Lubricación manual	Grasa multifak EP2
Diario	Eje	Lubricación manual	Grasa multifak EP2
	Rodamientos de sistema transmisión	Lubricación manual	Grasa multifak EP2
	Eje del mecanismo	Lubricación manual	Grasa multifak EP2

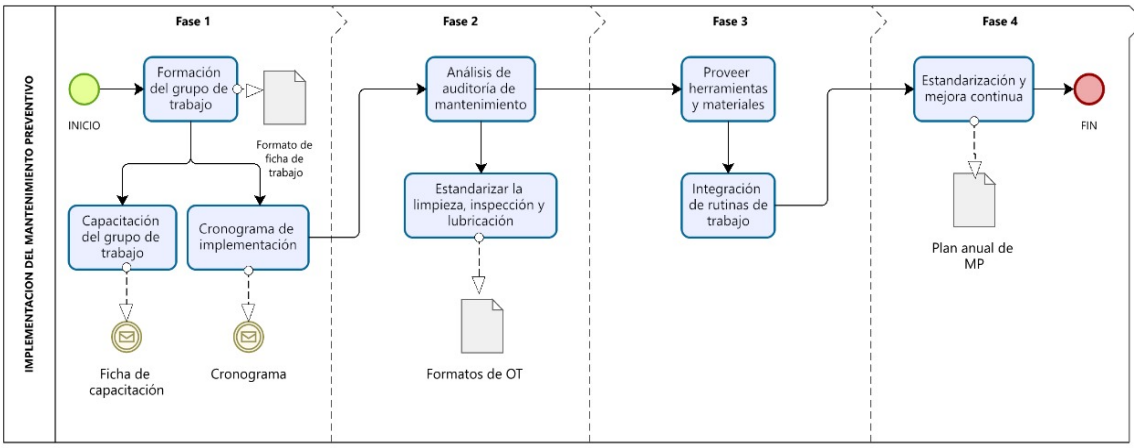
Posterior a ello se debe realizar un análisis de las necesidades de lubricación de los equipos. Determinar los intervalos de lubricación, la cantidad de lubricante requerida, el tipo de lubricante requerido, el tipo de lubricante adecuado (aceite, grasa, etc), y cualquier otro requisito que recomiende el fabricante para garantizar el óptimo funcionamiento. En el apéndice 8.3 se detalla la lista de actividades principales a considerar.

3.2.4 *Implementación TPM – Mantenimiento preventivo*

Es relevante implementar estrategias de mantenimiento preventivo, para así poder aumentar la disponibilidad de la zaranda en el circuito de chancado.

Figura 23

Implementación de mantenimiento preventivo

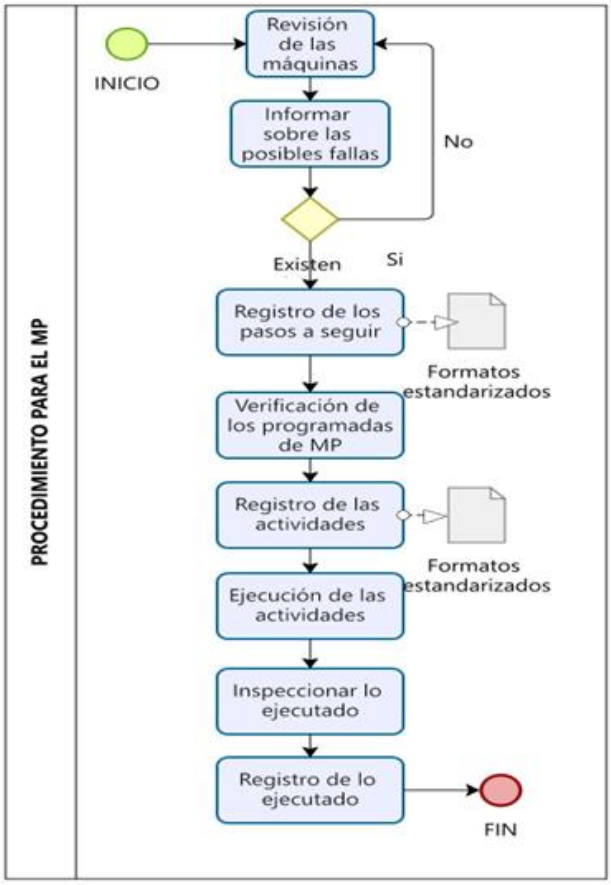


En esta etapa de implementación del plan de mantenimiento preventivo, se establece llevar a cabo intervenciones regulares de mantenimiento tal y como se muestra en la figura 33. Cartilla de mantenimiento preventivo, donde está detallado las actividades que se realizan en función a un plan de mantenimiento preventivo.

Se elaborará un flujograma de procedimientos, para que el equipo de MP pueda tener un mejor entendimiento de las actividades y pasos para la implementación del MP. Asimismo, se completarán los formatos correspondientes a la ejecución tales como: OT y formato de inspección de equipos.

Figura 24

Procedimiento para la implementación del MP



3.3 Diseño de indicadores

En la siguiente tabla graficas se presentan la ficha de indicador de disponibilidad de la línea de producción de bolsas plásticas mostrando la situación actual y post mejora.

Tabla 7

Resultados de la implementación de las herramientas LEAN

COMPONENTES	INDICADOR	UNIDAD	SITUACIÓN ACTUAL	SITUACIÓN FINAL	VARIACIÓN	ARTÍCULOS
mantenimiento preventivo	disponibilidad	%	86.3%	95.00%	8.7%	**(michlowicz, 2022)** evaluación del sistema productivo modernizado a través de indicadores seleccionados del método tpm. **(schindlerová, 2020)** potencial uso del tpm para aumentar la eficiencia de los procesos de producción **(marinho et al., 2021)** selección de las mejores herramientas y marco para evaluar el mal funcionamiento de los equipos y mejorar el oee en la industria del corcho
Smed	tiempo improductivo	min	252.5	76.5	176 min	**(ondra, 2022)** impacto de smed y tpm en la efectividad general de equipos. **(santos et al., 2022**) aplicación de la metodología smed a los procedimientos de calibración de neumáticos.
5s	tiempo de búsqueda	seg	498	246	252 min	**(shahriar et al., 2022)** implementación de 5s en una industria de fabricación de bolsas de plástico: un caso de estudio **(nashrullah setiawan* et al., 2021)** una propuesta de modelo de gestión y medición del desempeño para la sustentabilidad 5s en la manufactura

3.4 Consideraciones para la implementación

A continuación, se detalla las consideraciones que permitieron que la propuesta sea viable.

3.4.1 *Presupuesto de la solución*

A continuación, se detalla los recursos para la implementación y mantenimiento del equipo, con esto la disponibilidad aumentará y brindará confiabilidad a la línea de chancado y los procesos subsecuentes.

Tabla 8

Resumen de costo para la implementación de herramientas Recursos Humanos

Tipo de recurso	Herramienta a implementar	Dirigido	Duración - Hrs	Cant. personas	Costo Unitario por hr. - $	Costo total - $	Frecuencia
Humano	TPM - Mantto autónomo	Personal operaciones	12	26	30	9,360	6 meses
Humano	TPM - Mantto preventivo	Personal mantenimiento	18	12	28	6,048	6 meses
Total						15,408	

Tabla 9

Resumen de costo de materiales y herramientas para la implementación

Tipo de recurso	Materiales	Equipo	Tiempo de cambio - Hrs	Cant. personas	Costo Unitario por hr. - $	Costo total - $	Frecuencia
Material	Bastidor inferior	Zaranda 5x16	24	-	30	13,560	6 meses
Material	Bastidor superior	Zaranda 5x16	24	-	28	13,000	6 meses
Material	Consumibles	Zaranda 5x16	24	-	1,500	1,500	
Humano	-	Zaranda 5x16	24	4	28	2,688	1 mes
Humano	-	Zaranda 5x16	24	4	28	2,688	1 mes
Total						32,876	

Según lo indicado en las dos últimas tablas, el monto de la inversión es de: $ 48,284.

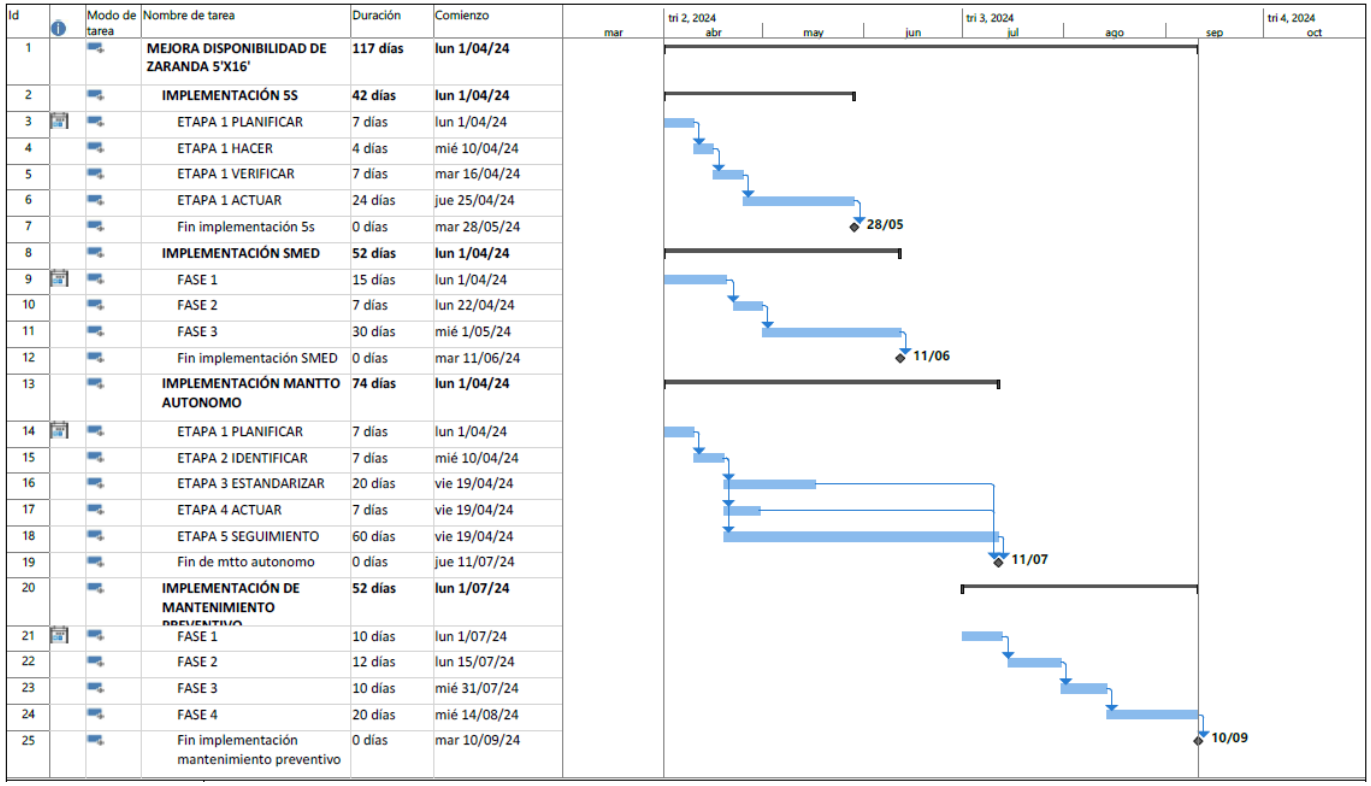
Estos cambios se ejecutarán en una parada de planta con una duración de 24 horas a fin de no perjudicar el circuito en la producción.

3.4.2 *Cronograma de desarrollo*

Se tiene presente el siguiente cronograma o plan de mantenimiento que debe seguir la zaranda con el fin de preservar el cuidado y brindar confiabilidad a la operación.

Figura 25

Cronograma de desarrollo de las herramientas lean implementadas.



Id	Modo de tarea	Nombre de tarea	Duración	Comienzo
1		**MEJORA DISPONIBILIDAD DE ZARANDA 5'X16'**	**117 días**	**lun 1/04/24**
2		**IMPLEMENTACIÓN 5S**	**42 días**	**lun 1/04/24**
3		ETAPA 1 PLANIFICAR	7 días	lun 1/04/24
4		ETAPA 1 HACER	4 días	mié 10/04/24
5		ETAPA 1 VERIFICAR	7 días	mar 16/04/24
6		ETAPA 1 ACTUAR	24 días	jue 25/04/24
7		Fin implementación 5s	0 días	mar 28/05/24
8		**IMPLEMENTACIÓN SMED**	**52 días**	**lun 1/04/24**
9		FASE 1	15 días	lun 1/04/24
10		FASE 2	7 días	lun 22/04/24
11		FASE 3	30 días	mié 1/05/24
12		Fin implementación SMED	0 días	mar 11/06/24
13		**IMPLEMENTACIÓN MANTTO AUTONOMO**	**74 días**	**lun 1/04/24**
14		ETAPA 1 PLANIFICAR	7 días	lun 1/04/24
15		ETAPA 2 IDENTIFICAR	7 días	mié 10/04/24
16		ETAPA 3 ESTANDARIZAR	20 días	vie 19/04/24
17		ETAPA 4 ACTUAR	7 días	vie 19/04/24
18		ETAPA 5 SEGUIMIENTO	60 días	vie 19/04/24
19		Fin de mtto autonomo	0 días	jue 11/07/24
20		**IMPLEMENTACIÓN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO**	**52 días**	**lun 1/07/24**
21		FASE 1	10 días	lun 1/07/24
22		FASE 2	12 días	lun 15/07/24
23		FASE 3	10 días	mié 31/07/24
24		FASE 4	20 días	mié 14/08/24
25		Fin implementación mantenimiento preventivo	0 días	mar 10/09/24

Capítulo 4: Resultados del proyecto

4.1 Validación funcional.

En el marco de las mejoras implementadas en la zaranda vibratoria 5x16, la aplicación de diversas herramientas de Lean Manufacturing ha permitido una intervención integral para resolver los problemas críticos de este equipo. Para validar funcionalmente las soluciones propuestas, se ha realizado un análisis de las cuatro herramientas claves: SMED, 5S, mantenimiento preventivo y mantenimiento autónomo. Estas herramientas han sido integradas para optimizar el tiempo de intervención, mejorar la eficiencia operativa y asegurar la confiabilidad del equipo en el largo plazo.

Tabla 10

Indicadores para la mejora

INDICADOR	DETALLE
Disponibilidad	$Disponibilidad = \frac{MTBF}{(MTBF + MTTR)}$
MTBF	$MTBF = \frac{(Total\ horas\ disponibles - Horas\ paradas)}{Fallas\ totales}$
MTTR	$MTBF = \frac{Horas\ paradas}{Fallas\ totales}$
Utilización de recursos	$Utilización\ de\ recursos = \frac{Tiempo\ que\ elrecurso\ está\ en\ uso\ efectivo}{Tiempo\ total\ disponible} \times 100\%$
Producción	Producción chancada = Ton-secas/h
Horas paradas	Para la zaranda se contempla este indicador que corresponde a los tiempos muertos que la zaranda se encuentra en reparación

Figura 26

Grafica de la mejora de la disponibilidad en la línea de chancado

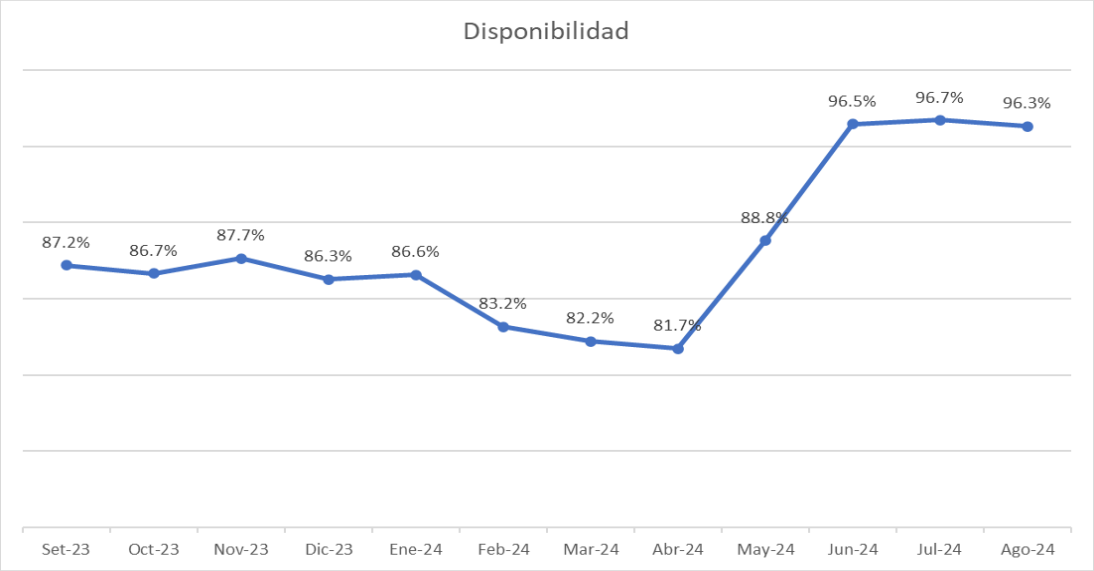


Tabla 11

Resultados de los indicadores

INDICADOR	%
%Disponibilidad	96.5
MTTR	11.37
MTBF	314.8
Horas improductivas	58
Total paradas por setup	10
Total paradas por MC	4

El indicador de la disponibilidad es del 86.1% el cual se desea mejorar y llegar a una meta de 95%. Por ello, basado en este resultado podríamos afirmar que la implementación desarrollada ha alcanzado lo indicado. Por otro lado, el MTTR es de 11.39 horas y el MTBF es de 314 horas los cuales se asocian a las averías o paradas que ocurren en el proceso actual sea por mantenimiento o las paradas por setup. Dichos valores se asocian también al proceso actual.

4.1.1 *Desarrollo de los Flujos Económicos*

Tabla 12

Flujo económico financiero esperado

Incremento 5% anual		**AÑOS**				
	0	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**
Producción Actual (As Is)		79,740	82,132	86,239	90,551	95,078
Producción con la mejora (To be)		88,511	92,937	97,583	102,463	107,586
Incremento de producción		8,771	10,804	11,345	11,912	12,507
Precio Unitario ($)		0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
Ingresos por ventas de la mejora		1,754	2,161	2,269	2,382	2,501
Costo de implementación	- 10,982,514	10,800,000	10,800,000	10,800,000	10,800,000	10,800,000
Utilidad antes de impuesto		**10,801,754**	**10,802,161**	**10,802,269**	**10,802,382**	**10,802,501**
Impuesto Renta	45% -	4,860,789	- 4,860,972	- 4,861,021	- 4,861,072	- 4,861,126
Flujo de Caja Económico	**- 10,982,514**	**5,940,965**	**5,941,188**	**5,941,248**	**5,941,310**	**5,941,376**

VAN	$13,377,598
TIR	45.92%
B/C	2.22

4.2 Evaluación de impactos no económicos.

Con la implementación de la metodología 5S, se concientizó a los colaboradores sobre la importancia de mantener el orden y la limpieza en sus áreas de trabajo tanto en la parte operativa como en el área de mantenimiento, logrando una reducción significativa de en los tiempos de cambio de paneles los cuales no aportan valor a dicho proceso. Esto también contribuyó a mejorar el impacto ambiental de la empresa, segregando los desechos (paneles), promoviendo el reciclaje, la reutilización de recursos (accesorios y/o seguros de paneles) y disminuyendo la contaminación al momento de realizar la lubricación de equipos. Por su parte, la reorganización del espacio de trabajo ha permitió tener un almacenamiento más pulcro y fácil de ubicar los materiales que se puedan requerir optimizando flujos de trabajo, minimizando desplazamientos innecesarios de componentes en el taller y reduciendo el riesgo de accidentes.

4.2.1 *Impacto en la Contaminación visual.*

La segregación de residuos al momento de realizar los cambios de paneles, fajas y cambio de aceite puede tener un impacto significativo en diversos aspectos. Tales como, elementos no deseados o intrusivos que afectan la estética del entorno en la planta de producción, la cual podría ocasionar consecuencias en la percepción, el bienestar y la productividad.

- **Implementar zonas específicas. –** Crear zonas específicas para el almacenamiento de materiales, así como puntos de uso para realizar el setup de las máquinas que generan mayores tiempos muertos en el proceso productivo

5. Conclusiones y recomendaciones

Conclusiones.

Para esta implementación de incremento de disponibilidad en la línea de chancado, se aplicó exitosamente la metodología Lean Manufacturing con el fin de eliminar actividades que no aportan valor al proceso de chancado, así como también estructurar un plan de mantenimiento programado y evitar paradas imprevistas. Esta a su vez optimiza el flujo operativo y mejora la eficiencia en las intervenciones de mantenimiento autónomo y preventivo de la zaranda.

Con la implementación y gracias a la aplicación de la herramienta SMED, se logró disminuir significativamente los tiempos improductivos relacionados con la búsqueda y reemplazo de repuestos durante el cambio de configuración, optimizando así la eficiencia del proceso.

Esta implementación propició el aumento de la disponibilidad de un 86.3% a un 96%, generando mayor producción en toneladas métricas secas (TMS).

El incremento en la producción genera mayores beneficios económicos para la empresa, especialmente considerando la tendencia al alza en el precio del oro, lo cual resulta altamente favorable para sus ingresos y rentabilidad.

El proyecto fue planificado para completarse en 18 semanas, implementando las cuatro herramientas en la cual se logró cumplir con los plazos establecidos.

Recomendaciones.

Se recomienda continuar con la mejora continua en lo que se refiere a las capacitaciones del personal y así evitar que se pierdan las buenas prácticas instauradas en dicho proceso de cambio.

La supervisión debe tomar el liderazgo visible, concientizar y realizar el know how hacia personal operativo y técnico de las buenas prácticas para la seguridad del personal y el cuidado correcto de los equipos.

Con los indicadores establecidos, es fundamental realizar controles constantes para evaluar el rendimiento del equipo y analizar las tendencias, permitiendo así mantener las condiciones óptimas de trabajo o realizar los ajustes necesarios.

Se recomienda extender las buenas prácticas implementadas a otros equipos de la línea de chancado y en general, a todos los equipos de la planta concentradora.

Referencias

Andries Rossouw. (2023). *Preparándonos para el impacto*.

Ben, J., Mohamed, A. O., & Muduli, K. (2021). Effect of Preventive Maintenance on Machine Reliability in a Beverage Packaging Plant. *https://services.igi-global.com/resolvedoi/resolve.aspx?doi=10.4018/IJSDA.2021070104*, *10*(3), 50–66. https://doi.org/10.4018/IJSDA.2021070104

Bilgin Sari, E. (2021). *Fuzzy Based Failure Mode and Effect Analysis Towards to Risks of Autonomous Maintenance Activities: As a TPM Implementation*. *17*, 27. https://doi.org/10.21121/eab.873999

Carrera, J. F., Del Olmo, A. A., Cuadrado, M. R., Escudero, M. M. E., & Cuadrado, L. R. (2021). From lean 5s to 7s methodology implementing corporate social responsibility concept. *Sustainability (Switzerland)*, *13*(19). https://doi.org/10.3390/su131910810

Chaurey, S., Kalpande, S. D., Gupta, R. C., & Toke, L. K. (2023). A review on the identification of total productive maintenance critical success factors for effective implementation in the manufacturing sector. En *Journal of Quality in Maintenance Engineering* (Vol. 29, Número 1, pp. 114–135). Emerald Publishing. https://doi.org/10.1108/JQME-11-2020-0118

Daniel Salazar Castellanos. (2024). *El oro y sus niveles récord: ¿cómo invertir en este activo y por qué es refugio?* https://www.bloomberglinea.com/2024/08/22/el-oro-y-sus-niveles-record-como-invertir-en-este-activo-y-por-que-es-refugio/#:~:text=El%20precio%20del%20oro%20viene,y%20mercados%20financieros%20Gandini%20An%C3%A1lisis%2Chttps://www.bloomberglinea.com/2024/08/22/el-oro-y-sus-niveles-record-como-invertir-en-este-activo-y-por-que-es-refugio/#:~:text=El%20precio%20del%20oro%20viene,y%20mercados%20financieros%20Gandini%20An%C3%A1lisis%2C

Gómez, J. R., Rios-Campos, C., Puma, M. T. V., Huanaco, Y. P. V., Hubeck, J. A. A., Pantaleón, A. J. S., González, J. E. R., & Condori, F. R. H. (2021). Impacto económico de la minería en el Perú. *South Florida Journal of Development*, *2*(5), 6382–6402. https://doi.org/10.46932/sfjdv2n4-009

Hardt, F., Kotyrba, M., Volna, E., & Jarusek, R. (2021). Innovative approach to preventive maintenance of production equipment based on a modified tpm methodology for industry 4.0. *Applied Sciences (Switzerland)*, *11*(15). https://doi.org/10.3390/app11156953

Junior, R. G. P., Inácio, R. H., da Silva, I. B., Hassui, A., & Barbosa, G. F. (2022a). A novel framework for single-minute exchange of die (SMED) assisted by lean tools. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, *119*(9–10), 6469–6487. https://doi.org/10.1007/s00170-021-08534-w

Kose, Y., Muftuoglu, S., Cevikcan, E., & Durmusoglu, M. B. (2022). Axiomatic design for lean autonomous maintenance system: an application from textile industry. *International Journal of Lean Six Sigma*. https://doi.org/10.1108/IJLSS-01-2022-0020

Madariaga, F. (2013). *Lean Manufacturing*. 2013.

Michlowicz, E. (2022). Assessment of the modernized production system through selected TPM method indicators. *Eksploatacja i Niezawodnosc*, *24*(4), 677–686. https://doi.org/10.17531/ein.2022.4.8

Nashrullah SETIAWAN*, Mohd Rizal SALLEH*, Hambali A ARIFF*, Muhamad Arfauz A RAHMAN*, Effendi MOHAMAD*, Mohd Amri SULAIMAN*, Faizuddin Firdaus ZAINI*, & Teruaki ITO. (2021). *A proposal of performance measurement and management model for 5S sustainability in manufacturing SMEs: A Rev*. https://www.jstage.jst.go.jp/article/jamdsm/15/2/15_2021jamdsm0017/_pdf/-char/en

Oficina General de Planeamiento y Presupuesto - OGPP. (2024). *EN CIFRAS Minería Reporte mensual enero (Cifras preliminares)*.

Oleksiak, B., Ciecińska, B., Ołów, P., & Hordyńska, M. (2023). Analysis of the Possibility of Introducing the Reduction of Changeover Time of Selected CNC Machines Using the SMED Method. *Production Engineering Archives*, *29*(1), 83–93. https://doi.org/10.30657/PEA.2023.29.10

María Chavarry, L. T. (2020). Lean Manufacturing y mejora de sistemas de producción, 2015-2020: una revisión sistemática.

Oficina General de Planeamiento y Presupuesto - OGPP. (2024). EN CIFRAS Minería Reporte mensual enero (Cifras preliminares).

Ondra, P. (2022a). The Impact of Single Minute Exchange of Die and Total Productive Maintenance on Overall Equipment Effectiveness. *Journal of Competitiveness*, *14*(3), 113–132. https://doi.org/10.7441/joc.2022.03.07

Pinto, C. M. A., Mendonça, J., Babo, L., Silva, F. J. G., & Fernandes, J. L. R. (2022). Analyzing the Implementation of Lean Methodologies and Practices in the Portuguese Industry: A Survey. *Sustainability (Switzerland)*, *14*(3). https://doi.org/10.3390/su14031929

Ruppert, T., Csalodi, R., & Abonyi, J. (2021). Estimation of machine setup and changeover times by survival analysis. *Computers and Industrial Engineering*, *153*. https://doi.org/10.1016/J.CIE.2020.107026

Santos, V., Sousa, V. F. C., Silva, F. J. G., Matias, J. C. O., Costa, R. D., Pinto, A. G., & Campilho, R. D. S. G. (2022). Applying the SMED Methodology to Tire Calibration Procedures. *Systems*, *10*(6). https://doi.org/10.3390/systems10060239

Schindlerová, V. (2020). Potential of Using TPM to Increase the Efficiency of Production Processes. *Tehnički vjesnik*, *27*, 737–743. https://doi.org/10.17559/TV-20190328130749

Shahriar, M. M., Parvez, M. S., Islam, M. A., & Talapatra, S. (2022). Implementation of 5S in a plastic bag manufacturing industry: A case study. *Cleaner Engineering and Technology*, *8*. https://doi.org/10.1016/j.clet.2022.100488

Silva, A., Sá, J. C., Santos, G., Silva, F. J. G., Ferreira, L. P., & Pereira, M. T. (2021). A comparison of the application of the smed methodology in two different cutting lines. *Quality Innovation Prosperity*, *25*(1), 124–149. https://doi.org/10.12776/QIP.V25I1.1446

Socconini, L. (2019). *Lean Manufacturing* (1ra ed.). 2019.

Takeshi Chacon. (2022). *Nueve países reúnen las 10 minas de oro más grandes*. https://www.rumbominero.com/peru/noticias/mineria/nueve-paises-10-minas-oro-grandes/

Zeng, P., Shao, W., & Hao, Y. (2021). Study on preventive maintenance strategies of filling equipment based on reliability-cantered maintenance. *Tehnicki Vjesnik*, *28*(2), 689–697. https://doi.org/10.17559/TV-20190404054849

Anexos

Anexo 1 - Implementación de las 5S

Fase 1 - Planificar

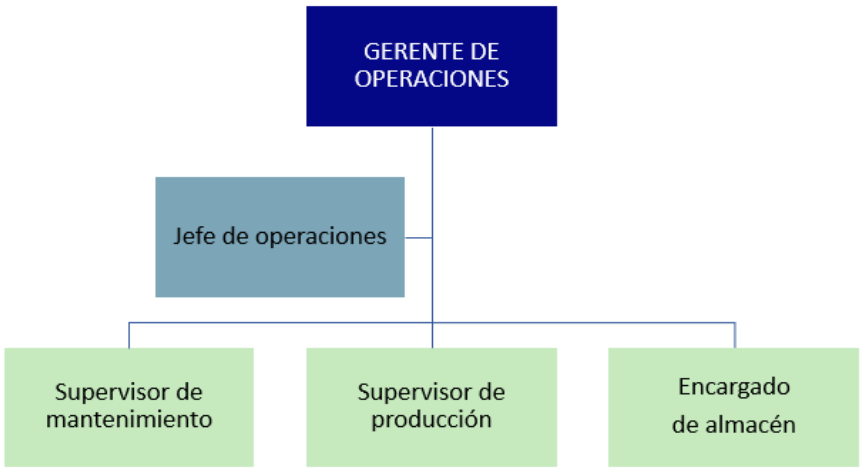
La primera etapa de la implementación de 5S, se centrará en la formación del equipo de trabajo, inicialmente este equipo estará formado por personal de producción.

Formación De Equipos 5S

El equipo 5S estará conformado por el que está relacionado de manera directa con el proceso de producción (Gerente de operaciones, jefe de operaciones, supervisión de mantenimiento, jefe de turno). Esto debido a que el proceso donde se tienen identificados las mayores de causas de la baja disponibilidad de máquinas es originado en el proceso de producción. Es de suma importancia que este proceso de implementación este respaldado por el Gerente General, en tal sentido se ha dispuesto que el líder de este equipo sea el Gerente de Operaciones, quien será el responsable de cumplir con los objetivos de la implementación de esta herramienta.

***Figura* 27**

Equipo 5S



Roles y responsabilidades

Gerente de operaciones: El líder del equipo (gerente de operaciones), debe brindar todas las facilidades al equipo de trabajo, destinando los recursos e infraestructura necesarios para lograr

los objetivos. De igual manera, es quien convoca a las capacitaciones y brindar facilidades al equipo para participar activamente de este proceso. En la primera capacitación se tiene previsto utilizar el siguiente anuncio.

Jefe de operaciones: El jefe de operaciones se encargará de realizar el seguimiento de los avances y acuerdos que se lleven en las reuniones y reportará los avances y dificultadas el líder del equipo. Se encargará de planificar las actividades de capacitación y elaborar los índices de cumplimiento.

Supervisor de mantenimiento: El supervisor de mantenimiento tiene como función implementar las mejoras y realizar el seguimiento de cumplimiento de las actividades de 5S en todo el personal de mantenimiento. Garantizará que los acuerdos de las reuniones se cumplan en los plazos propuestos y reportará al jefe de operaciones las dificultades que se presenten.

Supervisor de producción: El supervisor de producción verificará el estricto cumplimiento de los nuevos lineamientos de 5S en la planta de producción, reportará de igual forma al jefe de operaciones las dificultades y avances en este proceso.

Encargado de almacén: El encargado del almacén deberá cumplir con los acuerdos y establecer mejoras relacionadas a las 5S, reportará los avances y dificultades de implementación.

Figura 28

Anuncio de capacitación 5S



Capacitación Del Grupo De Trabajo

El objetivo principal de las capacitaciones al equipo 5S es impartir principios de organización, limpieza y eficiencia en el lugar de trabajo por lo que es fundamental:

- Familiarizar al equipo con los conceptos y principios de la metodología 5S.
- Desarrollar habilidades para implantar y mantener los principios de las 5S en el área de trabajo.
- Promover la participación del equipo en la implementación.

Fase 2 – Hacer

Esta etapa también conocida como la de implementación, se describen las actividades que se ejecutaran durante el proceso de implementación.

Identificación del área de trabajo

En primera instancia, se debe proceder a reconocer el área de trabajo en el que se desarrollan las actividades de separación o zarandeo del producto, con ello poder identificar en campo donde se llevará la implementación.

Figura 29

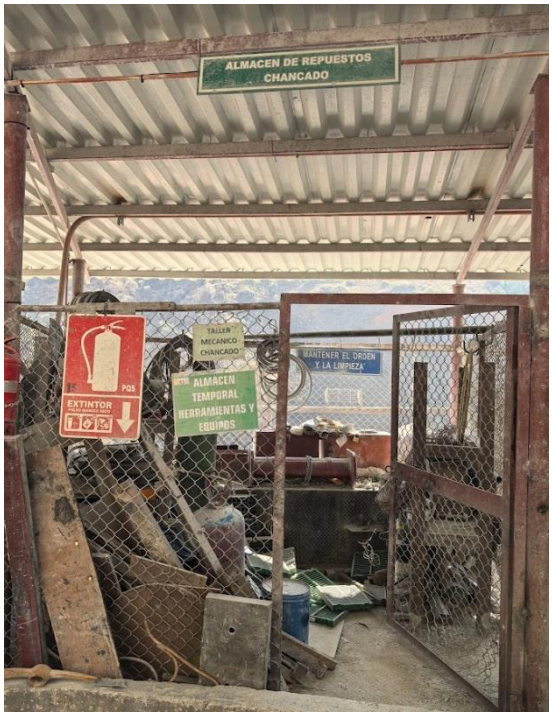
Zaranda 5'x16'.



.

Figura 30

Almacén de chancado.



Clasificación De Objetos

Para la ejecución y supervisión del correcto cumplimiento de esta actividad estará a cargo el supervisor de mantenimiento, se encargará de realizar la clasificación inicial de los objetos dentro de planta. La actividad principal es de clasificar y agrupar los objetos y componentes que no sean de utilidad para el proceso, esto incluye el entorno de las maquinas, materiales y herramientas, si el material o equipo observado no aporta valor será trasladado a un almacén temporal donde posteriormente se procederá con su disposición final.

Esto permitirá que no se utilice espacio en mantener cosas innecesarias, no se desperdiciara tiempo en realizar el orden cada vez de estos elementos. Para la implementación de cada "S" se desarrollará la siguiente secuencia:

- **Seiri (Clasificar)**
    1. El personal técnico al mando del supervisor de mantenimiento deberá identificar los elementos necesarios e innecesarios dentro de planta.
    2. Posteriormente, el personal deberá clasificar los equipos que no sean necesarios según la tarjeta roja de identificación de materiales.

Figura 31

Tabla roja de identificación de materiales

METODOLOGÍA DE LAS 5S - SEIRI			
TARJETA ROJA			
Fecha de Identificación	23/04/2024	Tarjeta N°	1
Nombre del artículo	Cajas de madera		
Responsable	Ricardo		
Área	Producción		
Cantidad	3		
Acción	Desechar		
Observaciones de la Identificación	Cajas que vinieron por la compra de materiales		
Categoría			
Materia Prima	X	Limpieza	
Equipo o Mobiliario		Producto en Proceso	
Papelería		Desperdicios / Basura	
Herramientas		Cajas / Contenedores	
Maquinaria		Otros	
Producto Terminado			
Objetos Personales			
Motivo			
No se necesita	X	Material de Desperdicio	
Defectuoso		Contaminante	
No se necesita pronto		Otros	
Uso Desconocido			
Forma de Despacho			
Retirar como desperdicio / basura	X	Reubicar en almacen	
Vender		Otros	
Reubicar en otra área			
Fecha de Despacho	1/05/2024		
Observaciones del Despacho	Se debe agrupar varios elementos para realizar el despacho		

La tarjeta roja deberá ser puesta en cada componente calificado como innecesario.

3. Los materiales, componentes, equipos que sean seleccionados como desechos deberán ser acopiados, destinados para tal fin, ubicado en la parte aledaña del almacén. Es importante que se lleve el registro de equipos, máquinas y herramientas a desechar a fin de verificar si contablemente se requiere realizar alguna baja de activo. Posteriormente, recién se gestionará la eliminación o venta de lo innecesario.

- **Seiton (Ordenar)**

En esta etapa de implementación, el equipo debe asignar el espacio utilizado por los objetos requeridos en la zona de trabajo para que los operadores asignados a la zona puedan encontrar fácilmente estos objetos para poder utilizarlos y devolverlos tantas veces como sea necesario. Para la colocación de los rollos de bolsas que salen de la extrusión, se designan espacios para la colocación de la materia prima y sacos de bolsas terminadas, designando un orden por tamaño, para fácil ubicación. Porque en la primera inspección se observó que la materia prima se encuentra en los pasadizos o al costado de las máquinas, por lo que reduce el espacio de tránsito y se tenía demoras en la selección del material requerido. También se habilitará espacios para pala los repuestos, equipos y materiales a utilizar en las máquinas. Además, se observó que los operadores no tienen una cultura de uso de equipos de protección personal, por lo que no usan mascarillas, tapones para los oídos, zapatos de seguridad y lentes de seguridad, necesarios para las actividades que realizan. Por ello, se recomienda dotar al personal de los EPP necesarios para sus actividades y proporcionarles adecuados para guardar y asegurar su conservación. Por otro lado, se colocará una tabla donde se pintará el contorno de las principales herramientas, cerca al acceso del almacén de productos terminados, con el objetivo de organizar las herramientas y equipos de protección personal necesarios para el proceso y su identificación se inmediato y se mantenga siempre el orden.

Figura 32

Orden y clasificación en almacén de chancado



Figura 33

Ordenamiento de herramientas

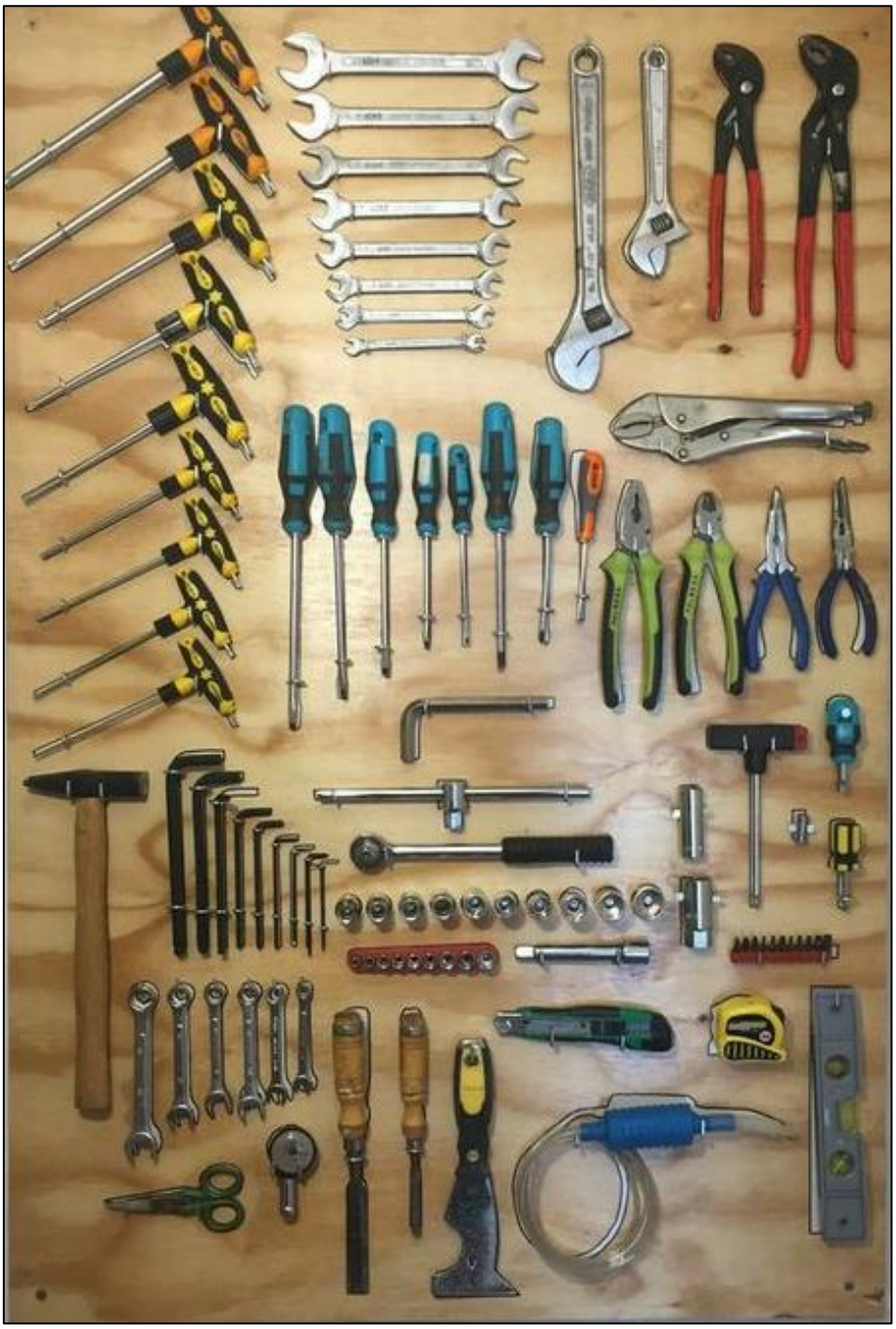


Tabla 13

Tabla de frecuencias de uso de materiales

Frecuencia de uso	Ubicación
No se usa	Eliminar
A cada hora	Colocar junto al operario
Varias veces al día	Colocar cerca al operario
Uso semanal	Colocar en el área de trabajo
Uso mensual	Colocar en la nave de producción
Uso trimestral	Colocar en almacén
Uso semestral	Colocar en almacén
Uso anual	Colocar en almacén

Para esta etapa se asigna un rol de actividades que amerita el compromiso del personal para la ejecución de ciertas actividades relacionados con el orden y limpieza.

Figura 34

Estante de materiales para Zaranda 5x16



La propuesta que se sugiere para mejorar se basa en rotular y clasificar por tipo de material, este ordenamiento se realizará teniendo en cuenta que se debe agrupar los equipos más pesados en la parte inferior y los más livianos en la parte superior. Con este ordenamiento lograremos que los operarios puedan identificar de manera más rápida los componentes, mejorando la productividad.

Fase 3 – Verificar

En esta fase se procederá a verificar el resultado de cumplimiento de la implementación de la filosofía 5S.

Estandarizar Y Mantener

Seiketsu (Estandarizar)

En este punto se procederá a verificar la eficiencia de la aplicación de las primeras 3S, para ello es necesario realizar evaluaciones periódicas, guiándonos de una lista de evaluación previamente elaborado por el equipo de trabajo. Según el puntaje que se obtenga el equipo deberá tomar acciones para reforzar los puntos que están con un nivel bajo de eficiencia. Esta evaluación se deberá realizar sin previo aviso para que sea lo más objetivo posible y se pueda evidencia el verdadero nivel de compromiso.

Para la etapa de estandarización, se plantea la elaboración de un formato que nos ayude a controlar el cumplimiento de las diversas actividades de las 5S. Con ello lo que se busca es formar el hábito, compromiso de cumplimiento con la cultura de orden y limpieza en todas las áreas de la empresa, en especial la línea de producción de bolsas plásticas.

Fase 4 - Actuar

Verificar

- **Shitsuke (disciplina)**

Esta última etapa es de suma importancia ya que permite asegurar la continuidad de la ampliación de la herramienta de solución 5S y conlleva a la mejora continua.

Al inicio de la gestión de implementación de esta filosofía 5S se realizarán auditorías internas hasta lograr que los colaboradores se familiaricen y se cree el hábito. Una vez se logre la implementación se deben realizar auditorías externas para tener una evaluación real y que otorgue observaciones que permitan realizar mejoras.

Están también de suma importancia crear conciencia y el habito cumplir con las 5S por lo que se colocaran afiches alusivos.

Figura 35

Afiche de 5S



Para recordar a los trabajadores la importancia del uso de EPP se colocarán carteles indicando la necesidad de hacer uso correcto de estos equipos.

Figura 36

Carteles de uso obligatorio de EPP



Anexo 2 - Implementación de SMED

Tabla 14

Lista de actividades externas e internas

Ítem	Actividad	Tiempo (min)	Tipo de operación E/I
1	Detención del equipo	0.5	Externa
2	Se reporta equipo indisponible	0.5	Interna
3	Coordinación con equipo mecánico	1	Interna
4	Traslado al punto	5	Interna
5	Inspeccionar falla	5	Interna
6	Regresa a oficina	5	Interna
6	Solicitud de repuestos	2	Interna
7	Preparar caja de herramientas	5	Interna
8	Llevar caja de herramientas	8	Interna
9	Realiza la reserva	3	Interna
10	Aprobación de la reserva	1	Interna
11	Llamar a almacén	20	Interna
12	Llamar al técnico	1	Interna
13	Atención de materiales	5	Interna
14	Llevar los materiales al punto	8	Interna
15	Llenar los documentos de gestión	10	Interna
16	Llamar al electricista	1	Interna
17	Electricista se acerca al punto	5	Interna
18	Electricista bloquea el equipo	1	Interna
19	Personal mecánico realiza el bloqueo	1	Interna
20	Supervisor firma documentos	2	Interna
21	Conexión de máquina de soldar	2	Interna
22	Prueba de funcionamiento máquina de soldar	0.5	Interna
23	Retiro de seguro y paneles	20	Interna
24	Identificar de componentes dañado	5	Interna

25	Reparar platinas y/o bastidor	90	Interna
26	Instalación de paneles	25	Interna
27	Asegurar los paneles	10	Interna
28	Desbloquear caja de bloqueo	1	Interna
29	Llamar al electricista para desbloquear	8	Interna
30	Operador confirma arranque de equipo	1	Interna
	TOTAL (min.)	**252.5**	

Tabla 15

Lista de actividades externas e internas - propuesto

Item	Actividad	Tiempo (min)	Tipo de operación E/I	Observación
1	Detención del equipo	0.5	Externa	Se planifica
2	Se reporta equipo indisponible	0.5	Externa	Se planifica
3	Coordinación con equipo mecánico	1	Externa	Se planifica
4	Traslado al punto	5	Externa	Se planifica
5	Inspeccionar falla	5	Externa	Se planifica
6	Regresa a oficina	5	Externa	Se planifica
6	Solicitud de repuestos	2	Externa	Se planifica
7	Preparar caja de herramientas	5	Externa	Se planifica
8	Llevar caja de herramientas	8	Externa	Se planifica
9	Realiza la reserva	3	Externa	Se planifica
10	Aprobación de la reserva	1	Externa	Se planifica
11	Llamar a almacén	20	Externa	Se planifica
12	Llamar al técnico	1	Externa	Se planifica
13	Atención de materiales	5	Externa	Se planifica
14	Llevar los materiales al punto	8	Externa	Se planifica
15	Llenar los documentos de gestión	10	Externa	Se planifica
16	Llamar al electricista	1	Externa	Se planifica
17	Electricista se acerca al punto	5	Externa	Se planifica

18	Electricista bloquea el equipo	1	Interna	-
19	Personal mecánico realiza el bloqueo	1	Interna	-
20	Supervisor firma documentos	2	Interna	-
21	Conexión de máquina de soldar	2	Interna	-
22	Prueba de funcionamiento máquina de soldar	0.5	Interna	-
23	Retiro de seguro y paneles	20	Interna	-
24	Identificar de componentes dañado	5	Interna	-
25	Instalación de paneles	25	Interna	-
26	Asegurar los paneles	10	Interna	-
27	Desbloquear caja de bloqueo	1	Interna	-
28	Llamar al electricista para desbloquear	8	Interna	-
29	Operador confirma arranque de equipo	1	Interna	-
	TOTAL (min.) - interna	**76.5**		
	TOTAL (min.) - externa	**85.5**		

Anexo 3 - Detalle de actividades a realizar en el mantenimiento autónomo

a) Inspección visual del equipo.

-Verificar que no haya elementos extraños en la zaranda.

-Comprobar el estado de las mallas y las estructuras de soporte y/o anclaje.

b) Revisión de lubricación.

-Asegúrese de que los puntos de lubricación tengan suficiente grasa.

-Verificar los niveles de aceite en el sistema de transmisión.

c) Chequeo de los sistemas de seguridad:

-Comprobar que los dispositivos de seguridad (interruptores de emergencia, cordones de seguridad) estén operativos al accionar.

d) Arranque del equipo:

-Encender el motor principal.

-Verificar que la zaranda funcione sin ruidos inusuales o vibraciones anormales.

e) Operación en marcha:

-Monitorear el equipo durante la operación.

-Observar el flujo de material a través de la zaranda.

-Asegurarse de que no haya acumulación de material en las mallas.

f) Operación en marcha:

-Realizar ajustes en los ángulos de las mallas si es necesario.

-Modificar la velocidad de la zaranda según las necesidades del proceso.

g) Ajuste durante la operación:

-Realizar ajustes en los ángulos de las mallas si es necesario.

-Modificar la velocidad de la zaranda según las necesidades del proceso.

-Realizar ajustes en los ángulos de las mallas si es necesario.

h) Inspección del equipo post arranque:

-Inspeccionar la zaranda para detectar cualquier desgaste o daño.

-Limpie el área alrededor de la zaranda para evitar la acumulación de polvo o material.

Figura 37

Catilla de mantenimiento preventivo de la zaranda 5 x 16

CARTILLA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO			Frecuencia				
Operación	Equipo : ZARANDA TELSMITH 5 x 16 JCI 0801		500	1000	2000	4000	8000
	Código Equipo: 0800 ZV007		Hrs	Hrs	Hrs	Hrs	Hrs
	Tipo de Mantenimiento: PREVENTIVO E INSPECCIÓN MECÁNICO		A	B	C	D	E
10	SEGURIDAD		X	X	X	X	X
	1	Utilizar implementos de seguridad - EPPS	X	X	X	X	X
	2	Colocar tarjeta, candado lock out-Tagout	X	X	X	X	X
	3	Elaborar y analizar el formato de IPERC	X	X	X	X	X
	4	Leer el PETS	X	X	X	X	X
20	ESTRUCTURA-BASTIDORES		X	X	X	X	X
Insp	1	Insp los soportes de la zaranda	X	X	X	X	X
Insp	2	Insp estructura por ruidos de golpeteo	X	X	X	X	X
Prev	3	Verif y ajustar pernos de los pedestales		X	X	X	X
Insp	4	Insp los puente de bastidor de zaranda	X	X	X	X	X
Prev	5	Verif ajuste de pernos de anclaje		X	X	X	X
Prev	6	Verif estructura interno de las mallas			X	X	X
Prev	7	Cambiar mallas auto limpiantes				X	X
Prev	8	Cambiar mallas tellcorp				X	X
Prev	9	Cambiar paneles				X	X
Prev	10	Rev tube de inyección de agua por fugas		X	X	X	X
Prev	11	Rev inyectores de agua por obstrucción	X	X	X	X	X
Insp	12	Insp los paneles de la pantalla		X	X	X	X
Prev	13	Rev módulos de las pantallas		X	X	X	X
Prev	14	Rev las pantallas modulares estén fijas	X	X	X	X	X
Prev	15	Rev barras laterales y cuñas		X	X	X	X
Prev	16	Rev estado gral de las vigas		X	X	X	X
Insp	17	Rev bandejas esparcidora de alimentación		X	X	X	X
Insp	18	Rev labio de descarga frontal		X	X	X	X
Insp	19	Rev chute de alimentación		X	X	X	X
Insp	20	Rev estado de muñones de suspensión		X	X	X	X
Prev	21	Insp vigas soporte de tolva de finos	X	X	X	X	X
Prev	22	Insp chute de descarga de finos	X	X	X	X	X
Prev	23	Insp vigas soporte de tolva de gruesos	X	X	X	X	X
Prev	24	Insp chute de descarga de gruesos	X	X	X	X	X
30	SISTEMA DE TRANSMISIÓN		X	X	X	X	X
Insp	1	Insp fajas por ruidos inusuales	X	X	X	X	X
Prev	2	Verif tensado de fajas		X	X	X	X
Prev	3	Verif estado de las fajas		X	X	X	X
Prev	4	Verif alineamiento de poleas			X	X	X
Prev	5	Verif estado de guarda de protección	X	X	X	X	X

Cumpliendo con dicho mantenimiento preventivo el objetivo principal es extender lo máximo posible la vida útil del bastidor, el cual soporta a los paneles.

Figura 38

Bastidor Zaranda 5 x 16'.

